

Міністерство освіти і науки України,
Національна академія наук вищої освіти України,
Донбаська державна машинобудівна академія
Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia),
Apeiron University in Banja Luka, (Bosnia and Herzegovina),
Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, JJ Strossmayer University of Osijek
(Croatia),
University of Montenegro Faculty of Mechanical Engineering,
Zhejiang Normal University, College of Engineering,
Key Laboratory of Urban Rail Transit Intelligent Operation and Maintenance Technology &
Equipment of Zhejiang Province, Jinhua, (China),
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна),
Вінницький національний технічний університет (Україна),
Вінницький національний аграрний університет (Україна),
Кафедра «Інноваційних технологій і управління»,
Студентське наукове товариство з технологій
машинобудування,
Мала академія наук з науково-промислового профілю.



МОЛОДА НАУКА - РОБОТИЗАЦІЯ І НАНО- ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

міжнародної молодіжної науково-технічної конференції
12-14 квітня 2023 р.

За загальною редакцією
д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського and
Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Краматорськ – Тернопіль, 2023

Ministry of Education and Science of Ukraine,
National Academy of Higher Education of Ukraine,
Donbass State Engineering Academy (DSEA),
Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia),
Apeiron University in Banja Luka, (Bosnia and Herzegovina),
Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, JJ Strossmayer University of Osijek
(Croatia),
University of Montenegro Faculty of Mechanical Engineering,
Zhejiang Normal University, College of Engineering,
Key Laboratory of Urban Rail Transit Intelligent Operation and Maintenance Technology &
Equipment of Zhejiang Province, Jinhua, (China),
Ternopil National Technical University named after Ivan Puluy (Ukraine),
Vinnytsia National Agrarian University (Ukraine),
Vinnytsia National Technical University (Ukraine),
Department of Innovative Technologies and Management DSEA(Ukraine),
Student Society Technology Engineering DSEA(Ukraine),
Small Academy of Sciences for Scientific and Industrial Profile (Ukraine)



YOUNG SCIENCE - ROBOTICS AND NANO- TECHNOLOGY OF MODERN MECHANICAL ENGINEERING

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS
International Youth Scientific and Technical Conference
April 12-14, 2023

According to the general edition
Doctor of Technical Sciences, Prof. Sergiy Kovalevsky and
Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Kramatprsk-Ternopil, 2023

УДК 621
М 75

Рецензенти:

Колосов Д.Л. - докт. техн. наук, професор, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Новіков Ф.В. - докт. техн. наук, професор, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця;

Колот О.В. – докт.техн.наук, генеральний директор НВО «МІНТЕК».

Затверджено на засіданні вченої ради ДДМА (протокол № 8 від 30.03.2023 р.)

М 75 Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 12-14 квітня 2023 р. / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić – Краматорськ : ДДМА, 2023. – 324 с.

Young science - robotics and nano-technologies of modern mechanical engineering: a collection of scientific papers of the International Youth Scientific and Technical Conference, April 12-14, 2023 / for general. ed. S.V. Kovalevsky, Dr. Tech. Science, Prof., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić - Kramatorsk: DSEA, 2023. - 324 p.

ISBN 978-617-7889-39-6

У збірнику опубліковано матеріали праць аспірантів, магістрантів, студентів і учнів – членів Малої академії наук з науково-промислового профілю. Пропонуються перспективні ідеї, аналіз конкретних проблемних питань автоматизації машинобудування, створення робочих функціональних поверхонь деталей машин; подано розробки, готові до впровадження. Призначений для використання в практичній діяльності студентів, магістрів ВНЗ і фахівців машинобудівних підприємств.

The collection contains materials of works of graduate students, undergraduates, students and pupils – members of the Small Academy of Sciences in science and industry. Perspective ideas, the analysis of concrete problematic questions of automation of mechanical engineering, creation of working functional surfaces of details of cars are offered; ready-to-implement developments are submitted. It is intended for use in practical activity of students, masters of high school and experts of the machine-building enterprises..

ISBN 978-617-7889-39-6

УДК 621
□ ДДМА, 2023

Програмний комітет конференції:

Predrag Dašić - Hon.D.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija – Department in Trstenik (Serbia);

Jenek Mariusz - Dr. inz (Polska, Uniwersitet Zielonogorski);

Marušić Vlatko - Dr.Sc., Prof., J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod (Croatia);

Sandra Poirier - Doctor of Education, CFCS, LD/N Professor (Middle Tennessee State University, USA);

Dorđević Milan, president - Dr.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija – Kragujevac (Serbia);

Guida Domenico - Dr.Sc., Prof., University of Salerno, Department of Industrial Engineering (DIIIn), Fisciano (Italy);

Karabegović Isak - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo (Bosnia and Herzegovina);

Mirjanić Dragoljub - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ANURS), Banja Luka (Republic of Srpska - Bosnia and Herzegovina);

Nedeff Valentin - Dr.Sc., Prof., University of Bacău, Faculty of Engineering, Bacău (Romania);

Pele Alexandru-Viorel, dean - Dr.Sc., Prof., University of Oradea, Faculty of Management and Technological Engineering, Oradea (Romania);

Zhelezarov S. Iliya, rector - Dr.Sc., Prof., Technical University of Gabrovo, Gabrovo (Bulgaria)

Анділахай О.О. - д.т.н., проф. (ПДТУ, м. Маріуполь, Україна);

Залога В.О. - д.т.н., проф. (СумДУ, м. Суми, Україна);

Кіяновський М.В. - д.т.н., проф. (КНТУ, м. Кривий Ріг, Україна);

Клименко С.А. – д.т.н., проф. (ІНМ АНУ, м. Київ, Україна);

Ковалевська О.С. - к.т.н., доц., (ДДМА, м. Краматорськ, Україна);

Ковалевський С.В. - д.т.н., проф., (ДДМА, м. Краматорськ, Україна);

Ковальов В.Д. - д.т.н., проф., (ДДМА, м. Краматорськ, Україна);

Козлов Л.Г. - д.т.н., проф., (ВНТУ, м. Вінниця, Україна);

Коржов Є.О. - к.є.н., начальник бюро перспективного розвитку ПрАТ «НКМЗ» (м. Краматорськ, Україна);

Мазур М.П. - д.т.н., проф., (ХНУ, м. Хмельницький, Україна);

Макаренко Н.О. - д.т.н., проф., (ДДМА, м. Краматорськ, Україна);

Марков О.Є. - д.т.н., проф., (ДДМА, м. Краматорськ, Україна);

Марчук В.І. - д.т.н., проф., (ЛНТУ, м. Луцьк, Україна);

Новіков Ф.В. - д.т.н., проф., (ХНЕУ, м. Харків, Україна);

Оргіян О.А. - д.т.н., проф., (ОНПУ, м. Одеса, Україна);

Петраков Ю.В. - д.т.н., проф., (НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м. Київ, Україна);

Петров О.В. - к.т.н., доц., (ВНТУ, м. Вінниця, Україна);

Сапон С.П. - к.т.н., доц., (ЧНТУ, м. Чернігів, Україна).

Program Committee:

Predrag Dašić - Hon.D.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija – Department in Trstenik (Serbia);

Jenek Mariusz - Dr. inz (Polska, Uniwersitet Zielonogorski);

Marušić Vlatko - Dr.Sc., Prof., J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod (Croatia);

Sandra Poirier - Doctor of Education, CFCS, LD/N Professor (Middle Tennessee State University, USA);

Dorđević Milan, president - Dr.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia);

Guida Domenico - Dr.Sc., Prof., University of Salerno, Department of Industrial Engineering (DIIIn), Fisciano (Italy);

Karabegović Isak - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo (Bosnia and Herzegovina);

Mirjanić Dragoljub - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ANURS), Banja Luka (Republic of Srpska - Bosnia and Herzegovina);

Nedeff Valentin - Dr.Sc., Prof., University of Bacău, Faculty of Engineering, Bacău (Romania);

Pele Alexandru-Viorel, dean - Dr.Sc., Prof., University of Oradea, Faculty of Management and Technological Engineering, Oradea (Romania);

Zhelezarov S. Iliya, rector - Dr.Sc., Prof., Technical University of Gabrovo, Gabrovo (Bulgaria);

Andilahi O.O. - Dr.Sc., prof. (PDTU, Mariupol, Ukraine);

Zaloga V.O. - Dr.Sc., prof. (Sumy State University, Sumy, Ukraine);

Kyanovsky M.V. - Dr.Sc., prof. (KNTU, Kryvy Rih, Ukraine);

Klimenko S.A. - Dr.Sc., prof. (ISM, Kyiv, Ukraine);

Kovalevska O.S. - Ph.D., ass.prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Kovalevskyy S.V. - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Kovalev V.D. - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Kozlov L.G. - Dr.Sc., prof. (VNTU, Vinnitsa, Ukraine);

Korzhov Ye.O. – Ph.D., NKMZ (Kramatorsk, Ukraine);

Mazur M.P. - Dr.Sc., prof. (ХНУ, м.Хмельницький, Україна);

Makarenko N.O. - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Markov O.E. - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

Novikov F.V. - Dr.Sc., prof. (KhNEU, Kharkiv, Ukraine);

Orgiyan O.A. - Dr.Sc., prof. (ONPU, Odessa, Ukraine);

Petrakov U.V. - Dr.Sc., prof. (NTUU "KPI" them. I. Sikorsky, Kiev, Ukraine);

Petrov O.V. - Ph.D., ass.prof. (VNTU, Vinnitsa, Ukraine);

Sapon S.P. - Ph.D., ass.prof. (ChNTU, Chernigov, Ukraine).

ЗМІСТ - CONTENT

	Стор.
1. Abhari P.B., Solianov D.O. (<i>Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk - Ternopil, Ukraine</i>) FINITE ELEMENT SIMULATION FOR INVESTIGATING THE SINGLE-ENDED LATERAL EXTRUSION PROCESS	12
2. Kandume J., Shkvar Ye. (<i>College of Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua, China</i>) STRUCTURED DIMPLED STREAMLINED SURFACE FOR IMPROVEMENT OF HIGH-SPEED VEHICLES AERODYNAMICS	16
3. Pavković A., Šmit B., Milinović A., Kladarić I. (<i>Croatia, Slavonski Brod, MEFSB</i>) INFLUENCE OF TEMPERING PARAMETERS ON THE HARDNESS OF 42CrMo4 STEEL	20
4. Oliynek M., Fidrovska N. (<i>Kharkiv National Automobile and Road University Kharkiv, Ukraine</i>) EXPERIMENTAL VERIFICATION OF STRESSES IN THE WALL OF A ROPE DRUM	25
5. Бабаков Д.О., Олійник С.Ю. (<i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна</i>) ПРОБЛЕМИ ВИСОКОШВИДКІСНОГО МЕТОДУ ОБРОБКИ	31
6. Бабаш А.В. (<i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна</i>) РОБОТА З ДОКУМЕНТ ОРІЄНТОВАНОЮ БАЗОЮ ДАНИХ FIREBASE ЗА ДОПОМОГОЮ REST API	34
7. Букатка Ю.С., Копей В.Б. (<i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна</i>) ОСОБЛИВОСТІ ОБЧИСЛЕННЯ ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ З НЕЛІНІЙНИМИ МОДЕЛЯМИ МАТЕРІАЛУ	42
8. Ватраль В.О., Холмовой Ю.П. (<i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна</i>) КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЯ ХІМІКО-АНАЛІТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ E500i. II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА	48
9. Гмиря Д.І., Аврунін Г.А. (<i>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна</i>) ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДА ТРАКТОРА-НАВАНТАЖУВАЧА ХТЗ-156Б	53
10. Гончаров О.О., Михайлов В.М., Прасол С.В., Шевченко А.О. (<i>Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна</i>) РОЗРАХУНОК ТРИВАЛОСТІ НВЧ-КОНЦЕНТРУВАННЯ СУМІШІ КОРЕНІВ ПРЯНИХ ОВОЧІВ	61
11. Гребенкін О.О., Олійник С.Ю. (<i>Донбаська державна машинобудівна академія, мм. Краматорськ-Тернопіль, Україна</i>) РОЗВИТОК ТА ПРОБЛЕМИ ЛАЗЕРНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ	68

12. Гуков О.В., Фідровська Н.М. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна) ФОРМУВАННЯ ЗІГНУТОГО КАНАТА ПРИ НАБІГАННІ ЙОГО НА ШКІВ	71
13. Дєнін С.А., Головін В.О., Морозан С.М., Гайдаєнко О.В., Казимиренко Ю.О. (Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна) ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ДИЗАЙНЕРСЬКИХ ПРОЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ РЕЦИКЛІНГУ СТЕКОЛ	77
14. Дзержинський І.В., Кассов В.Д. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ БАШТОВИМИ КРАНАМИ	82
15. Древетняк С.А., Ковалевський С.В., (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна) РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОЇ ТАКЕЛАЖНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИРОБІВ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ	87
16. Дук В.Г., Ковалевський С.В. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ — Тернопіль, Україна) РОЗРОБКА І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ З ВДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДАННЯ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ (НА ПРИКЛАДІ БАГАТОЛЕЗОВИХ ФРЕЗ)	90
17. Єлін В.В., Медведєв В.В. (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна) МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	96
18. Захаров А.В., Рибалко І.М. (Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна), Сайчук О.В. (Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж імені В.І Вернадського, м. Харків, Україна) ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОЧИЩЕННЯ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ВІД НЕМЕТАЛЕВИХ ДОМІШОК ПІД ЧАС ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ	101
19. Зубарєв П.В., Ковалевський С.В. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) МАГНІТНО РЕЗОНАНСНЕ ОБ'ЄМНЕ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ=	106
20. Іваненко Р.О. (Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз, м. Київ, Україна) ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРОБЛЕННІ НА МЕТАЛООБРОБЛЮВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК	109
21. Іванов Д.С., Красножон Я.О., Кушій А.М. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ	114

ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

22. Каплюк О.М., Манжара О.В., Коханівський Р.Р., Кушніренко О.В., Дудник Т.Г. (Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, Україна) **МЕТОДИ СКОРОЧЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КОРПУСУ ПЛАНЕТАРНО-КОНІЧНОГО РЕДУКТОРА ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ** 120
23. Кібальник К.В., Швець С.В. (Сумський державний університет, м. Суми, Україна) **АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ЗНОШУВАННЯ ЛЕЗА** 128
24. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Зуєв І.О. (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна) **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ РОЗВИТКУ ЛОКАЛЬНИХ ДЕФЕКТІВ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ ДЕТАЛЕЙ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ З СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ** 132
25. Кобилецький О.В., Сліпчук А.М., Яким Р.С. (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна) **СТВОРЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ НА ОСНОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ** 140
26. Ковалевський С.В., Репченко В.С., Тур Т.М., Мироненко М.О. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПРОЦЕСІВ ІННОВАТИКИ В МАШИНОБУДУВАННІ** 147
27. Ковалевський С.В., Сидюк Д.М. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ МАШИНОБУДУВАННЯ НА П'ЯТОМУ ЕТАПІ ПРОМИСЛОВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ** 151
28. Коваленко В.А. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОСТОВОГО КРАНУ** 156
29. Коваленко О.М., Ковалевська О.С. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕФОРМАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ НА БАЗІ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ** 161
30. Коваль С.С., Фідровська Н.М. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна) **ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ПАРАБОЛІЧНИХ СПЛАЙНІВ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ** 166
31. Корецький Я.С., Кириченко І. Г. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна) **МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІРТУАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРНОСТІ МОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА В AUTODESK** 170

INVENTOR

32. Латишев Д.В., Молчанов В.Ф. (Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна) **ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ОБРОБКИ НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ** 175
33. Левенчук Д.В., Бондаренко О.В. (Відокремлений структурний підрозділ «Краматорський фаховий коледж промисловості, інформаційних технологій та бізнесу Донбаської державної машинобудівної академії» м. Краматорськ, Україна) **ДУАЛЬНЕ НАВЧАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ** 179
34. Майстренко М.А., Медведєв В.В. (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна) **ПОРІВНЯННЯ ВАРТОСТІ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ ТА ЗАГАРТОВУВАННЯ ТВЧ** 183
35. Малій О.Г., Левченко В.М., Алієв І.С. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ КОНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ** 188
36. Матющенко О.Г., Мирюгін В.І., Шулежко А.В. (Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, Україна) **ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВО БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ** 196
37. П'янов Д.О., Тулупов В.І. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ЗМІЦНЮВАЛЬНА ОБРОБКА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ** 202
38. Панібратченко Ю.А., Чучин О.В. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ З ЗАСТОСУВАННЯМ СХЕМ ПОЗДОВЖНЬОГО ЗВОРОТНО-ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ** 205
39. Панін В.О., Ащепкова Н.С. (Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро, Україна) **РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ СПОЛУКИ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДУ ПОШТИ** 209
40. Пархоменко М.А., Волянчук В.О., Міщук Д.О. (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна) **РОЗРОБКА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ДВОЛАНКОВОГО МАНІПУЛЯТОРА** 214
41. Приходько С.М., Заєць І.І. (Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, Україна) **АНАЛІЗ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В УМОВАХ** 220

ДІЇ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ

42. Проданчук О.О., Ступницький В.В. (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна) **ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ІНДУСТРІЇ ЛИТТЯ ПЛАСТИКУ ШЛЯХОМ РОБОТИЗАЦІЇ ДОПОМІЖНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КРОКІВ** 225
43. Пшонка А.С. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС З УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ З КІНЕМАТИКОЮ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ** 231
44. Радченко Ю.Д., Вислоух С.П. (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна) **ВИКОРИСТАННЯ WMS В СИСТЕМАХ ЛОГІСТИКИ** 234
45. Семенченко С.Р. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ ЗМЕНШЕННЯ ВІБРАЦІЇ СТРИЛИ ОПЕРАТОРСЬКОГО КРАНА** 239
46. Синиця Т.В. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **РОЗРОБКА І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН** 243
47. Слівкін Є.В., Тришевський О.І. (Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна) **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ЗАВДАННЯ ПОЛОСИ У ПРОФІЛЕЗГИНАЛЬНІ АГРЕГАТИ НА ДЕФОРМУВАННЯ, СТАН І ЯКОСТЬ ПРОФІЛЕЙ З ПЕРІОДИЧНО ПОВТОРЮВАНИМИ ПОВЗДОВЖНІМИ ГОФРАМИ ЖОРСТКОСТІ** 248
48. Соколов М.В., Олійник С.Ю. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА** 255
49. Соломко Є.С., Онищук С.Г., Тулупов В.І. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН** 259
50. Трембач І.О., Гринь О.Г. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна) **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕКЗОТЕРМІЧНОЇ ДОБАВКИ $MnO_2 + Al$ В ОСЕРДІ САМОЗАХИСНОГО ПОРОШКОВОГО ДРОТУ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ВИСОКОМАНГАНОВОЇ СТАЛІ** 262
51. Ходунов А.О., Таратута К.В. (Запорізький національний університет, кафедра металургійного обладнання, м. Запоріжжя, Україна) **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ВОЛОК** 269

ДЛЯ ВОЛОЧІННЯ ФАСОННИХ ПРОФІЛІВ

- 52. Цибуленко В.О., Воронцов Б.С.** *(Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м.Київ, Україна)* **МЕХАНІЧНА ОБРОБКА СЕЛЕКТИВНОЇ ЛАЗЕРНОЇ ПЛАВЛЕНОЇ ДУПЛЕКСНОЇ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ**

273
- 53. Чепеленко А. Ю., Холмовой Ю.П.** *(Донбаська державна машинобудівна академія, м.м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)* **КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЯ ХІМІКО-АНАЛІТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ E500i. І. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ**

278
- 54. Чередниченко І. І., Задорожня І. М.** *(Донбаська державна машинобудівна академія, м.м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)* **АСПЕКТИ СИНТЕЗУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З УРАХУВАННЯМ ВЗАЄМОДІЇ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТА МЕХАНІЧНІЙ ЧАСТИНАХ ПРИВОДУ**

283
- 55. Чернишов Б.О., Ащепкова Н.С.** *(Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро, Україна)* **РОЗРОБКА МАНІПУЛЯТОРУ ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ДІЛЬНИЦІ СВЕРДЛИЛЬНОЇ ОБРОБКИ**

290
- 56. Шепеленко І.В., Магопєць М.С.** *(Центральноукраїнський національний технічний університет м. Кропивницький, Україна)* **ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

295
- 57. Goran Milentijević, Marko Agatonović, Milutin M. Milosavljević** *(Faculty of Technical Sciences, University of Kosovska Mitrovica, Serbia)* **OPTIMIZATION OF THE LABORATORY PROCEDURE FOR THE SYNTHESIS OF N-ALKYL, N,N-DIALKYL AND N-CYCLOALKYL-O-BUTYLTHIOCARBAMATE**

299
- 58. Predrag Pravdić, Violera Đorđević, Jelena Erić-Obućina, Vladan Obućina** *(Akademija vaspitačko-medicinskih strukovnih studija, Odsek tehničko-tehnoloških studija Kruševac; Akademija strukovnih studija Šumadija, Trstenik; Vojska Srbije, Srbija)* **RECYCLING OF WASTE MOTOR OILS AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT**

313

Abhari P.B., Solianov D.O. (Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk - Ternopil, Ukraine)

FINITE ELEMENT SIMULATION FOR INVESTIGATING THE SINGLE-ENDED LATERAL EXTRUSION PROCESS

This article focuses on the cold lateral extrusion process of branch form and uses the rigid-plastic finite element method (FEM) to simulate the single-ended lateral extrusion process. The investigation considers the die geometry parameters, billet dimensions, and power mode parameters to analyze the material flow and stress-strain state. Using three-dimensional DEFORM software, the forming characteristics, such as deformation patterns (gridlines distortion), effective strain, and stress distributions in single-ended lateral extrusion processes, are examined. The study aims to provide insights into the behavior of the lateral extrusion process and its characteristics to enhance the production of high-quality branch-form components.

Ця стаття присвячена процесу холодної бокового видавлювання гіллястої форми і використовує метод жорстко-пластичних скінченних елементів (МСЕ) для моделювання процесу односторонньої бокового видавлювання. У дослідженні розглядаються параметри геометрії матриці, розміри заготовки та параметри силового режиму для аналізу потоку матеріалу та напружено-деформованого стану. Використовуючи тривимірне програмне забезпечення DEFORM, досліджено характеристики формоутворення, такі як картини деформації (викривлення ліній сітки), ефективні деформації та розподіл напружень в процесі односторонньої бокового видавлювання. Метою дослідження є розуміння поведінки процесу бокового видавлювання та його характеристик для покращення виробництва високоякісних компонентів гіллястої форми.

I. INTRODUCTION

The forging process is a significant metal forming technique utilized to manufacture various industrial parts, especially precision and flashless components, through cold, warm, and hot forming. This process involves altering the shape and properties of a billet using plastic deformation without removing any material. Over time, computer-aided design, engineering, and manufacturing techniques have been adopted to design and analyze forging processes. Additionally, computer-aided simulation techniques have been employed to decrease the cost and time associated with process design. Recently, there has been an increased demand for cold forging to generate precise components with diverse shapes. Due to its high production rates, material savings, and superb surface finish, cold forging is an economical approach and an excellent choice for manufacturing large quantities of various parts. The extrusion process performed at room temperature is a form of cold forging process that enables the production of axisymmetric and non-axisymmetric components. The principal types of extrusion processes include forward, backward, radial, lateral, and combined. Lateral

extrusion is a vital branch of the extrusion process used to create non-axisymmetric components. During this process, a billet is placed inside a container and pressed by one or two opposite simple punches, causing the radial material flow through a fixed die cavity. [1-3].

II. METHOD OF ANALYSIS

The finite element method (FEM) is a highly effective numerical tool in computer-aided engineering (CAE) that is utilized to solve various design and manufacturing problems while reducing development time and cost. This study employs a rigid plastic finite element program, specifically the DEFORM 3D software, to investigate the lateral extrusion process.

III. PURPOSE OF INVESTIGATION

This study investigates the deformation patterns, effective strain and stress distributions in two different schemes of lateral extrusion process, namely single-ended and numerical simulation using finite element method. The study examines the behavior of the forming process by analyzing the gridlines distortion, effective strain and stress distributions. The results of this study provide valuable insights into the behavior of the lateral extrusion process and can be utilized to optimize the production of high-quality branch-form components.

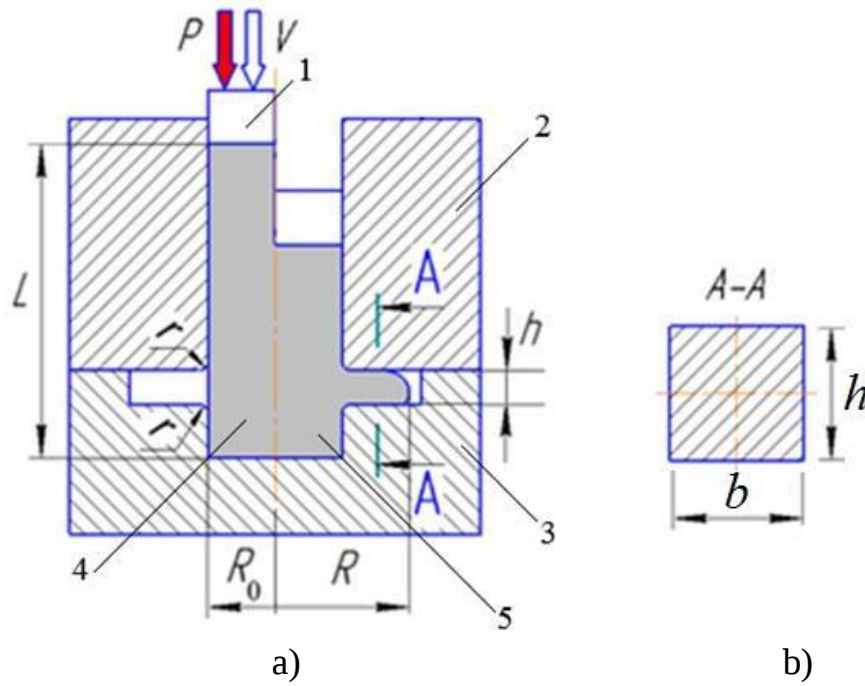
IV. LATERAL EXTRUSION PROCESS

The die scheme, die geometry parameters, axisymmetric billet dimensions and the formed part for single-ended lateral extrusion process is shown in Fig. 1. The die geometry parameters, billet dimensions and power mode parameters are as follows: R_0 – the radius of billet ($R_0 = 15\text{mm}$), R – the intermediate branch radius, L – the billet height ($L = 100\text{mm}$), h – the branch height ($h = 15\text{mm}$), $h/R_0 = 0.75$, b – the branch thickness ($b = 30\text{mm}$) r – the die tip radius ($r = 1\text{mm}$), V – punch velocity ($V = 1\text{mm/s}$), P – punch load, the friction factors between the billet and tools are constant (Zibel's law, $\mu = 0.08$).

V. MATERIAL PROPERTY

In this study, the material used for the simulation is AA 6060 aluminum alloy. The relationship between flow stress and effective strain for AA 6060 aluminum alloy can be approximated by:

$$\sigma = 191.55 \epsilon^{0.202} \text{ (MPa)} \quad (1)$$



1 – punch, 2 – upper die, 3 – lower die, 4 – billet, 5 – formed part

Fig. 1. Die scheme of single-ended lateral extrusion process (a) and cross section A-A (b)

VI. ANALYSIS OF LATERAL EXTRUSION PROCESS

In the lateral extrusion process with branch, tool parts such as upper and lower dies, and movable punches were designed and simulated using finite element software DEFORM 3D. The simulations were carried out in one stage. In the stage, the simulation results, including finite element analysis illustrations, were determined.

The simulation results show that the billet is rigid-plastic, while the upper and lower dies, as well as the punches, are all rigid. Deformation patterns, effective strain and stress distributions in the single-ended lateral extrusion process with a relationship of $h/R_0=0.75$ are presented in Fig. 2. It is observed that the maximum deformation patterns occur in the central area of the forming process. The effective strain and stress of the billet are symmetrically distributed throughout the process, as shown in Fig. 2. The maximum effective strain and stress are calculated to be $\varepsilon_{\max}=2.5$ and $\sigma_{\max}=140\text{MPa}$, respectively, in the single-ended process (Fig. 2). These findings are significant in optimizing the lateral extrusion process with branch for producing high-quality branch-form components.

VII. CONCLUSIONS

This study utilized three-dimensional finite element simulations with DEFORM to investigate the cold lateral extrusion process, specifically the single-ended method. The simulation involved analyzing die geometry parameters, billet dimensions, and power mode parameters to determine the material flow and stress-strain state during the process. The resulting deformation patterns, as well as

distributions of effective strain and stress, were observed and analyzed. The simulations showed that the maximum deformation patterns occurred in the central area of the forming process. Furthermore, the effective strain and stress were symmetrically distributed throughout the process, with the maximum values appearing on the die tip radius.

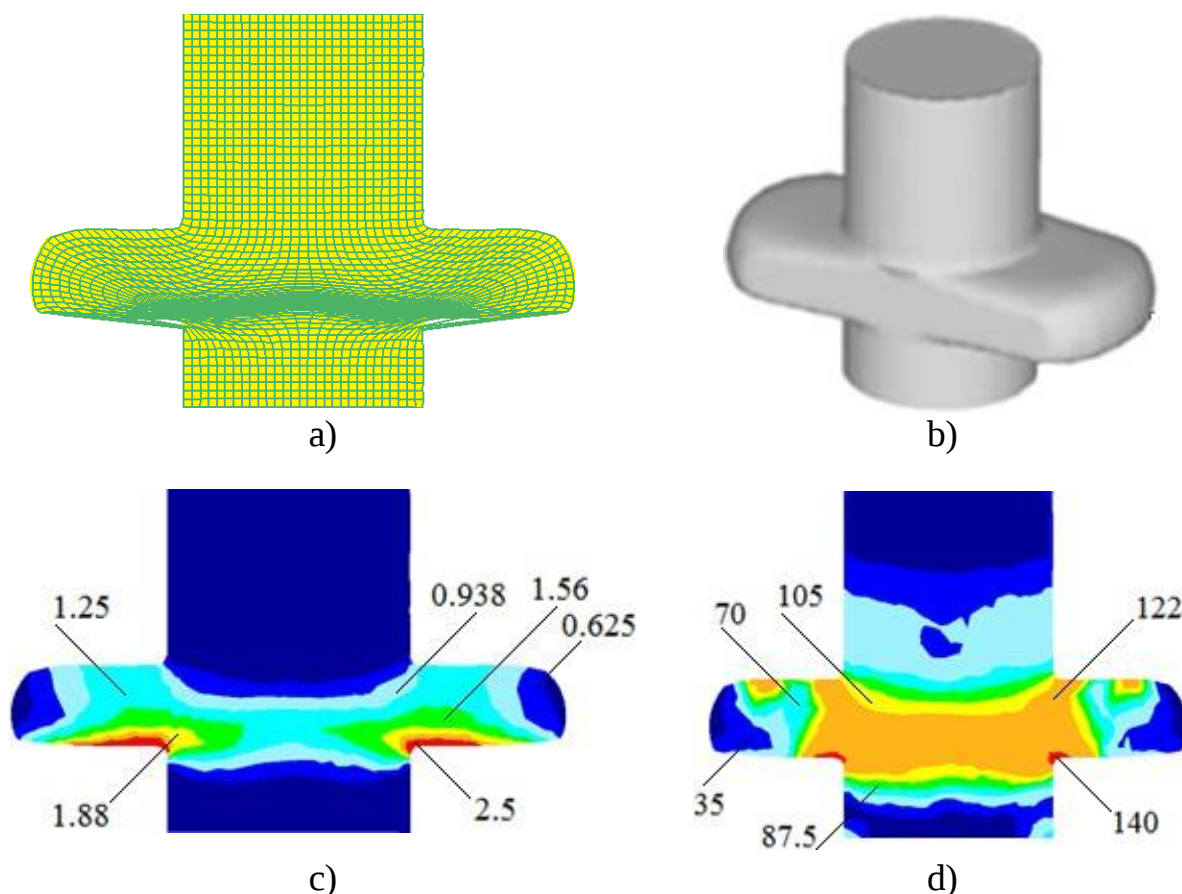


Fig. 2. Deformation patterns or gridlines distortion (a); formed part (b) distributions of effective strain (c); distributions of effective stress, MPa (d) with $R/R_0=2,4$ in single-ended lateral extrusion process

REFERENCES

1. L. N. Patra and S. K. Sahoo, 3D analysis of extrusion-forging process: Pentagonal head with round shaft. *International Journal of Applied Engineering*, vol 1, PP. 2-8, 2011.
2. U. C. Paltasingh, S. K. Sahoo, P.R. Dash, K.C. Nayak, S. Potnuru, Lateral Extrusion for Round to-Triangular Head: Experimental Studies and Three-Dimensional Analyses. *International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, vol. 1(2), pp. 1-8, 2013.
3. Payman Abhari, Investigation of load on the tools in precision radial extrusion process with multiple ram /Payman Abhari // XVII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering»: Series: Monografie. – Nr 56. – Częstochowa, Poland, 2016 – P. 330–333.

UDC 532.526

Kandume J., Shkvar Ye. (College of Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua, China)

STRUCTURED DIMPLED STREAMLINED SURFACE FOR IMPROVEMENT OF HIGH-SPEED VEHICLES AERODYNAMICS

Дослідження демонструє результати PIV візуалізації потоку з високою роздільною здатністю. Перевіряється гіпотеза про те, що наявність лунок на обтічній поверхні створює змінну у поперечному напрямку компоненту швидкості, яка послаблює інтенсивність пристінного вихроутворення та зменшує опір тертя.

The study demonstrates the results of high-resolution PIV flow visualization. The hypothesis that the presence of dimples on a streamlined surface creates a variable velocity component in the transverse direction, which reduces the intensity of wall eddy formation and reduces friction drag has been tested.

1. INTRODUCTION

This study's main objective is to develop a special kind of vortex structure at such a surface that will inhibit the growth of turbulence. This causes a reduction in drag when Reynolds numbers are sufficiently high. The flow field's componential shifts as a result of the dimples on the surface, bringing about a transition that is closer to the axisymmetric state. Similar to decaying grid turbulence, the turbulence will also degrade at the body's boundary and over the dimpled body. Whichever effect has a greater impact will determine the amount of drag reduction, and progress must be made by designing dimples with different depths and identical diameters. Dimple placement is crucial, and a staggered arrangement will yield the best results and result in low friction.

2. EXPERIMENTAL FACILITIES AND METHODOLOGY

The flat plastic dimpled test plates, which measure 200x34.8x5.2 mm, were used in this experimental endeavor. The parameters of the elliptical dimples under test are as follows: They are all elliptical with minor and major axes of 10mm and 30mm respectively and a depth of 3mm (Fig. 1). The current gadget has all of the dimples aligned; however, different configurations will be employed to compare effectiveness. The use of composite materials is due to high strength and stiffness and low weight compared to metallic materials. However, a significant disadvantage of polymer composites is the possibility of hidden internal destructive micro shock due to various influences, which can cause accidents in the operation of the aircraft.

We employ a wind tunnel that was verified by Chongqing Lantian Co., Ltd. in 2017 (Fig. 2). Two test sections with octagonal sections are available in the wind tunnel. According to the wind tunnel certification passport, the low-speed flow area is 1050*1050mm, and the speed is 20m/s; the high-speed flow area is

600*600mm, and the speed is 60m/s. In the low-velocity area, the turbulence intensity level of flow homogeneity is 0.02 percent ($v=20\text{m/s}$). The flow uniformity in the high-speed zone is 0.03% ($V=60\text{m/s}$).

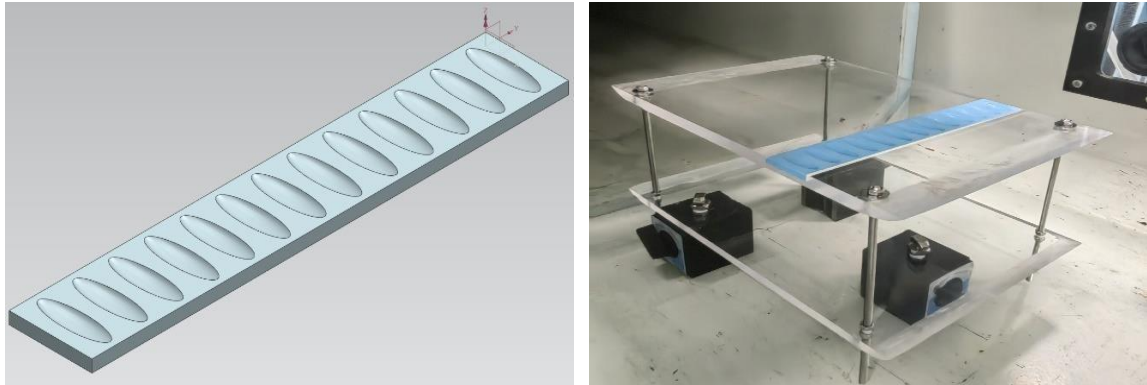


Fig. 1. Device(dimpled flat plate) and testing adjustment

3. DISCUSSION OF THE EXPERIMENTAL RESULTS

The initial results we obtain in vertical section of developed flow (Fig. 3) demonstrate that a dimpled surface relief is a useful tool for producing the necessary structure of artificial vorticity on a streamlined surface. Although we can accurately measure the flow far from the dimple, the region directly adjacent to the dimple (shown in yellow) is the focus of most of the theoretical and practical attention, and it is where our current and future efforts will be applied.

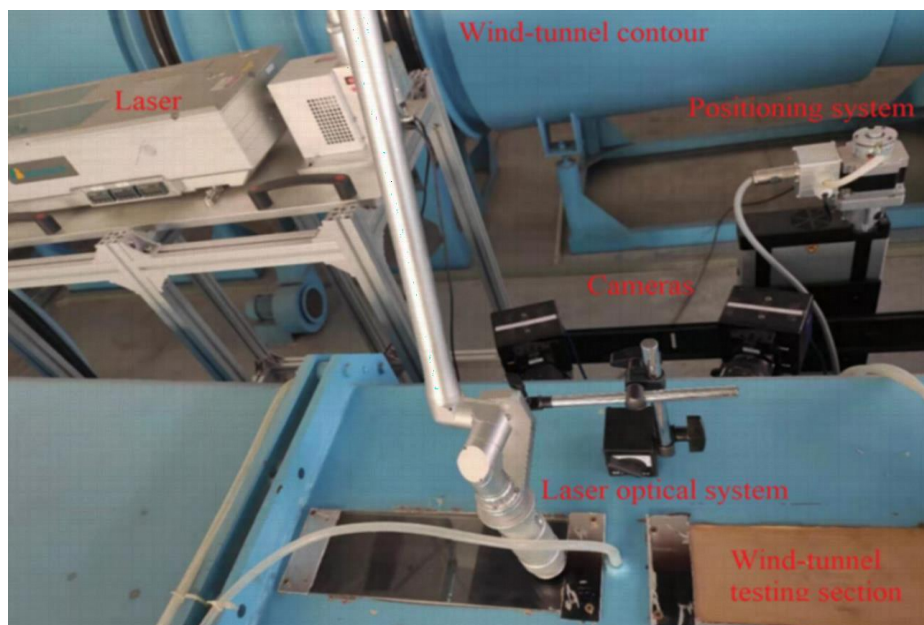


Fig. 2. ZJNU CE TR-PIV system, integrated with the wind-tunnel

The results we obtain in the horizontal section of the developed flow (Fig. 4, 5) illustrate the possibilities to obtain or measure for the entire frame as opposed to only obtaining for streamlining in the case of the vertical. It will also

enable us to adjust the laser sheet closer and further away from the dimpled surface, providing us with complete detailed results within the boundary layer of the dimpled structure. In a nutshell, the vertical and horizontal measurements combined represent the 3D measurement of the body's boundary layer.

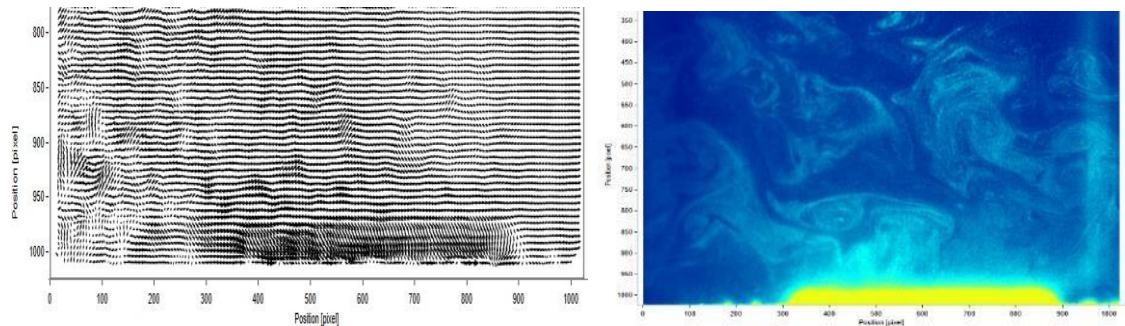


Fig. 3. Flow visualization in the vertical flow section behind the set of dimples



Fig. 4. A test model in the process of PIV measurement

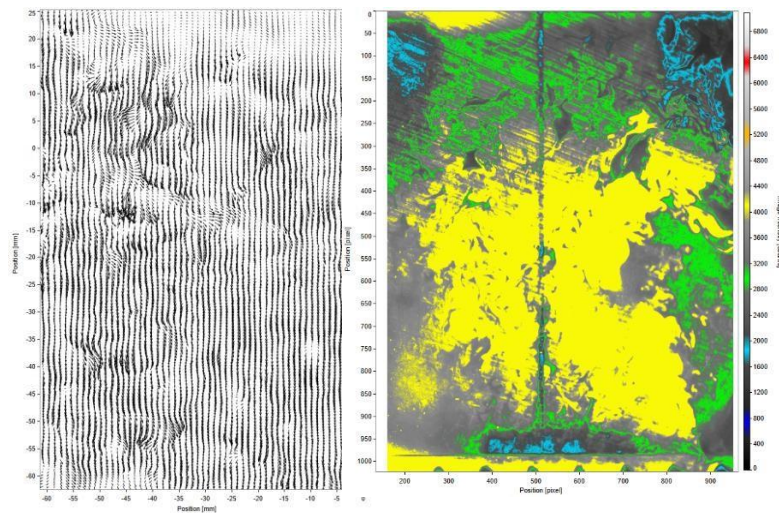


Fig.5. Flow visualization in the horizontal flow section behind the set of dimples

4. BRIEF INTRODUCTION TO THE PLANNED RESEARCH

As previously mentioned, the project will be carried out with various configurations of dimple arrangements, whereby the effectiveness of any of them

will be taken further. There are various types of dimples structures that will be employed in this experimental project and in various patterns within the flat plain surface, and this will undoubtedly lead us to choose which dimples are more effective than others and can be pushed for further studies.

5. CONCLUSION

The initial results of the experiment point to a largely favorable conclusion; the flow changes as it completely traverses the dimples plate and produces the regular vortex structure, illustrative of the device's potential efficacy. The rational geometry of dimples for the predicted modes of application, typical for the high-speed train surface, as well as their ideal arrangement along it, will be established through further research.

REFERENCES

1. Olaf Van Campenhout, Michiel Van Nesselrooij, Leo Veldhuis, Bas Van Oudheusden, Ferdinand. Schrijer, *Flow visualization over drag-reducing dimpled surfaces in turbulent boundary layers using Particle Image Velocimetry. 18th International Symposium on the Application of Laser and Imaging Techniques to Fluid Mechanics*At: Lisbon, Portugal (2016)
2. M. van Nesselrooij, L. L. M. Veldhuis, B. W. van Oudheusden, F. F. J. Schrijer *Drag reduction by means of dimpled surfaces in turbulent boundary layers, Experiments in Fluids* (2016) 57:142, – 14p. DOI 10.1007/s00348-016-2230-9
3. C. M. J. Tay, B. C. Khoo and Y. T. Chew, *Mechanics of drag reduction by shallow dimples in channel flow*. <https://doi.org/10.1063/1.4915069>, 16 March 2015
4. J. P. Panda, J. Handique, H. V. Warrior, *Mechanics of drag reduction of an axisymmetric body of revolution with shallow dimples*, sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav
5. J. H. Ng, R. K. Jaiman, T. T. Lim, C. M. Tay B. C. Khoo, *Geometric Effects of Shallow Dimples in Turbulent Channel, Flows at $Re \approx 180$: A Vorticity Transport Perspective. February 2020, Flow Turbulence and Combustion*, DOI:10.1007/s10494-020-00112-6
6. Federica Gattere, Alessandro Chiarini and Maurizio Quadrio, Politecnico di Milano, *Dimples for skin-friction drag reduction: status and perspectives*, Dept. of Aerospace Science and Technologies, *Fluids* 2022, 7, 240, doi.org/10.3390/fluids7070240
7. Xian Li, Mengmeng Du, and Fengquan Zhong, *Effect of dimple depth on turbulent flow and heat transfer of kerosene in the rectangular duct*, State Key Laboratory of High Temperature Gas Dynamics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, doi.org/10.1007/s10409-021-09010-x
8. Hermann Lienhart, Michael Breuer, Cagatay Koksoy, *Institute of Fluid Mechanics, Drag reduction by dimples? – A complementary experimental/numerical investigation*, 2008, *International Journal of Heat and Fluid Flow*

Pavković A., Šmit B., Milinović A., Kladarić I. (Croatia, Slavonski Brod, MEFSB)

INFLUENCE OF TEMPERING PARAMETERS ON THE HARDNESS OF 42CrMo4 STEEL

Tempering is a heat treatment process performed after quenching. The most important parameters for tempering are temperature and duration, and their relationship is described by the Hollomon-Jaffe parameter. In this work, the hardness of 42CrMo4 steel was studied, which was tempered with the same value of Hollomon-Jaffe parameter but with different temperatures and durations. The results showed that tempering with approximately the same Hollomon-Jaffe parameters resulted in approximately the same surface hardness.

Гартування - це процес термічної обробки, який проводиться після загартування. Найважливішими параметрами загартування є температура і тривалість, а їх співвідношення описується параметром Холломона-Яффе. У даній роботі досліджували твердість сталі 42CrMo4, яку відпускали за однакового значення параметра Холломона-Яффе, але за різних температур і тривалості. Результати показали, що відпустка з приблизно однаковими параметрами Холломона-Джаффе призвела до приблизно однакової твердості поверхні.

1. INTRODUCTION

Quenching is one of the most common heat treatments consisting of austenitizing, holding at the austenitizing temperature, and cooling faster than the critical cooling rate. It is performed to achieve a martensitic microstructure, which results in an increase in the hardness and strength of the steel. A negative effect of quenching is a decrease in toughness and an increase in residual stresses. To increase toughness and decrease residual stresses, the steel is tempered after quenching [1, 2]. Depending on the temperature range, three main groups of tempering are distinguished: Low temperature (< 220 °C), medium- temperature (220 to 450 °C) and high temperature tempering (> 450 °C to below A1). Compared to low and medium temperature tempering, high temperature tempering results in lower strength but also the highest toughness. High temperature tempering can be applied to unalloyed and low alloy structural steels with a carbon content of 0.25-0.60 %, as well as hot work and high speed steels [1]. As with any heat treatment, the main parameters in tempering are temperature and duration. Since tempering is a diffusion-based process, higher temperatures for shorter durations have the same effect as lower temperatures for longer durations of tempering. [2-4]. The Hollomon-Jaffe equation establishes the relationship between these two parameters [3]:

$$P = T \cdot (C + \log t) \quad (1)$$

where:

P – The Hollomon-Jaffe parameter
 C – The material-dependent constant,
 T – tempering temperature, K,
 t – tempering duration, h.

The value of the constant C depends on the material and is:

- for unalloyed steels $C = 21.3 - 5.8 \cdot \% C$
- for alloyed steels $C \approx 20$ [3].

Tempering at different temperatures and durations should result in the same properties for the same value of the Hollomon-Jaffe parameter [3, 4]. Some authors use the Hollomon-Jaffe parameter in their studies to predict the hardness after tempering [2, 4, 5]. In this work, the hardness of 42CrMo4 steel tempered at different values of temperature and duration but with the same values of Hollomon-Jaffe parameters was studied. 42CrMo4 is an alloyed quenched and tempered steel that has a good combination of strength and toughness in the quenched and tempered condition. It is mainly used for the production of machine parts, automotive and aircraft components such as axles, bolts, gears, crankshafts and axle journals [6-9].

2. EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS

Material and methods

The steel used for this study was 42CrMo4, and specimens with dimensions $\varnothing 20 \times 25$ mm were prepared. The chemical composition of the 42CrMo4 steel is given in Table 1.

Table 1. Chemical composition of the 42CrMo4 steel, % wt. [6]

C	Si	Mn	Cr	Mo	S	other
0,42	0,25	0,75	1,10	0,22	< 0,035	(Pb)

The recommended temperature for quenching the 42CrMo4 steel is 820-860 °C with water or oil cooling. For tempering, a temperature of 540-680 °C and a duration of at least 60 minutes are recommended [10]. In accordance with the recommendations, the quenching parameters 840 °C/30 min/water cooling were chosen. Quenching of the specimens was carried out in the "Nabertherm" electric chamber furnace for heat treatment, which operates at a maximum temperature of up to 1200 °C. After quenching, high temperature tempering was performed at three different temperatures and durations. According to the recommendation, a temperature of 610 °C and a duration of 1 h were selected for the temperature of one tempering process. For the other two tempering processes, the temperatures and durations were chosen to give approximately equal values for the Hollomon-Jaffe parameter. The tempering parameters and the corresponding Hollomon-Jaffe parameter values are given in Table 2.

Table 2. Tempering parameters and the Hollomon-Jaffe parameter, P

	580 °C/5 h	610 °C/1 h	650 °C/8,5 min
P	17659	17663	17649

After heat treatment, metallographic and hardness tests were performed on the specimens. Prior to metallographic testing, the specimens were ground with 810 to 1000 grit sandpaper, polished with alumina on felt, and etched in 3% Nital. The microstructure was recorded using a Leica DM 2500 M optical microscope. The hardness of the specimens was measured by the Vickers method (HV10) on the TH720 hardness tester, and the hardness was determined as the average of 5 measurements.

3.RESULTS AND ANALYSIS OF RESULTS

Before quenching, the as-delivered hardness was tested, and it was found that the hardness of the 42CrMo4 steel was 215 HV10. All samples were austenitized at 840 °C and cooled in water. After quenching, metallographic analysis was performed and the surface hardness was measured. The microstructure of the surface and core of the quenched 42CrMo4 steel is shown in Figure 1.

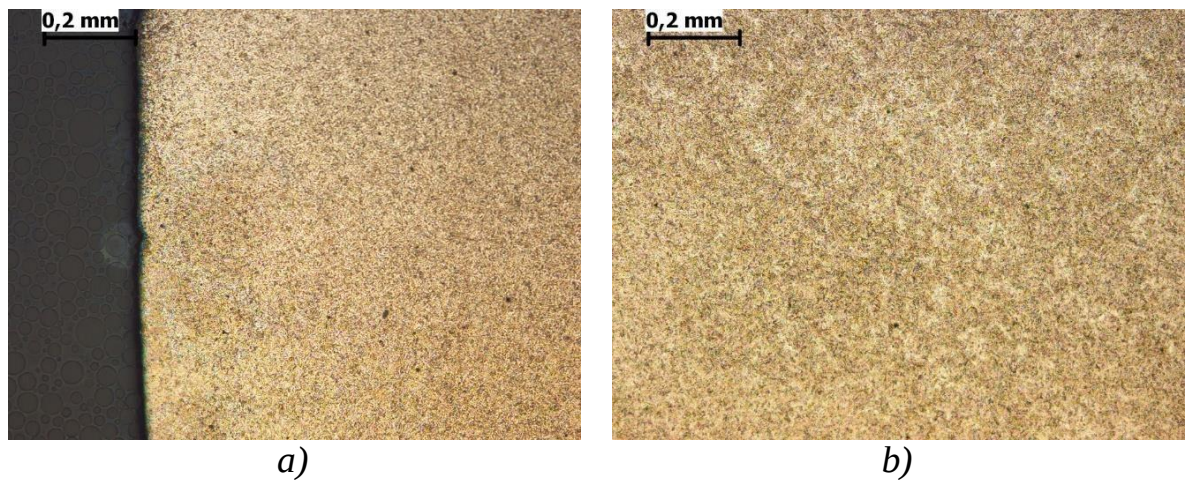


Figure 1. Microstructure of 42CrMo4 steel after quenching, a) surface; b) core; magnification 100:1

The 42CrMo4 steel exhibits a ferrite-pearlite microstructure in the as-delivered state. Figure 1 shows that the microstructure has changed due to quenching and that the surface has a martensitic microstructure. In contrast to the surface, the core has not completely transformed into martensite. The lower percentage of martensite in the core is due to the fact that the 42CrMo4 steel has an intermediate hardenability [11]. The formation of martensite also resulted in an increase in hardness. By measuring the hardness, it was found that quenching resulted in a significant increase in hardness, with the surface hardness being 761

HV10, while the hardness achieved in the core was 681 HV10. The difference between surface and core hardness also confirms that the core contains a lower percentage of martensite than the surface.

After quenching, the specimens were tempered at temperatures of 580, 610, and 650 °C for 5 h, 1 h, and 8.5 min, respectively. The microstructure obtained was analysed and the surface hardness was measured. The microstructure of the specimen tempered at 650 °C for 8.5 min is shown in Figure 2.

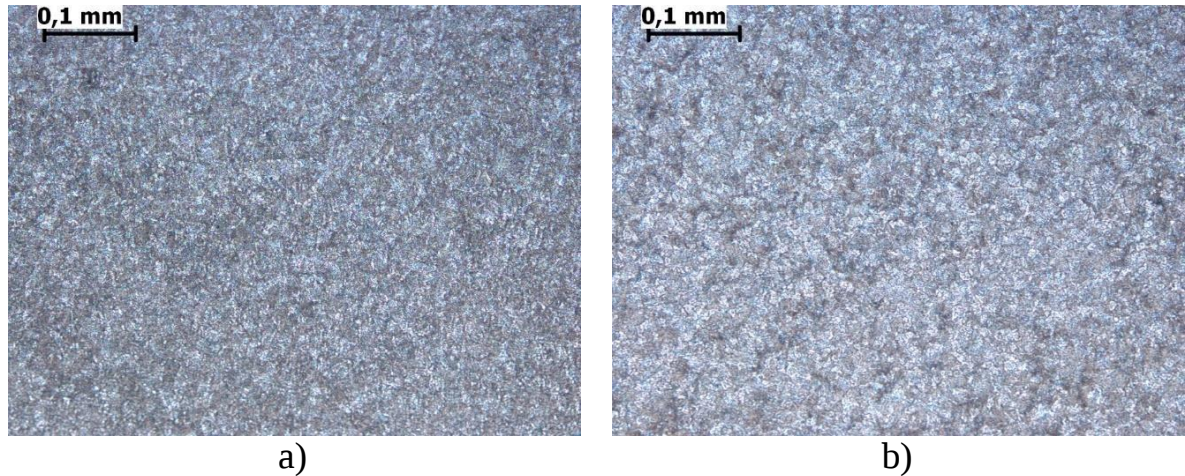


Figure 2. Microstructure of 42CrMo4 steel tempered at 650 °C for 8.5 min, a) surface; b) core; magnification 200:1

From Figure 2, it can be seen that significant tempering of the martensite has occurred. The microstructure of the surface and the core is virtually identical and similar to the microstructure in the annealed condition. This structure is also reflected in the hardness. The analysis showed that the hardness decreased significantly. The surface hardness determined for all tempering parameters is given in Table 3.

Table 3 Surface hardness after tempering

	Hardness, HV10		
Parameters	580 °C/5 h	610 °C/1 h	650 °C/8,5 min
Surface hardness	308	300	288

It can be seen from Table 3 that the surface hardnesses obtained are approximately the same for all parameters. These results confirm that tempering at different temperatures and durations, but with approximately the same Hollomon-Jaffe parameters, results in approximately the same hardness. Significant drops in hardness after tempering indicate that the duration was too long at the selected tempering temperatures, as the hardness was only slightly higher compared to the as-delivered condition.

4. CONCLUSIONS

Based on the results, the following conclusions can be drawn:

- the as-delivered hardness was 215 HV10;
- quenching of 42 CrMo4 steel resulted in increased hardness, with a surface hardness of 761 HV10 and a core hardness of 681 HV10;
- tempering at different temperatures and durations, but with approximately the same Hollomon-Jaffe parameters, resulted in approximately the same hardness;
- tempering with the selected parameters resulted in a significant decrease in hardness. To achieve a higher hardness, tempering at the selected temperatures should be performed for a shorter duration.

REFERENCES

1. Krumes, D. *Toplinska Obrada; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu: Slavonski Brod, Croatia, 2000; pp. 146-196.*
2. Vicente, F. S.; Carrasco, J. C.; Antoni, R. F.; Ferrero Taberner, J. C., Pascual Guillamón, M. *Hardness Prediction in Quenched and Tempered Nodular Cast Iron Using the Hollomon-Jaffe Parameter. Metals* 2021, 11, 297.
3. Novosel, M.; Cajner, F.; Krumes, D. *Alatni materijali; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu: Slavonski Brod, Croatia, 1996; pp. 75-82.*
4. Janjusevic, Z.; Mihailovic, M.; Patarić, A. *The investigation of applicability of the Hollomon-Jaffe equation on tempering the HSLA steel. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly* 2009, 15, 3, pp. 131-136.
5. Kaiser, D.; Graaff, B.; Dietrich, S.; Schulze, V. *Investigation of the tempering process of martensitic AISI 4140 steel at high heating rates. IFHTSE Congress 2017.*
6. Saerstahl – 42CrMo4 – 42CrMoS4 *Material specification sheet Steel 42CrMo4*
<https://metinvestholding.com/en/products/steel-grades/42crmo4>
7. *Naša ponuda čelik za poboljšavanje 42CrMo4+QT & 42CrMoS4 / 1.7225 & 1.7227*
8. <https://www.thesteel.com/hr/ponuda/celik-kvalitetni-celik/celik-za-poboljsavanje/42crmo4-1-7225-1-7227>
9. Novosel, M.; Krumes, D. *Posebni čelici; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu: Slavonski Brod, Croatia, 1998; pp. 150-157.*
10. *Key to Steel, v. 4.0, 2004.*
11. *European Steel and Alloy Grades/Numbers SteelNumber*
http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=335

Oliynek M., Fidrovskya N. (*Kharkiv National Automobile and Road University
Kharkiv, Ukraine*)

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF STRESSES IN THE WALL OF A ROPE DRUM

The article presents the results of an experiment carried out in the laboratory and made a comparison with the calculation data.

1. RESEARCH ANALYSIS

Theoretical studies, which are aimed at obtaining calculation formulas, as a rule, are verified by experiments. Which are carried out on laboratory samples or operating machines.

2. THE PURPOSE OF THE WORK

In order to test the methodology for calculating the stress state of the rope drum shell (1), we developed an experimental stand (Fig. 1,2,3).

3. MAIN MATERIAL

On a smooth drum, which has the following dimensions: diameter 150 mm, length 200 mm, wall thickness 1.8 mm, a steel rope with a diameter of 7 mm was wound, to which a load was suspended. Sensors are glued on the inner side of the drum wall, which measure the deformation using the ZET 210 device.

The ZET 210 module is designed to measure the parameters of signals in a wide frequency range (with a sampling rate of up to 400 kHz) that come from different converters. Digital (DV-15 connector) and analog outputs (DV-25 connector) can be used in control circuits of various actuators. The ZET 210 kit includes the basic ZET Lab software.

The recording scenario (channels, sampling frequency, recording mode, etc.) is set from the computer by the software recorder. With the help of a manual drive, the rope is wound onto the drum. The lifting height was 2.5 m, the load was 1962N.

In general, the experimental setup has the form

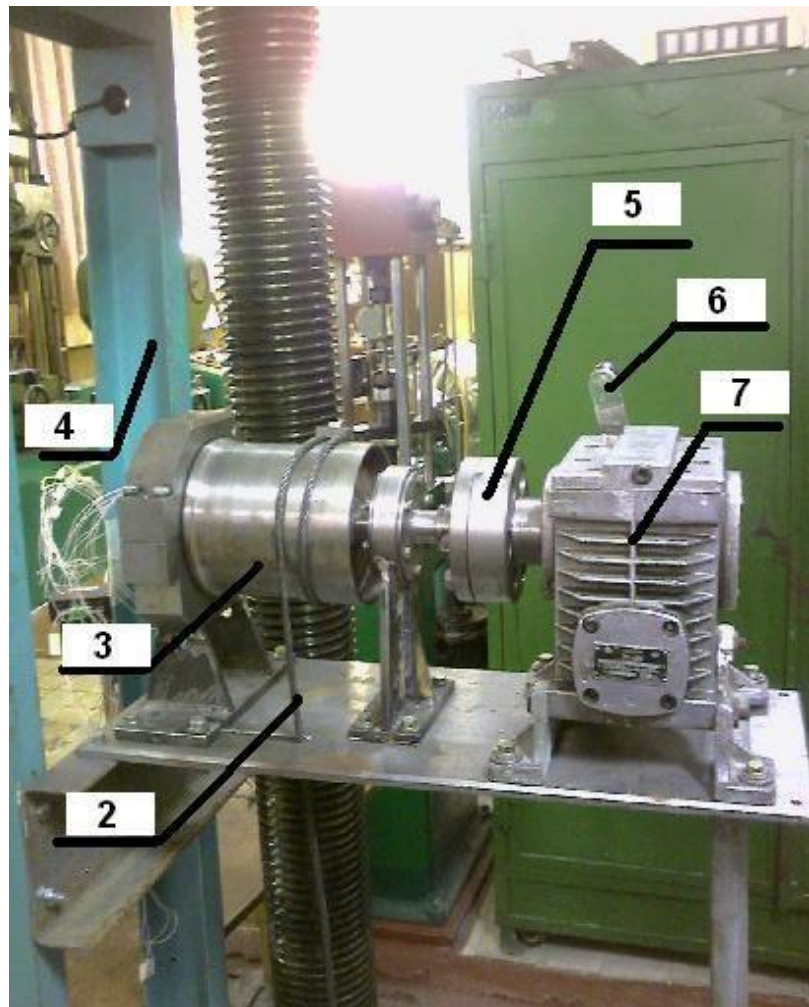


Fig. 1 General view of the experimental setup

- 1 - Measuring strain gauges
- 2 - steel rope with a diameter of 7 mm
- 3 - rope drum
- 4 - base frame
- 5 - clutch
- 6 - drive handle
- 7 - reducer
- 8 - ZET 210
- 9 - ZETLab basic software



Fig. 2 Rope drum (location of measuring strain gauges)



Fig.3 General view of the installation with voltage recorder ZET 210

Scheme of connection of strain gauges

Signals 1 and 3 Two active strain gauges are connected (orthogonal arrangement). Thermally compensated. The temperature error of the cable is excluded.

Output voltages are determined by the formula

$$e_0 = ((1+\nu)E_v/4) \cdot K_s \cdot \varepsilon_0 \quad (1)$$

Where ν - Poisson's ratio

K_s - K-factor

ε_0 — deformation

E - bridge power

R_g - strain gauge resistance

R - constant resistance

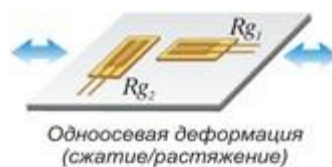


Fig.4. Signal 5

Two active strain gauges are connected. Opposite scheme. Without thermal compensation. Bending deformation is eliminated by connecting in opposite directions.

$$e_0 = (E_v / 2) \cdot K_s \cdot \varepsilon_0 \quad (2)$$



Fig.5 Design stresses



Fig.6 Design stresses

From formula (1) and the recorded results for signals 1 and 3, we find the absolute and relative deformation, which will allow us to determine the stresses that arise in the cylindrical surface of the drum.

Let's break the indications of signals 1 and 3 into parts, where we will display the reporting point, the beginning of the ascent, the ascent, the stabilization of the load, the beginning of the descent, the end of the descent, normalization.

We determine the stresses in the shell of the drum according to the known calculation formula (1)

$$\sigma = \frac{T}{\delta t} = \frac{1962}{1,8 \cdot 7} = 155,7 \text{ Мпа}$$

We determine the stresses in the drum wall according to the method developed by us [2].

$$\kappa = \frac{12 \cdot 10^4 \cdot 7}{2,1 \cdot 10^5 \sqrt{72,5 \cdot 1,8}} = 0,35$$

$$f(x) = 0,9998(-0,002098x1,2042 - 0,00252x0,8304) + 0,0267 = 0,02218 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\phi} = \frac{0,02218}{72,5} \cdot 2,1 \cdot 10^4 = 64,25 \text{ МПа}$$

CONCLUSIONS. As you can see, the actual stresses in the shell of the drum are much lower (by almost 40%) than those calculated using the available methods.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Григоров О.В. Вантажопідйомні машини /О.В.Григоров, Н.О.Петренко // – Харків. НТУ «ХПІ», 2006. – 304с.
2. .

Бабаков Д.О., Олійник С.Ю. (Донбаська державна машинобудівна академія, м.м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ПРОБЛЕМИ ВИСОКОШВИДКІСНОГО МЕТОДУ ОБРОБКИ

Розглянуто впровадження та використання передових сучасних технологій, а саме високошвидкісної обробки різанням. Проаналізовано основні переваги та недоліки його використання.

The introduction and use of advanced modern technologies, namely high-speed cutting, is considered. The main advantages and disadvantages of its use are analyzed.

В даний час надзвичайно актуальним визначається питання практичного вивчення високошвидкісної обробки (ВШО) різанням. Ще на початку минулого століття у 1930-х роках під час проведення експериментів з найпростішими дисковими пилами було звернено увагу на швидкість різання, а саме, зміна властивостей і характеристик оброблюваного металу за її збільшення. Тоді вперше було згадано, що температура при обробці різанням досягає максимуму та при подальшому підвищенні швидкості різання назад знижується менше значення, критичного для оброблюваного матеріалу [1].

Теорія отримала практичне застосування для виготовлення прес-форм, що надає особливі переваги для її промислового застосування. Поняття ВШО трактується багатогранно, зокрема виділяють таке визначення – метод обробки, що базується на дуже швидких, але при цьому легких режимах різання з низьким тиском, власне з назви методу, можна здогадатися, що в широкому значенні йдеться про загальне збільшення швидкості видалення оброблюваного матеріалу[2-3].

Основною перевагою високошвидкісної обробки можна віднести підвищення продуктивності. Також до переваг використання даного способу різання можна віднести зниження енергоспоживання, підвищення завантаження та використання потужності верстатів та обладнання, скорочення витрат виробництва, забезпечення безперервного технічного та технологічних процесів.

Сучасні верстати для мають швидкість обертання шпинделя понад 30000 об/хв при стабілізації температури. Ці верстати можуть виконувати

малі переміщення (0,02 мм) і мають високу жорсткість та температурну компенсацію. Максимальна швидкість різання при ВШО не завжди забезпечує максимальну продуктивність, та пов'язано це не зі зменшенням стійкості фрези – неможливо виключити хвилястість і вібрацію, що викликає швидший наступний знос. З метою виключення даного фактора для методу ВШО необхідно використовувати інструмент, виготовлений з матеріалів, що відрізняються високою твердістю, теплостійкістю, зносостійкістю та міцністю [4-5]. До таких можна віднести тверді та надтверді матеріали.

Однак, крім переваг використання ВШО, необхідно виділити і суттєві негативні нюанси здійснення даної технології механічної обробки:

- відсутність можливості обробки матеріалів у загартованому стані;
- виділення більшого тепла при високих швидкостях, в силу чого метал стає дуже твердим, що може призвести до миттєвої поломки, якщо інструмент не охолодити;
- збільшення швидкості вібрації, що може позначитися на скорочення терміну корисного використання оброблюваного інструменту;
- «вискакування» інструменту із використовуваної для ВШО оснащення через великі швидкості;
- висока продуктивність обробки – носить у цьому випадку амбівалентний характер, що для сучасного виробництва є перевагою, а для старих, зношених верстатів означає не готовність до переходу на інноваційні технологічні методи;
- використання ВШО вимагає додаткових витрат на модернізацію виробничих майданчиків.

Іншими факторами, що обмежують використання такого методу обробки є використання швидкорізальної сталі, вони не мають такої твердості як тверді сплави або надтверді матеріали (такі як кераміка або алмази) через це вони можуть просковзнути [6].

ВИСНОВКИ

Таким чином, такий метод механічної обробки, як високошвидкісна обробка різанням, зарекомендував себе на діючих виробництвах, як сучасну технологічну робочу схему, яка, проте потребує суттєвих доробок. Внаслідок

чого, слід очікувати подальшого дослідження методу на основі практичного застосування з метою напрацювання рекомендацій щодо покращення використання цього методу, а також скорочення витрат на його здійснення.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. What is High Speed Machining? [Електронний ресурс]. URL: <https://www.peakedm.com/WhatIsHighSpeedMachining.html>.
2. Внуков Ю.М., Папашев К.О. Оцінка ефективності використання високошвидкісної обробки під час виготовлення формуютьовуючих поверхонь прес-форм для виробів //Вісник Житомирського державного технологічного університету, 2003.-2.- №2 (26) .-С. 37.
3. Білявський М.Л. Технологічне забезпечення якості обробки сталевих деталей комбінованим торцевим фрезеруванням: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / Нац. ун-т "Львів. політехніка". — Л., 2010.
4. Виговський Г.М., Громовий О.А. Дослідження особливостей зношування різального інструменту при високошвидкісній обробці//Процеси механічної обробки в машинобудуванні, 2009.-Випуск 7 .-С.38
5. Виговський Г.М., Громовий О.А. Особливості процесів стружкоутворення при високошвидкісній обробці//Вісник Житомирського державного технологічного університету, 2009.-№3 (50)
6. Мельничук П.П. Високошвидкісне торцеве фрезерування / П.П. Мельничук, Г.М. Виговський, О.А. Громовий, М.Л. Білявський // Матеріали ІІ Україно – Польської конференції, м. Краків, – 2005.

Бабаш А.В. (Донбаська державна машинобудівна академія, м.м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

РОБОТА З ДОКУМЕНТ ОРІЄНТОВАНОЮ БАЗОЮ ДАНИХ FIREBASE ЗА ДОПОМОГОЮ REST API

Наведено REST API команди документації Firebase. Показано приклад використання команд запису, отримання та видалення даних з бази даних Firebase. Описана процедура створення проекту Firebase та особливості налаштування документ орієнтованої бази даних Firebase Realtime Database. Наведено приклад використання REST API команд для роботи з даними документ орієнтованої бази даних Firebase у середовищі Embarcadero Delphi Community Edition. Показано приклад розробленого Embarcadero Delphi додатку для запису, отримання, видалення та зберігання даних у базі даних Firebase Realtime Database.

The REST API commands with the Firebase documentation are given. An example of using commands to write, retrieve, and delete data from a Firebase database is given here. The procedure for creating a Firebase project and the features of setting up a document-oriented Firebase Realtime Database are presented. An example of using REST API commands to work with data from a document-oriented Firebase database in the Embarcadero Delphi Community Edition environment is given. An example of Embarcadero Delphi application for posting, receiving, deleting and storing data in the Firebase Realtime Database is given.

ВСТУП

При розробці різного типу додатків (Windows, мобільних, веб додатків) виникає необхідність зберігання певних даних у віддаленому сховищі або базі даних. Документ орієнтовані бази даних Firebase Realtime Database [1] дозволяють легко вирішити питання зберігання та отримання певних даних у форматі JSON [2].

Для роботи з базою даних Firebase Realtime Database можуть бути використані певні бібліотеки. Але, також можна використовувати REST API команди Firebase API [3] напряму, без використання будь-яких додаткових сторонніх бібліотек. Для запису, отримання та видалення даних використовуються запити PUT, GET, DELETE відповідно.

Технологія REST [4] дозволяє використовувати однакові REST API команди для будь-яких додатків (Windows, мобільних, веб додатків тощо).

Мета роботи – аналіз, дослідження та використання документ орієнтованої бази даних за допомогою REST API команд.

Задачі дослідження:

- вивчення документації та ознайомлення з REST API Firebase Realtime Database;
- створення проекту Firebase для здійснення необхідних налаштувань Firebase Realtime Database;

- розробка крос платформного додатку для здійснення запису, читання та видалення даних з бази даних Firebase Realtime Database у середовищі Embarcadero Delphi Community Edition [5].

Об'єкт дослідження – документ орієнтована база даних Firebase Realtime Database.

Предмет дослідження – аналіз, дослідження та використання REST API команд у крос платформному додатку для роботи з базою даних.

ОПИС REST API КОМАНД ДЛЯ РОБОТИ З ДОКУМЕНТ ОРІЄНТОВАНОЮ БАЗОЮ ДАНИХ FIREBASE REALTIME DATABASE

REST API команди дозволяють швидко та ефективно працювати з даними у базі даних Firebase Realtime Database. Для запису певних даних може бути використаний PUT запит (рис. 1).

PUT — запись данных

Вы можете записать данные с запросом **PUT** .

```
curl -X PUT -d '{ "first": "Jack", "last": "Sparrow" }' \
'https://[PROJECT_ID].firebaseio.com/users/jack/name.json'
```

Успешный запрос обозначается кодом состояния HTTP **200 OK** . Ответ содержит данные, указанные в запросе **PUT** .

```
{ "first": "Jack", "last": "Sparrow" }
```

Рисунок 1 – PUT запит для запису даних

Дані, які необхідно передати, повинні бути представлені у вигляді JSON об'єкту (рис. 2).

```
{ "first": "Jack", "last": "Sparrow" }
```

Рисунок 2 – Передані дані у форматі JSON об'єкту

Також необхідно вказати шлях до бази даних Firebase Realtime Database (рис. 3).

```
curl -X PUT -d '{ "first": "Jack", "last": "Sparrow" }' \
'https://[PROJECT_ID].firebaseio.com/users/jack/name.json'
```

Рисунок 3 – Шлях до бази даних Firebase Realtime Database

СТВОРЕННЯ ПРОЕКТУ FIREBASE

Для створення нового проекту необхідно перейти до консолі Firebase (рис. 4).

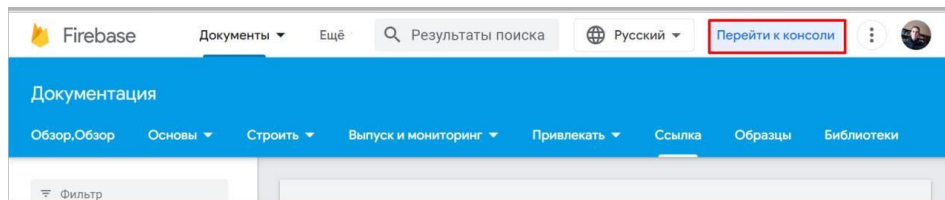


Рисунок 4 – Перехід до консолі

Далі необхідно додати проект (рис.5).

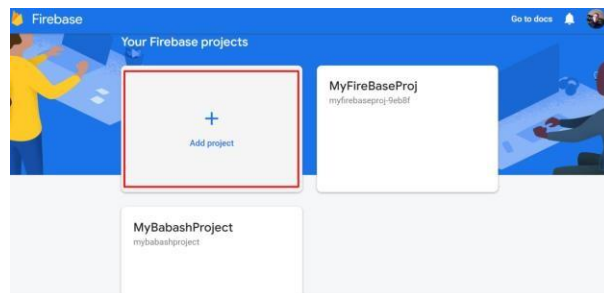


Рисунок 5 – Додавання нового проекту

Необхідно вписати назву проекту та натиснути “Continue” (рис. 6).

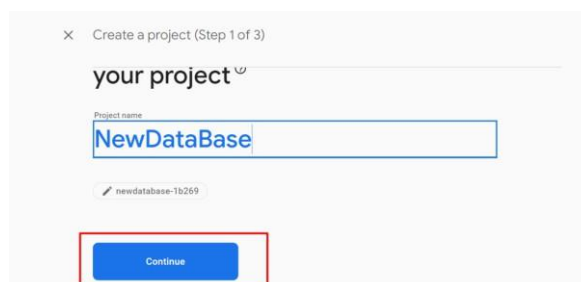


Рисунок 6 – Назва проекту

Далі можна залишити за замовчуванням та натиснути “Continue” (рис. 7).

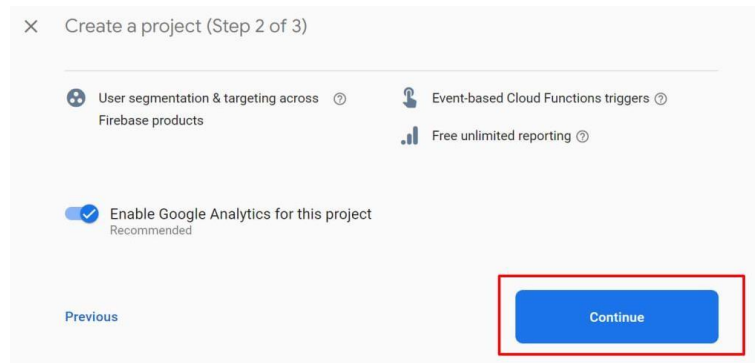


Рисунок 7 – Створення проекту (етап 2)

Необхідно вибрати “Default Account for Firebase” та натиснути “Create Project” (рис. 8).

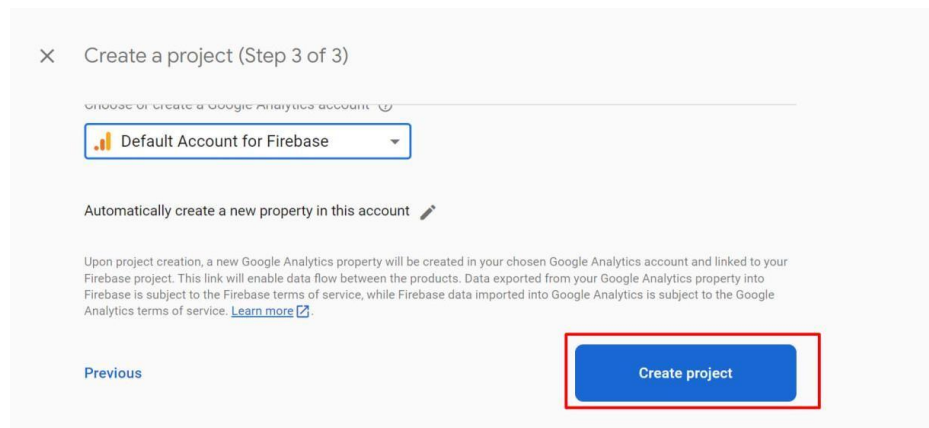


Рисунок 8 – Створення проекту (етап 3)

Далі відбувається створення проекту (рис. 9).

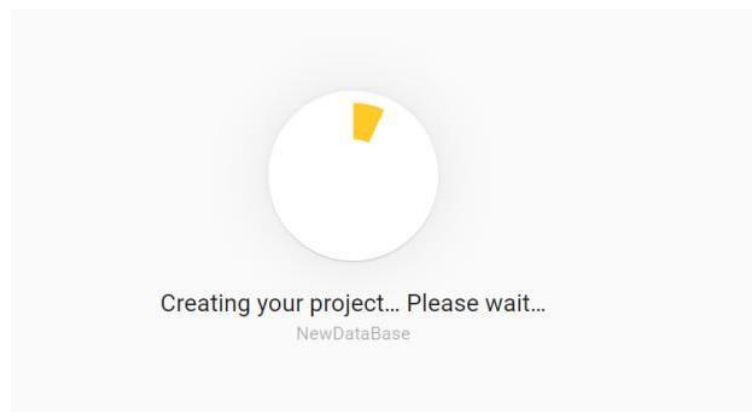


Рисунок 9 – Створення проекту (завершальний етап)

Для завершення створення необхідно натиснути “Continue” (рис. 10).

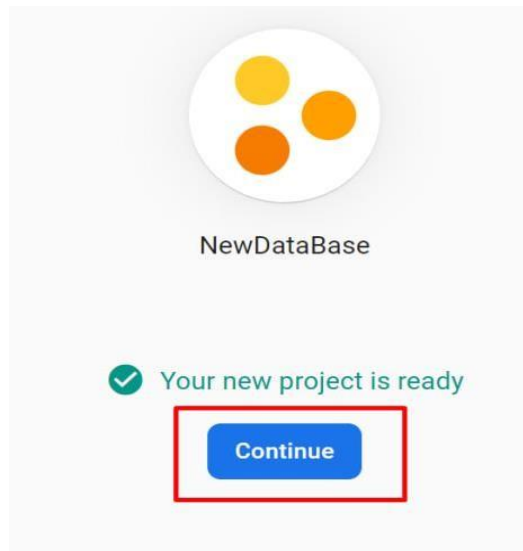


Рисунок 10 – Створення проекту (готовність проекту)

Після створення проекту необхідно перейти до Realtime Database (рис. 11).

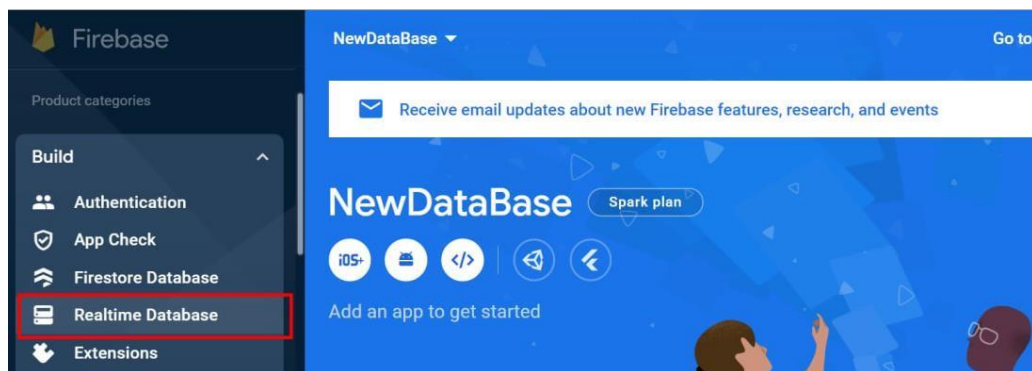


Рисунок 11– Перехід до створення та налаштування Firebase Realtime Database

Далі необхідно натиснути “Create Database” (рис. 12).

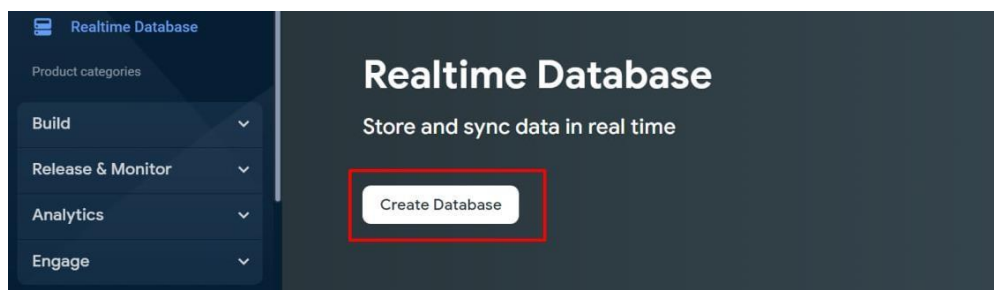


Рисунок 12 – Створення Firebase Realtime Database

13). Необхідно обрати розміщення бази даних та натиснути “Next” (рис.

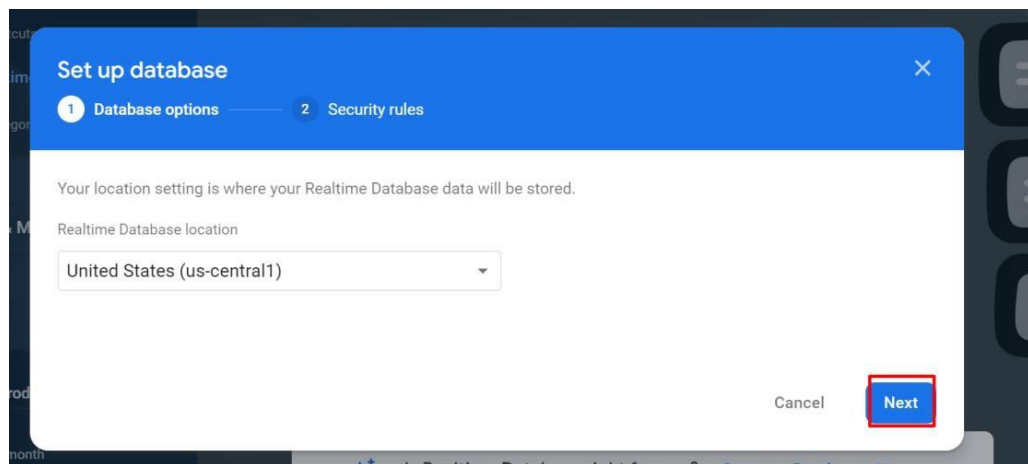


Рисунок 13 – Розміщення Firebase Realtime Database

Далі обирається режим роботи бази даних. Тестовий режим буде працювати 30 днів. Для реальних проєктів краще обрати закритий режим, але для навчального проєкту та ознайомлення обирається тестовий режим (рис. 14).

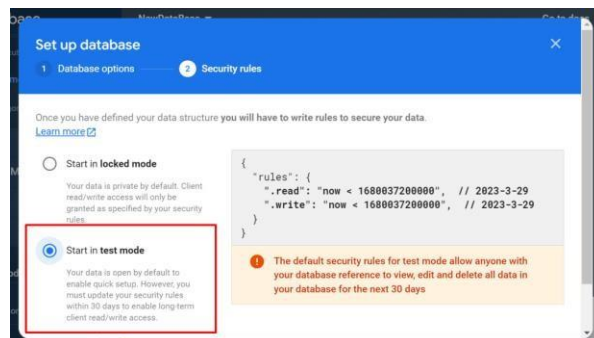


Рисунок 14 – Режим роботи Firebase Realtime Database

Для роботи з базою даних необхідно скопіювати шлях до бази даних (рис. 15).

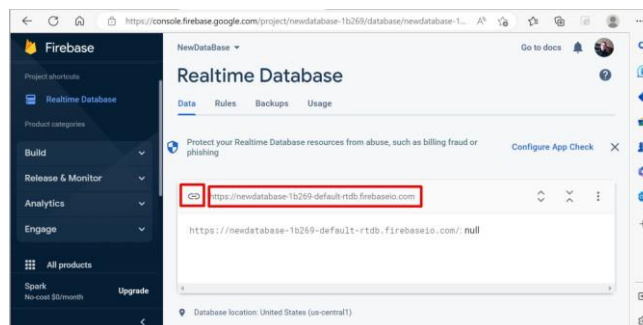


Рисунок 15 – Шлях до створеної бази даних Firebase Realtime Database

ПРИКЛАД РОБОТИ З БАЗОЮ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ EMBARCADERO DELPHI FMX (КРОС ПЛАТФОРМНОГО) ДОДАТКУ:

Розроблений додаток у середовищі Embarcadero Delphi Community Edition має наступний вигляд (рис. 16).

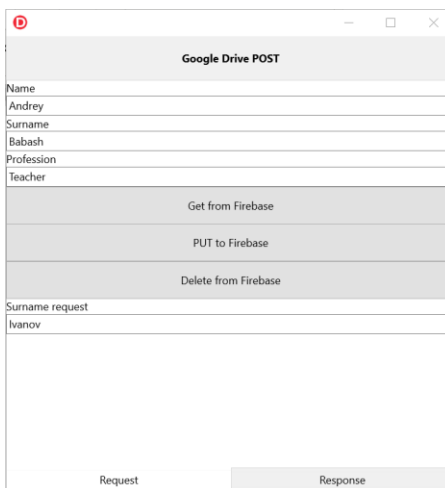


Рисунок 16 – Embarcadero Delphi FMX додаток для роботи з базою даних

Додаток дозволяє передавати, отримувати та передавати дані до бази даних. Для здійснення PUT, GET, DELETE запитів використовувалися компоненти TNetHttpRequest та TNetHttpClient з палітри компонентів Embarcadero Delphi.

Приклад запису даних у базу даних за допомогою PUT запиту з використанням Embarcadero Delphi додатку показаний на рис. 17.

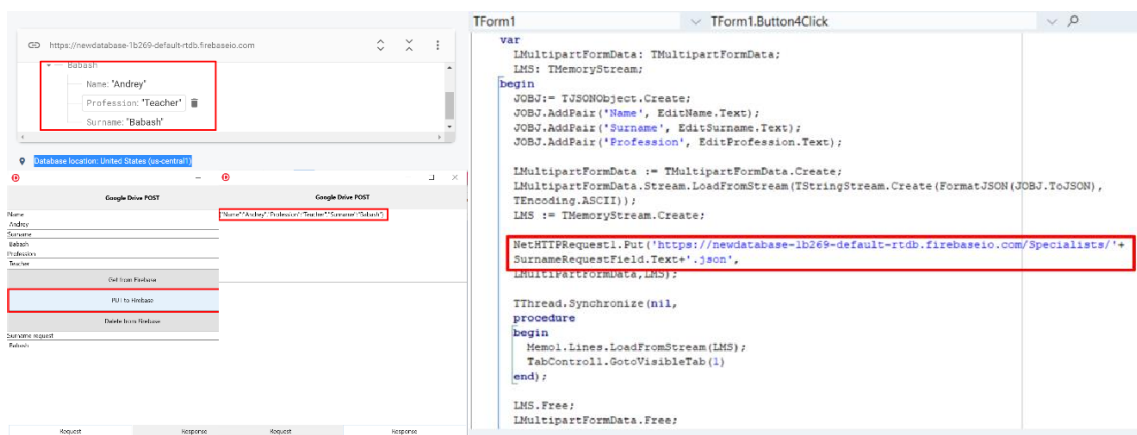


Рисунок 17 – Запис даних до бази даних за допомогою розробленого додатку

ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи було продемонстровано можливості роботи з документ орієнтованими базами даних Firebase Realtime Database за допомогою REST API. Таким чином, при використанні команд REST API немає необхідності у встановленні та додаванні сторонніх бібліотек до проекту. База даних була створена у тестовому режимі, який дозволяє працювати з Firebase Realtime Database протягом 30 днів.

При розробці реальних проектів бажано зробити базу даних закритою. Отримати доступ до такої бази даних можна за допомогою секретного токена.

Запити для отримання та видалення (GET, DELETE) даних виконуються аналогічно запиту PUT (запис даних у базу даних). Але у методи GET та DELETE немає необхідності передавати дані у вигляді об'єкта JSON. Крос платформний додаток, розроблений у середовищі Embarcadero Delphi Community Edition може працювати на декількох платформах (Windows, Android та ін.).

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *FIREBASE [Electronic resource]* – Availble at: [Firebase \(google.com\)](https://firebase.google.com/)
2. *JSON — Вукунедия (wikipedia.org) [Electronic resource]* – Availble at: [JSON — Вукунедия \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/JSON)
3. *REST API Firebase [Electronic resource]* – Availble at: [REST API базы данных Firebase \(google.com\)](https://firebase.google.com/docs/rest/)
4. *REST [Electronic resource]* – Availble at: [REST — Вукунедия \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/REST)
5. *Embarcadero Delphi Community Edition [Electronic resource]* – Availble at: <https://www.embarcadero.com/products/delphi/starter>

Букатка Ю.С., Копей В.Б. (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна)

ОСОБЛИВОСТІ ОБЧИСЛЕННЯ ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ З НЕЛІНІЙНИМИ МОДЕЛЯМИ МАТЕРІАЛУ

На прикладі осесиметричної моделі різьбового з'єднання насосних штанг показано, що для обчислення циклічної довговічності різьбових з'єднань з використанням деформаційних критеріїв та нелінійною моделлю матеріалу необхідно враховувати факт пластичного деформування різьби на перших кроках симуляції, що призводить до вирівнювання навантажень в різьбі на наступних кроках.

Using the example of an axisymmetric model of a threaded connection of pump rods, it is shown that in order to calculate the cyclic durability of threaded connections using deformation criteria and a nonlinear material model, it is necessary to take into account the fact of plastic deformation of the thread in the first steps of the simulation, which leads to the equalization of loads in the thread in the following steps .

Багато різьбових з'єднань працюють в умовах значного циклічного навантаження. Це може призводити до росту втомних тріщин і втомного руйнування. Обчислення циклічної довговічності ускладнене багатоосьовим напружено-деформованим станом різьбових з'єднань, що вимагає застосування чисельних методів для обчислення компонентів тензора напружень і деформацій [1, 2]. Найчастіше застосовують метод скінченних елементів та програми FEA, зокрема Abaqus/CAE [2]. Такі програмні продукти, як fe-safe [3] використовують ці компоненти для обчислення циклічної довговічності з використанням передових методів.

Найпростіші класичні методи обчислення циклічної довговічності використовують залежності напружень σ від кількості циклів N до руйнування (σ - N). Проте вони не враховують ефект локальної пластичності і не можуть застосовуватись для малоциклової втоми ($N < 50\,000$) [3]. Як правило за результатами випробувань гладких зразків є відомою гранична амплітуда, яка не призводить до втомного руйнування протягом $10^6 \dots 10^7$ циклів. Її називають границею витривалості для симетричного циклу σ_{-1} з коефіцієнтом асиметрії циклу $R = -1$. Якщо потрібно обчислити граничну амплітуду напружень σ_a для несиметричного циклу, то потрібно знати залежність σ_a від середнього напруження σ_m для заданого матеріалу. Для пластичних матеріалів та умови $\sigma_m < (0,5 \dots 0,6)\sigma_v$ задовільною є лінійна залежність Серенсена-Кінасошвілі [4], яка в зарубіжній літературі відома як залежність Морроу:

$$\sigma_a = \sigma_{-1} - \psi_{\sigma} \sigma_m, \quad (1)$$

де ψ_σ – коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу. Для сталей середньої міцності $\psi_\sigma \approx 0,2$.

Щоб розрахувати амплітуду напружень еквівалентного по пошкоджуваності симетричного циклу навантажування $\sigma_{a\text{ екв}}$ в рівняння (1) підставляють умову міцності $\sigma_{a\text{ екв}} = \sigma_{-1}$:

$$\sigma_{a\text{ екв}} = \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m.$$

Тоді за значенням $\sigma_{a\text{ екв}}$ з використанням рівняння втоми (залежності σ - N) можна обчислити значення N . Для переходу від багатоосьового напруженого стану до одноосьового використовують еквівалентне за пошкоджуваністю одноосьове напруження. Проте використання таких критеріїв, як критерій Сайнса [1], задовільне тільки для пружних моделей різьбових з'єднань.

Більш точні та універсальні деформаційні критерії втомного руйнування під час багатоосьового навантажування базуються, в основному, на концепції критичної площини [5]. Зокрема критерій Брауна-Міллера [6] дає найбільш реалістичні значення довговічності для пластичних металів, підходить для багатоосьового, пропорційного і непропорційного навантажування [5] і часто застосовується в таких програмних продуктах як fe-safe [3]. Рівняння Брауна-Міллера з корекцією середнього напруження за Morrow [3]:

$$\frac{\Delta\gamma_{\max}}{2} + \frac{\Delta\sigma}{2} = 1,65 \frac{(\sigma'_f - \sigma_{nm})}{E} (2N_f)^b + 1,75 \varepsilon'_f (2N_f)^c, \quad (2)$$

де $\Delta\gamma_{\max}$ – амплітуда максимальної деформації зсуву в критичній площині,

$\frac{\Delta\sigma_n^2}{2}$ – амплітуда нормальної деформації до площини з $\gamma_{\max}$,

σ_{nm} – середнє нормальне напруження до площини з $\gamma_{\max}$,

$E, \sigma'_f, \varepsilon'_f, b, c$ – константи матеріалу [5],

N_f – циклічна довговічність (кількість повторів повних циклів втомного навантажування до моменту утворення втомної тріщини [3]).

Є особливості моделювання циклічної довговічності різьбових з'єднань з врахуванням пластичності матеріалу, які не відображено в літературі. Зокрема пластичні деформації можуть призводити до значного перерозподілу навантажень вздовж різьби. Метою роботи є дослідження особливостей обчислення циклічної довговічності різьбових з'єднань за деформаційним критерієм з врахуванням нелінійних моделей матеріалу.

Розглянемо задачу обчислення циклічної довговічності муфтового різьбового з'єднання насосних штанг діаметром 19 мм за ГОСТ 13877 (еквівалент 3/4 дюйма API Spec 11B). Це осесиметрична контактна задача з формулюванням ковзання «small sliding», методом дискретизації «surface to

surface», формулюванням тертя «penalty» (з коефіцієнтом тертя 0,1) та залежністю тиск-перекриття типу «hard contact». Матеріалом деталей є сталь 40 (аналог SAE-1040) з характеристиками: $E=210$ ГПа, $\nu = 0,28$, $\sigma_T = 314$ МПа, $\sigma_B = 559$ МПа, $\sigma_{-1} = 202$ МПа. Моделювали пластичність матеріалу з ізотропним зміцненням. Залежність «пластична деформація – напруження» (ε - σ) була апроксимована степеневою залежністю. Для моделювання згинчування використовували осьове видовження бурта муфти на величину $\Delta=0,1$ мм (рис. 1). Обрані для симуляції мінімальне і максимальне навантаження L циклу (рис. 1) утворюють осьові напруження σ_{min} та σ_{max} в тілі штанг (табл. 1). В таблиці значення σ_{max} обчислене з використанням залежності (1).

Значення циклічної довговічності обчислювали за допомогою залежності (2) з використанням програми fe-safe 6.5. Особливістю моделювання циклічної довговічності такого з'єднання є необхідність створення чотирьох кроків навантажування (Load Step). На кроці 1 діє тільки навантаження від згинчування з'єднання на величину Δ . Це навантаження залишається на інших кроках. Якщо мінімальне навантаження L циклу менше нуля, то воно повинно бути і на кроці 1. На кроці 2 додатково на з'єднання діє максимальне навантаження розтягу L , що утворює в тілі штанг напруження σ_{max} . На кроці 3 діє мінімальне навантаження розтягу L , що утворює в тілі штанг напруження σ_{min} . На кроці 4 діють такі ж навантаження, як і на кроці 2.

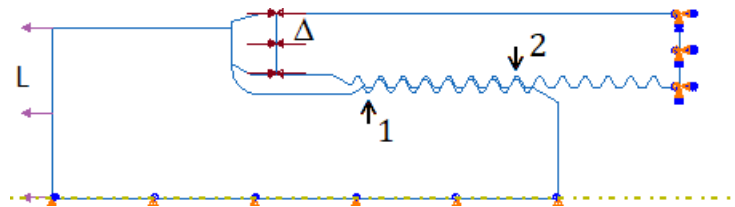


Рисунок 1 – Осесиметрична модель різьбового з'єднання насосних штанг

Таблиця 1 – Осьові напруження (МПа) в тілі штанг під час симуляції

σ_{min}	-30	0	30	60	90	120	150	180	210
σ_{max}	316	336	356	376	396	416	436	456	476
$\sigma_m = (\sigma_{min} + \sigma_{max})/2$	143	168	193	218	243	268	293	318	343
$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$	173	168	163	158	153	148	143	138	133
$R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$	-0,09	0	0,08	0,16	0,23	0,29	0,34	0,39	0,44

Необхідність створення кроків 3 і 4 обумовлена пластичною деформацією деяких зон з'єднання, яка виникає на кроках 1 і 2. Як правило, найбільші пластичні деформації виникають в зоні перших витків ніпеля. Це спричиняє вирівнювання на наступних кроках навантажень, які діють на різні витки різьби. Саме тому напруження і деформації на кроках 3 і 4 будуть не

такими, як на кроках 1 і 2. Тому значення циклічної довговічності N , розраховане за кроками 3-4, буде дещо вищим значення N , яке розраховане за кроками 1-2. Таке значення і слід використовувати для більш точної (а не заниженої) оцінки втомної міцності різьбового з'єднання. На рис. 2 показані значення логарифму циклічної довговічності $\lg N$ в найбільш небезпечних зонах 1 і 2 з'єднання (рис. 1). Помітно, що значення $\lg N$, обчислені за кроками 1-2, є значно меншими. Результати також показують, що це різьбове з'єднання в зоні 2 має меншу циклічну довговічність, ніж циліндричне тіло штанги.

Помітно (рис. 3), що значення циклічної довговічності N в зоні 2 цього різьбового з'єднання ($\lg N=5,49...5,85$) менше значення N тіла штанги ($\lg N=7$) в 14...33 раз. Якщо ж розрахувати це значення за кроками 1-2, то воно занадто «песимістичне» – $\lg N=3,46...3,88$ в зоні 2 та $\lg N=5,1...5,59$ в зоні 1, що менше значення N тіла штанги в 1318...3467 раз в зоні 2 та в 26...79 раз в зоні 1.

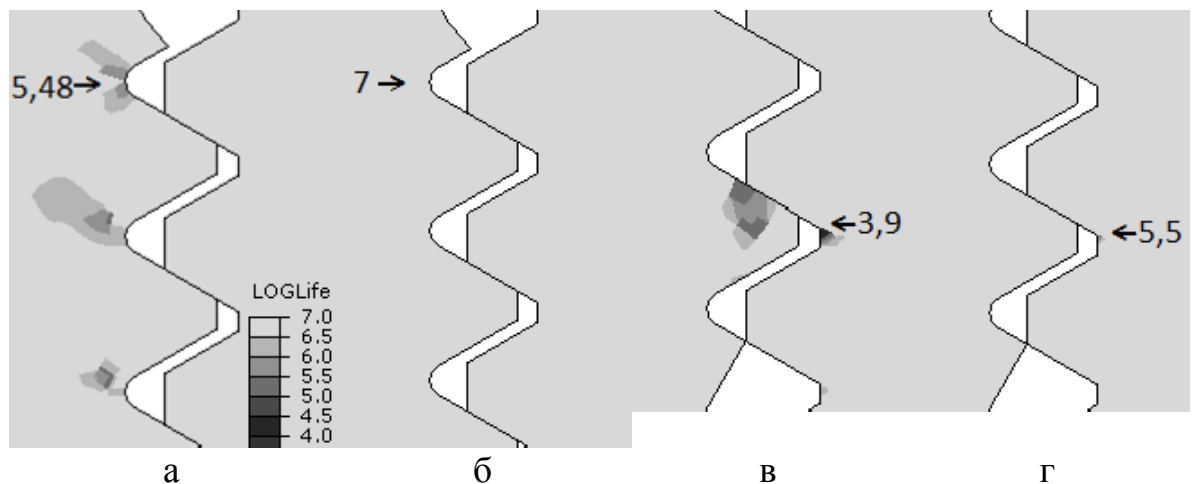


Рисунок 2 – Логарифм циклічної довговічності $\lg N$ в зонах 1 (а, б) та 2 (в, г) з'єднання, розрахований за кроками 1-2 (а, в) та кроками 3-4 (б, г)

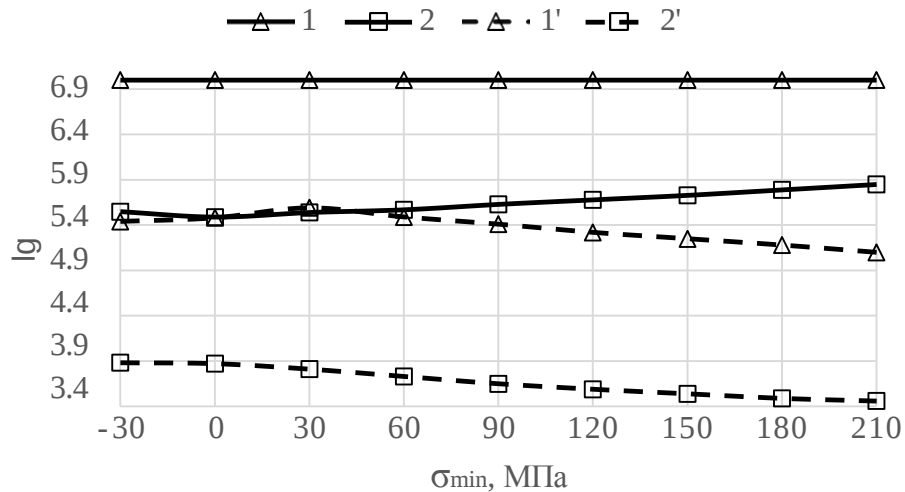


Рисунок 3 – Залежність $\lg N$ в зоні 1 ніпеля (1, 1') та в зоні 2 муфти (2, 2') від σ_{min} , якщо σ_a розраховане за залежністю (1): 1, 2 – результати отримані за кроками 3 і 4, 1', 2' – результати отримані за кроками 1 і 2

На рисунку 4 переміщення збільшені у 20 раз для кращої візуалізації. Зі збільшенням σ_{min} зростає σ_{max} (табл. 1), тому зростають пластичні деформації на кроці 2 (рис. 4). Це призводить до більшого вирівнювання навантажень вздовж різьби. Тому значення $\lg N$, обчислені за кроками 3-4, зростають (рис. 3). Це попри те, що відповідно до залежності (1) циклічна довговічність тіла штанги залишається постійною. Якщо ж значення $\lg N$ обчислювати за кроками 1-2, то зі збільшенням σ_{max} вони зменшуються.

Зміна зовнішнього навантаження може призводити до зміни значення контактного тиску P_c на упорному бурті з'єднання (рис. 5). Його малі або нульові значення негативно впливають на працездатність з'єднання. Екстраполяція показує, що воно досягне нуля під час циклу з $\sigma_{min} \approx 300$ МПа та $\sigma_{max} \approx 536$ МПа.

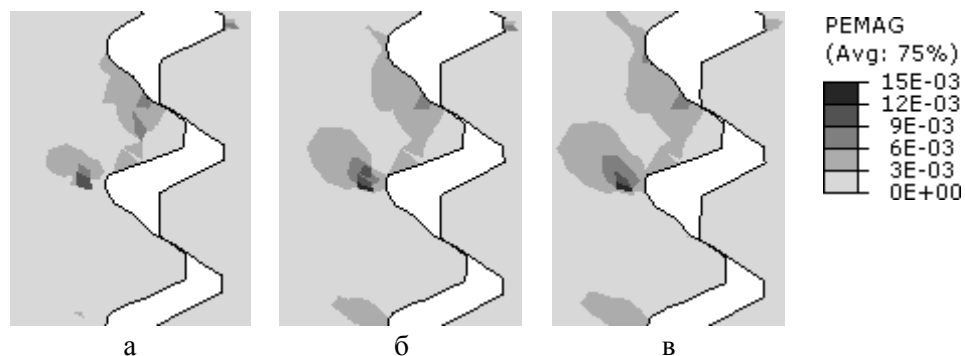


Рисунок 4 - Пластичні деформації в зоні 1 на кроці 1 (а) та 2 (б, в):
б - $\sigma_{max} = 336$ МПа, в - $\sigma_{max} = 476$ МПа

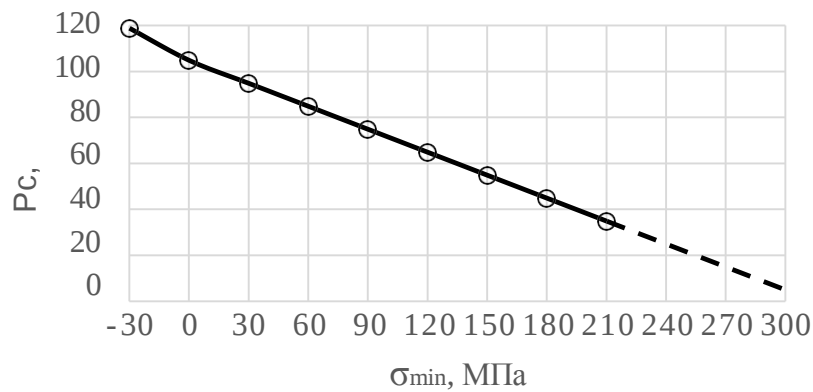


Рисунок 5 – Значення контактного тиску P_c на упорному бурті з'єднання

Висновки. Для обчислення циклічної довговічності N різьбових з'єднань з використанням деформаційних критеріїв та нелінійною моделлю матеріалу необхідно враховувати факт пластичного деформування різьби на перших кроках симуляції, що призводить до вирівнювання навантажень в різьбі на наступних кроках. Тому для точного обчислення значення N потрібно брати значення напружень і деформацій на кроках після максимального пластичного деформування з'єднання.

Зі збільшенням коефіцієнта асиметрії циклу R циклічна довговічність різьбового з'єднання насосних штанг збільшується. У зв'язку з цим додаткового дослідження потребує спосіб підвищення циклічної довговічності з'єднання шляхом його попереднього деформування високим навантаженням розтягу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Hoffman E. L. *Finite Element Analysis of Sucker Rod Couplings with Guidelines for Improving Fatigue Life: Sandia report. Sandia National Laboratories, 1997. 66 p.*
2. Коней В. Б. Обґрунтування доцільності збільшення довжини розвантажувальної канавки ніпеля насосної штанги // *Технологічний аудит та резерви виробництва (Спецвипуск. Матеріали науково-практичної конференції "Наукові підсумки 2012 р.", м. Харків, 2012 р.). 2012. № 6/2 (8). С. 7-8.*
3. *fe-safe 6 User Manual. Volume 2. Fatigue Theory Reference Manual. Safe technology limited, 2006. 264 p.*
4. Kandil F. A., Brown M. W., Miller K. J. *Biaxial low cycle fatigue fracture of 316 stainless steel at elevated temperatures // Book 270. London : The Metals Society, 1982. P. 203-210.*

Ватраль В. О., Холмовой Ю.П. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЯ ХІМІКО-АНАЛІТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ E500i. II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА

Методом потенціометричного кислотно-основного титрування у хронометричному варіанті виконано перевірку якості харчової добавки E500i. Показано, що використаний метод із застосуванням віртуального приладу «Реєстратор потенціалів» формує результати у цифровій формі, що дозволяє не тільки документувати результати аналізу, а й проводити їх подальшу математичну обробку: отримати першу похідну кривої титрування.

To check the quality of the food additive E500i, the method of potentiometric acid-base titration in the chronometric version was used. For its implementation, the virtual instrument "Recorder of potentials" was used. This made it possible to obtain and save the results in digital form, and then carry out their mathematical processing and get the first derivative of the titration curve.

Раніше було показано, що за результатами протолітичного титрування харчової добавки E500i по обох ступенях дисоціації можна зробити висновок про наявність чи відсутність у зразку сторонніх протолітів. Титриметричний метод аналізу, у тому числі й кислотно-основне титрування – надійний та поширений у лабораторній практиці метод [1]. Але його традиційне виконання має суттєві недоліки:

- відсутність можливості документалізації результатів;
- відсутність можливості подальшої математичної обробки даних.

Найбільш раціональним шляхом усунення зазначених недоліків є хронометричний варіант потенціометричного титрування з комп'ютерною реєстрацією результатів вимірювань у цифровій формі.

Потенціометричне кислотно-основне титрування з парою електродів – скляним (індикаторний) та хлорсрібним (електрод порівняння) відомо давно [1]. Однак, у традиційному виконанні – реєстрація потенціалу E як функція об'єму доданого титранту V_T :

$$E = f(V_T) \quad (1)$$

цей метод малопродуктивний і потребує значних витрат часу. Його продуктивність різко підвищується у хронометричному варіанті – реєстрація потенціалу як функція часу титрування τ :

$$E = f(\tau) \quad (2)$$

при постійній швидкості подачі титранта $v_T = \text{const}$ з посудини Маріотта.

Такий підхід також давно відомий [2]. При цьому реєстрація кривої титрування здійснюється пишучим потенціометром типу КСП-4 на паперовому носії з подальшою графічною обробкою кривої титрування. Тоді

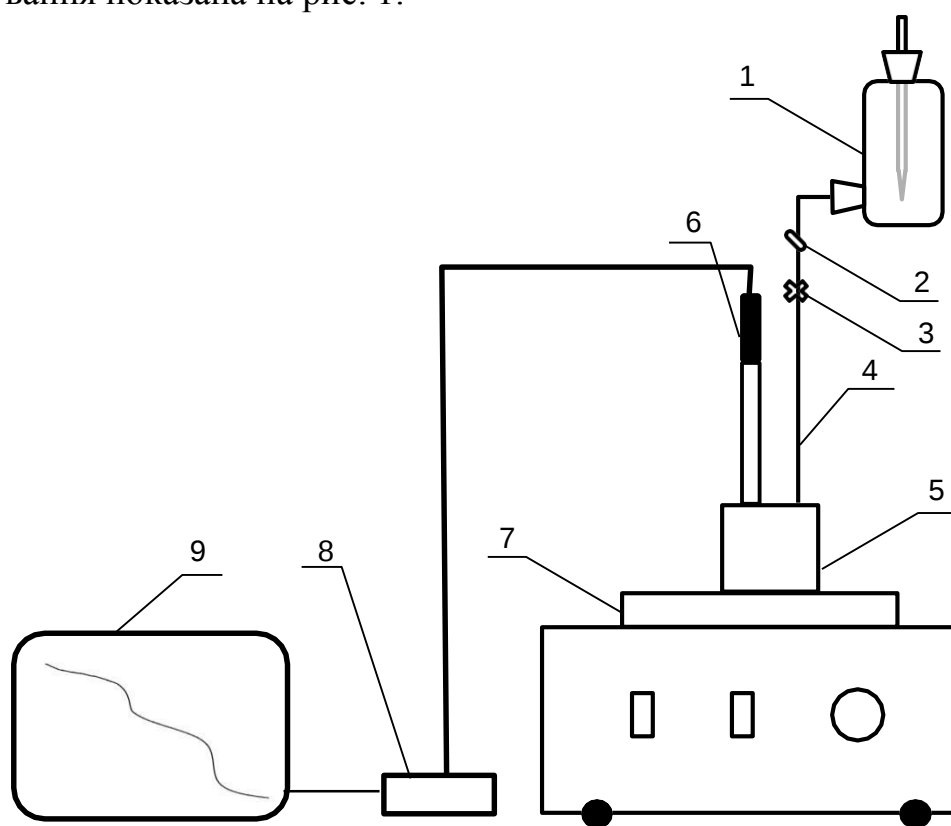
кількісною характеристикою буде величина, названа титр-міліметр $T_{\text{мм}}$ – кількість відтитрованої стандартної речовини на 1 мм діаграмної стрічки:

$$T_{\text{мм}} = \frac{c_{\text{ст}}}{\tau}. \quad (3)$$

Цей варіант вирішує задачу документалізації результатів аналізу, але не вирішує проблему подальшої їхньої математичної обробки.

Щоб вирішити основне завдання цієї роботи – визначити якість харчової добавки E500i, необхідно провести реєстрацію кривої потенціометричного титрування, а з неї отримати першу її похідну. Це завдання вирішує комп'ютерна реєстрація потенціометричних даних.

Для цього було використано створений раніше віртуальний прилад «Реєстратор потенціалів» [3]. Схема установки для хронометричного титрування показана на рис. 1:



- 1 – посудина Маріотта; 2 – регулюючий кран; 3 – запірний кран;
 4 – капіляр; 5 – склянка для титрування; 6 – комбінований скляний електрод;
 7 – магнітна мішалка; 8 – аналого-цифровий перетворювач;
 9 – комп'ютер

Рисунок 1 – Схема установки для потенціометричного титрування у хронометричному варіанті

У такому варіанті хронометричного титрування крива титрування реєструється як функція часу (2), а кількісною характеристикою буде

величина титр-секунда T_c – кількість стандартної речовини, яка відтитрована за 1 секунду. Причому кількість стандартної речовини можна виражати як у масових одиницях $m_{ст}$ (маса стандартної речовини, взятої для титрування):

$$T_{c,m} = \frac{m_{ст}}{\tau} \left[\frac{г}{с} \right], \quad (4)$$

так і в молярних $n_{Мст}$ (кількість молей стандартної речовини, взятої для титрування):

$$T_{c,M} = \frac{n_{Мст}}{\tau} \left[\frac{МОЛЬ}{с} \right], \quad (5)$$

Ми для своєї роботи обрали другий варіант.

Виконання експерименту проводили наступним чином: попередньо витрата титранта (0,1 н розчин HCl, виготовлений з фіксаналу) із посудини Маріотта регулюючим краном 2 (рис. 1) встановлювали так, щоб краплі з капіляра 4 піддавалися рахунку, і після цього закривали запірний кран 3, не змінюючи більше положення регулюючого крана. В якості стандартного розчину використовували розчин Na_2CO_3 , приготовлений із фіксаналу, з концентрацією ($c_{ст}$) 0,1 н. Для визначення T_c аліквоту стандартного розчину ($V_{ал,ст}$) 10 $см^3$ (що в цілому складало 0,053 еквівалентів) піпеткою Мора поміщали в стаканчик для титрування 5 (рис. 1), занурювали в розчин капіляр 4 та комбінований електрод 6. Потім одночасно відкривали запірний кран 3 і натискали кнопку «Пуск/Стоп» віртуального приладу на екрані комп'ютера 9, де потім відображався весь перебіг титрування. Після завершення титрування зупиняли реєстрацію результатів тією самою кнопкою «Пуск/Стоп», закривали запірний кран посудини Маріотта, при необхідності змінювали розчин у склянці і повторювали всю процедуру титрування. Для титрування харчової добавки Е500і наважку препарату (m) 1,06050 г розчиняли в дистильованій воді у мірній колбі об'ємом ($V_{ст}$) 200 $см^3$, звідки піпеткою Мора відбирали аліквоту ($V_{ал}$) 10 $см^3$ розчину, що становить 0,001 еквівалента ($n_{екв}$), і проводили титрування за описаною вище процедурою.

Статистичну обробку результатів титрування проводили засобами Excel.

З чотирьох паралельних визначень T_c отримано такі результати:

- середнє значення $T_{cp} = 8,06 \cdot 10^{-5}$ екв/с;
- стандартне відхилення $s_T = 1,7 \cdot 10^{-7}$ екв/с;
- довірчий інтервал (при $P = 0,95$) $\Delta T_c = \pm 1,69 \cdot 10^{-7}$ екв/с, що складає 0,21 % відн.). За критеріями кількісного аналізу такий результат вважається відмінним.

Розрахунок результатів титрування проби харчової добавки Е500і проводили за формулою:

$$n_{екв} = T_{c,екв} \cdot \tau, \quad (6)$$

що впливає з формули (5).

Приклад першої похідної кривої титрування проби харчової добавки E500i показано на рис. 2:

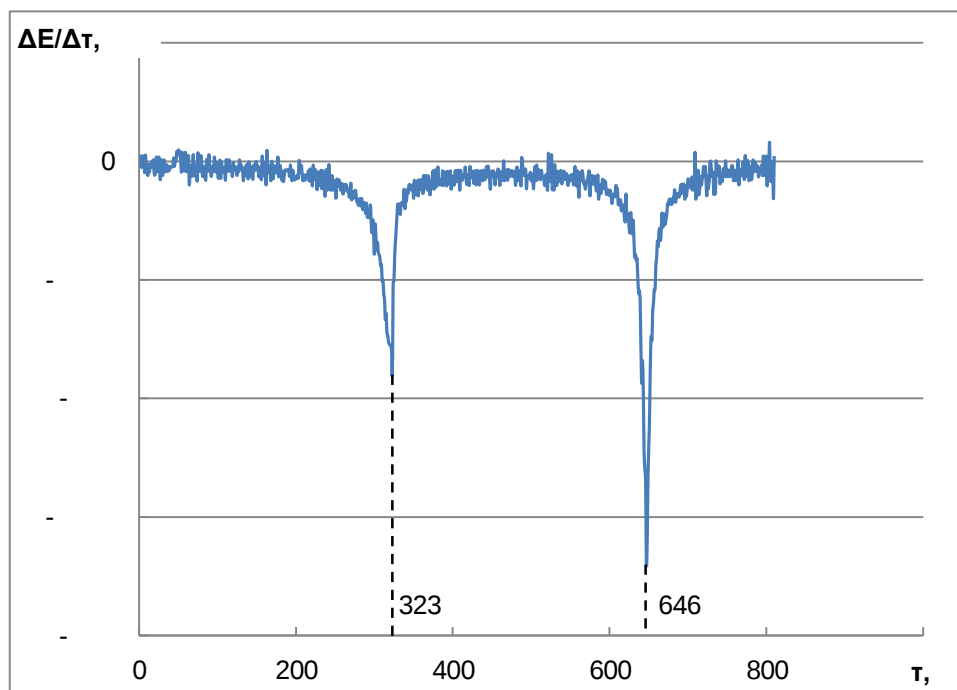


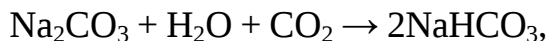
Рисунок 2 – Приклад першої похідної кривої титрування проби харчової добавки E500i

Статистичні характеристики отриманих результатів із чотирьох паралельних визначень наведено у табл. 1:

Таблиця 1 – Результати титрування проби харчової добавки E500i

№ проби	Час до TE, с	
	по першому ступені τ_1	по другому ступені τ_2
1	322	644
2	323	645
3	324	649
4	325	646
τ_{cp}, c	323,5	646
s_{τ}, c	1,29	2,16
$\pm \Delta \tau, c$	1,27	2,12
$n_{екв}$	$2,61 \cdot 10^{-2}$	$5,21 \cdot 10^{-2}$

Як було показано в частині I цієї роботи, співвідношення еквівалентних кількостей протонованих форм по 2 та 1 ступеням може бути критерієм відсутності в продукті сторонніх протолітів. В даному випадку $n_{\text{екв}2} : n_{\text{екв}1} = 5,21 \cdot 10^{-2} : 2,61 \cdot 10^{-2} = 1,997$, що вказує на присутність слідових кількостей у зразку гідрокарбонату натрію, який міг утворитися при зберіганні продукту внаслідок дії атмосферної вологи та вуглекислого газу:



що, взагалі-то, не знижує якості харчової добавки E500i.

У результаті можна зробити висновок, що для перевірки якості харчової добавки E500i був використаний досить точний та зручний у виконанні метод аналізу, що дозволяє документувати результати аналізу у цифровій формі з можливістю їх подальшої математичної обробки. Але у представленого методу є подальші перспективи: з метою підвищення точності аналізу та вдосконалення процедури посудину Маріотта слід замінити автоматичним дозатором титранту, керованим тим самим віртуальним приладом «Реєстратор потенціалів», який також необхідно буде вдосконалити.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Алемасова А.С. Аналітична хімія: підручник для вищих навчальних закладів / А.С. Алемасова, В.М. Зайцев, Л.Я. Єнальєва та ін. – Донецьк: «Ноулідж», 2010. – 417 с.
2. Холмовой Ю.П., Санталова Г.О. Віртуальні прилади: можливість комп'ютеризації лабораторного практикума з методів інструментального аналізу. / Сучасна освіта – доступність, якість, визнання: зб. наук. праць XII міжнар. наук.-метод. конф., 16–18 листопада 2021 р., м. Краматорськ. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – С. 287-289.

Гмиря Д.І., Аврунін Г.А. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна)

ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДА ТРАКТОРА-НАВАНТАЖУВАЧА ХТЗ-156Б

Розглянуті можливості модернізації об'ємного гідропривода фронтального навантажувача ХТЗ-156Б шляхом використання аксіальнопоршневого насоса з автоматичним регулятором зміни робочого об'єму і застосування тільки одного насоса для технологічного обладнання і рульового керування. Показана важливість проведення динамічних розрахунків об'ємного гідропривода з використанням пакета прикладних програм VisSim.

Considered the possibilities of modernizing the volumetric hydraulic drive of the KhTZ-156B front loader by using an axial-piston pump with an automatic regulator for changing the working volume and using only one pump for technological equipment and steering. The importance of performing dynamic calculations of a volumetric hydraulic drive using the VisSim application program package is shown.

Постановка проблеми, її зв'язок з науково-практичними роботами.

Трактор-навантажувач ХТЗ-156Б обладнаний навісним пристроєм з вантажним обладнанням (ковшем) (рис. 1). Ківш призначений для навантаження сипких та дрібнокускових матеріалів у транспортні засоби, різні приймальні пристрої та відвали, а також для виконання землерийно-транспортних робіт. На навісний пристрій трактора може встановлюватися адаптер, який забезпечує швидку заміну занурювального обладнання (ківша) на ківш для буряків, вила вантажні, вила сільськогосподарські, захоплення щелепне та гак монтажний.

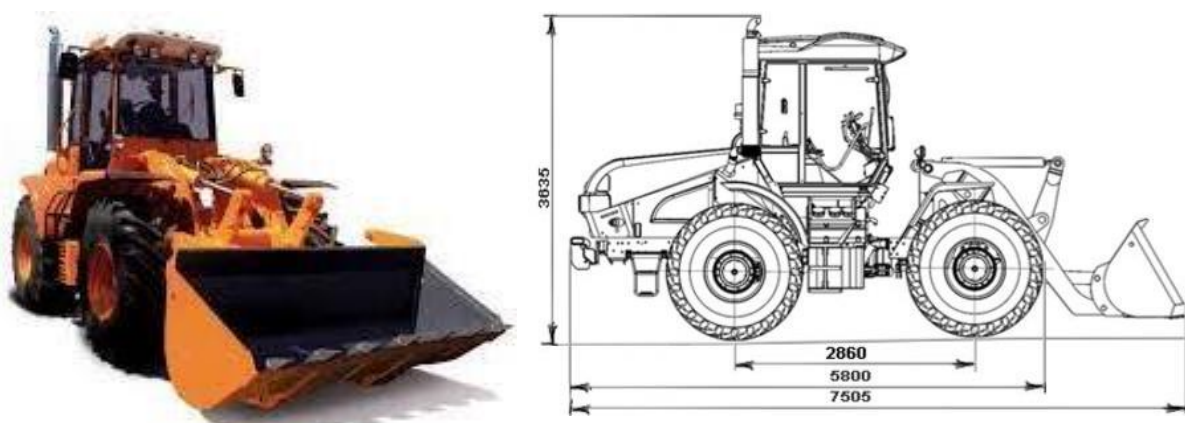


Рисунок 1 – Фронтальний навантажувач ХТЗ-156Б

На тракторі-навантажувачі ХТЗ-156Б об'ємні гідроприводи (ОГП) застосовуються в технологічному обладнанні та рульовому керуванні [1]. Використовується шестеренний насос НШ100А-4, моноблоковий гідророзподільник Р160 і дві пари гідроциліндрів – підйому стріли Ц1 і Ц2 і повороту ковша Ц3 і Ц4 (рис. 2). Насос Н приводиться в обертання двигуном ДВЗ, робоча рідина (РР) всмоктується з гідробака Б і нагнітається до блоку А, в який входять робочі гідророзподільники Р2 і Р3, та гідророзподільник Р1 для підключення зовнішніх робочих органів за допомогою швидкокороз'ємних з'єднань (муфт) БРС1 і БРС2, а також запобіжний клапан непрямої дії (основний КП1 та пілотний КП2). Всі гідророзподільники Р1...Р3 з ручним управлінням мають єдину схему: чотири робочих позиції та восьмипровідне виконання за розміщенням каналів: *p* – нагнітання або високого тиску; *T* – зливу РР; *A* і *B* – канали для з'єднання з гідроциліндрами Ц1...Ц4. Робочі позиції дозволяють мати нейтральне положення, підйом-опускання робочого органу та плаваючу (крайню праворуч) позиції. В нейтральному положенні золотників тиск в ОГП має мінімальне значення, тобто насос від тиску розвантажений. Гідророзподільники забезпечені автоматичними системами самоповернення золотників в нейтральне положення при досягненні в ОГП тиску, близького до налаштування пілотного клапану КП2. Розвантаження золотників в нейтральному положенні та їх самоповернення є засобами енергозбереження.

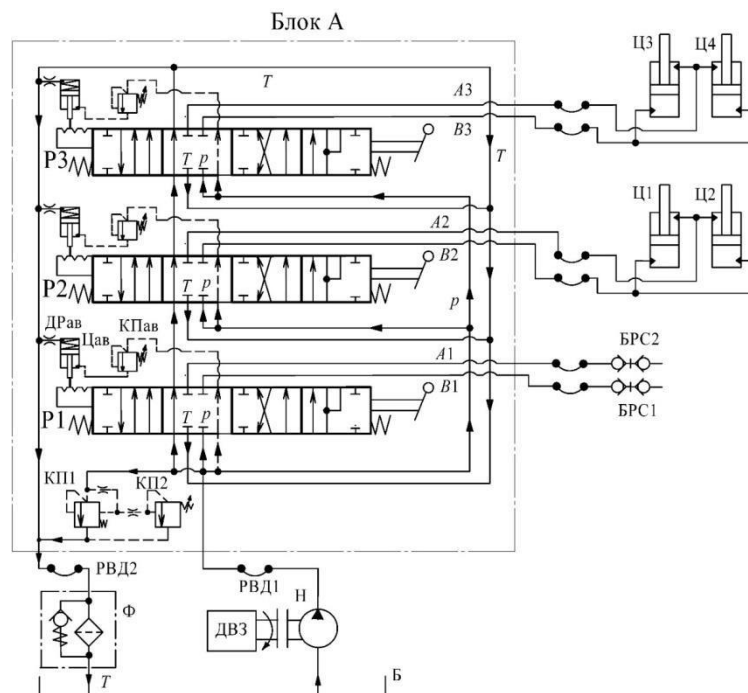


Рисунок 2 - Гідропривод технологічного обладнання трактора ХТЗ-156Б

ОГП рульового керування складається з насоса-дозатора, гідроциліндрів керування колесами та окремого шестеренного насоса [2].

До недоліків ОГП трактора-навантажувача- ХТЗ-156Б слід віднести його низьку енергоємність при застосуванні насоса з нерегульованим робочим об'ємом, функціонування на досить низькому тиску до 16 МПа, відсутність сучасних засобів енергозбереження та електричного пропорційного дистанційного керування гідророзподільниками технологічного обладнання, а також використання окремого насоса для рульового керування.

Підвищення технічного рівня трактора-навантажувача ХТЗ-156Б до рівня сучасних закордонних зразків є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спираються автори.

В останні роки в тракторних ОГП стали використовувати ефективні з точки зору енергозбереження і продуктивності роботи такі засоби:

1. Система *LS* мінімізації тиску в багатодвигунових ОГП з дросельним керуванням витрати та мінімізації тиску та витрати при застосуванні аксіальнопоршневих насосів з регульованим робочим об'ємом [2;3].

2. Система *LUDV* забезпечення синхронного функціонування всіх робочих органів одночасно [4].

3. ОГП з застосуванням одного насоса для технологічного обладнання та рульового керування [2].

4. Використання електрогідравлічного дистанційного керування гідророзподільниками технологічного обладнання [3].

Слід також зазначити, що в дослідженнях, присвячених функціонуванню технологічного обладнання тракторів, стали розвиватися методи імітаційного моделювання динамічних процесів з використання сучасних пакетів прикладних програм [5-7].

Формулювання раніше не вирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття, формулювання цілей статті і постановка задачі.

За нашими даними, проектно-конструкторські на науково-дослідницькі роботи з вдосконалення ОГП трактора-навантажувача ХТЗ-156Б не проводились. Тому метою роботи є модернізація ОГП цієї машини з використанням сучасних досягнень і аналіз динамічних навантажень з використанням пакета прикладних програм VisSim.

На основі аналізу застосування сучасних ОГП технологічного обладнання пропонується така методика модернізації навантажувача Т-156Б:

1. Встановити аксіальнопоршневий насос на тиск до 25 МПа, з регульованим робочим об'ємом і автоматичним регулятором постійності тиску та регулювання витрати і використання, та системою *LS* [8].

2. Використати насос-дозатор рульового керування з пріоритетним клапаном, що суттєво спрощує ОГП завдяки використанню тільки одного насоса.

3. Застосувати гідророзподільники з електрогідравлічним пропорційним керуванням.

Основна частина.

На рис. 3 представлена гідравлічна принципова схема модернізованого ОГП з застосуванням приводного двигуна ДВЗ аксіальнопоршневого насоса Н з автоматичним регулятором тиску та витрати (блок Б), гідробака Б, гідророзподільників Р1...Р3 технологічного обладнання (блок А) і блоку В рульового керування. Гідроциліндри Ц1...Ц7 забезпечують функціонування відповідних робочих органів навантажувача. До складу насоса Н входять регулятори тиску РТ та витрати РВ, гідроциліндр Ц переміщення похилого диску насоса та запобіжний клапан КП1. До рульового керування відносяться насос-дозатор НД, гідророзподільник Р4, запобіжний КП2 та зворотний КО клапани. В штокових порожнинах гідроциліндрів Ц1...Ц4 встановлені гідрозамки 3М1 і 3М2. Дросель ДР забезпечує функціонування системи енергозбереження LS . Кондиціонування РР здійснюється за допомогою оливаохолоджувача АТ, фільтра Ф, сапуна С (повітряного фільтра) та фільтра з заливною горловиною ФЗГ. Перетворювачі тиску ПД1 і ПД2, положення штоків ЕДП, манометри МН1 і МН2 та термометр Т забезпечують контроль параметрів ОГП. При проведенні експериментальних досліджень передбачений електронний блок керування гідророзподільниками блоку А та запису параметрів ОГП на ПК.

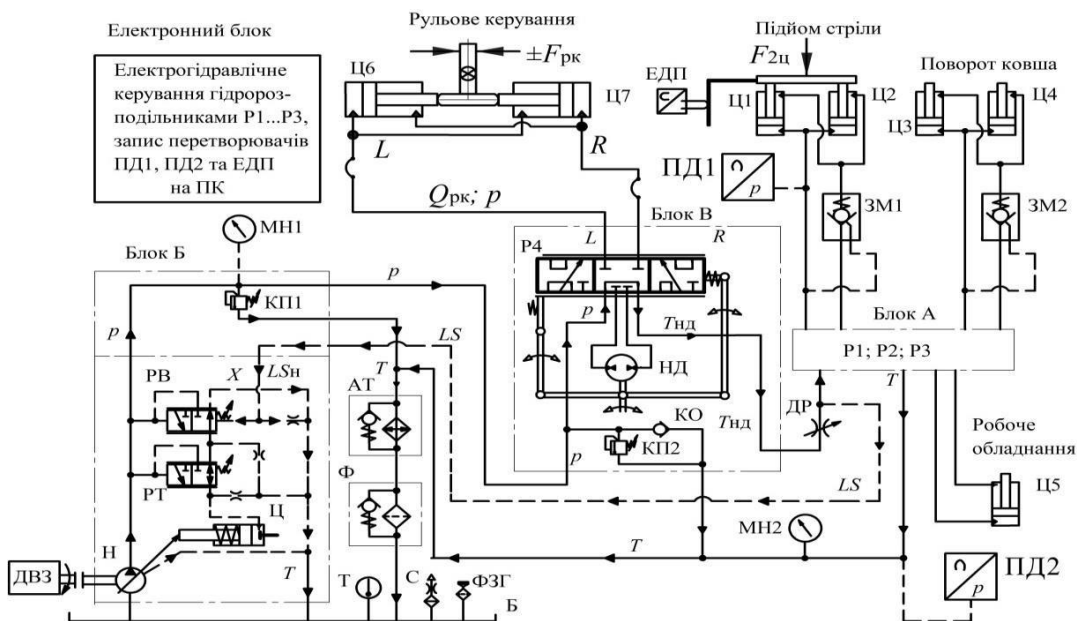


Рисунок 3 -. Модернізований гідропривод навантажувача Т-156Б

На штока гідроциліндрів діють сили опору зовнішнього навантаження $F_{2ц}$, тиску РР, напівсухого $F_{тр}$ і рідинного $F_{р.тр}$ тертя. При побудові математичної моделі ОГП приймаємо наступні допущення [9]: коефіцієнти витрати μ , щільність ρ і модуль E об'ємної пружності РР приймаємо

постійними, рівними середнім значенням; нехтуємо витоками в елементах ОГП в порівнянні зі значеннями витрат в порожнинах гідроциліндрів; не враховуємо хвилові процеси в трубопроводах з причини їх невеликої довжини і великого діаметру; тиск на виході насоса при включенні гідророзподільника приймаємо постійним, який налаштований запобіжним (переливним) клапаном КП1.

Візьмемо за основу математичну модель ОГП поступального руху [9] з урахуванням прийнятих допущень та з введенням доповнень, які пов'язані з використанням двох паралельних гідроциліндрів і завданням витрати та зовнішнього навантаження в повному циклі підйому гідроциліндрів за допомогою числових блоків map-VisSim.

Витрата в поршневих порожнинах гідроциліндрів має форму запису

$$Q_{2ц} = 2S_n \cdot v + \frac{V_{nn} + 2S_n \cdot y}{E} \cdot \frac{dp_1}{dt} \quad (1)$$

і в нормальній формі Коши відносно похідної p_1 знайдемо значення тиску

$$\frac{dp_A}{dt} = \frac{Q_{2ц} - 2S_n \cdot v}{V_{nn} + 2S_n \cdot y} \cdot E; \quad p_A = \int_0^{t_k} \phi_A dt, \quad (2)$$

де $Q_{2ц}$ – витрата РР крізь дросель на вході в гідроциліндри,

S_n – ефективна площа поперечного перерізу поршневої порожнини діаметром D_n [мм] (для двох гідроциліндрів маємо $2S_n$),

v і y – швидкість і переміщення поршнів, відповідно,

V_{nn} – початковий об'єм РР в поршневих порожнинах,

E – модуль пружності РР.

Рівняння руху штоків навантажених гідроциліндрів має вид

$$\dot{v} = \frac{1}{m} [2S_n p_A - 2S_{пш} p_B - F_{2ц} - F_{р.тр} - F_{тр}], \quad v = \int_0^{t_k} \dot{v} dt, \quad y = \int_0^{t_k} v dt, \quad (3)$$

де m – маса рухомих частин ковша,

$F_{тр} = F_{тр0} \cdot \text{sign } v$ і $F_{тр0}$ – сила напівсухого тертя і її модуль, відповідно,

$F_{р.тр} = \beta \cdot v$ і β – сила рідинного тертя і її коефіцієнт, відповідно.

Для перевірки адекватності математичної моделі для розрахунку динаміки ОГП використаємо формули для статичного теоретичного розрахунку відносно тиску p_A , швидкості v_n та часу переміщення t гідроциліндрів

$$p_A = \frac{F_{2ц} - 2S_{пш} \cdot p_B}{2S_n}, \quad v_n = \frac{Q_{2ц}}{0,06 \cdot 2S_n}, \quad t = 10^{-3} \frac{l_n}{v_n}, \quad (4)$$

де $F_{2ц}$ – зовнішнє навантаження (зазвичай задають максимальне статичне значення $F_{2ц} = F_{2ц, \text{макс}} = 220 \text{ кН}$,

$p_B = 0,5 \text{ МПа}$ – тиск на злив з гідроциліндрів (приймаємо).

Для конкретного ОГП з урахуванням $l_n = 710 \text{ мм}$, $D_n = 125 \text{ мм}$, $d = 80 \text{ мм}$ т $Q_{пш} = 157 \text{ л/хв}$ маємо: $p_A = 9,3 \text{ МПа}$; $v_n = 0,11 \text{ м/с}$, повний час переміщення поршня $t = 6,5 \text{ с}$.

Для проведення динамічного аналізу ОГП скористаємося обчислювальними блоками пакету VisSim з урахуванням використання блоків Variable. Для отримання цих характеристик скористаємося методом інтеграції Рунге-Кутта четвертого порядку з дискретністю $\Delta = 0,001$ с в діапазоні до $t_k = 0,025$ с. Аналізу підлягають залежності $p_A(t)$, $Q_{2ц}(t)$, $v(t)$, $y(t)$ та $F_{2ц}(t)$.

На рис. 4 приведені типові осцилограми динамічних розрахунків тиску, швидкості та переміщення поршнів гідроциліндрів.

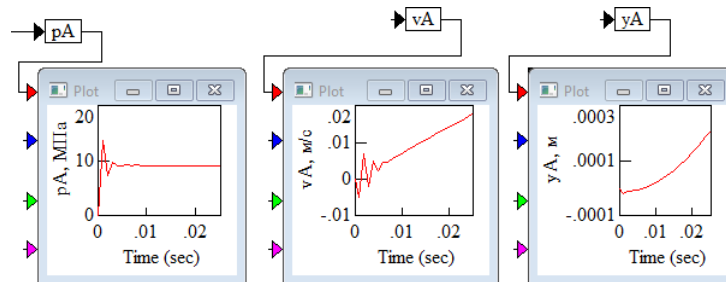


Рисунок 4 - Осцилограми залежності параметрів ОГП від часу в пакеті VisSim

На рис. 5,а приведена залежність перепаду тисків в гідроциліндрах стріли навантажувача від часу, за який зростає витрата РР до значення 157 л/хв (крива 1), тобто повної подачі насоса Н. Ця залежність побудована за результатами розрахунку динаміки ОГП на осцилограмах при перемінних значення часу зростання витрати РР. Зменшення тиску з 15,5 МПа до 13,5 МПа здійснюється за час з 0,01 с до 0,1 с, а далі зменшення тиску вже не відбувається. Тиск що встановився, тобто тиск статичного розрахунку, дорівнює 9,1 МПа (лінія 2). Для керування таким малим часом витрати РР для зменшення тиску в ОГП навантажувача (тобто збільшення часу зростання витрати до 0,1 с) треба використовувати гідророзподільник з пропорційними електромагнітами.

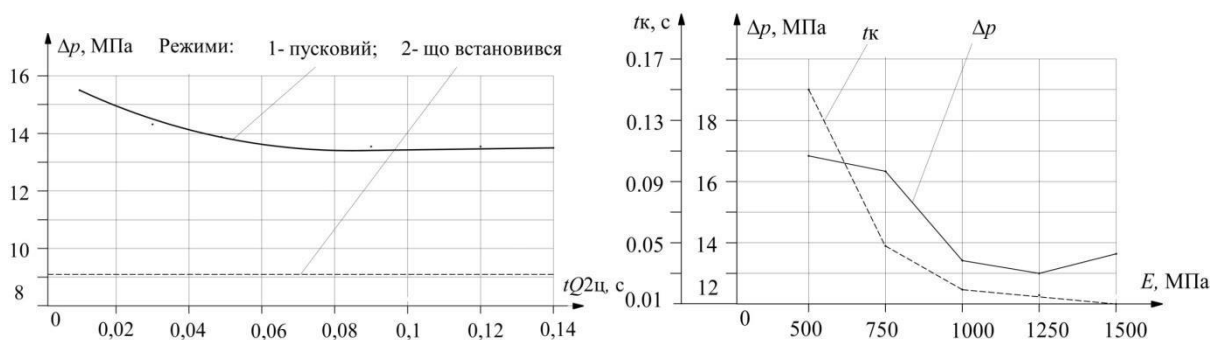


Рисунок 5 - Зменшення перепаду тисків в гідроциліндрах стріли навантажувача від часу зростання витрати РР (а) та збільшення модуля пружності РР (б)

На рис. 5,б приведена залежність перепаду тисків та часу коливань тиску від значення модуля пружності РР в діапазоні від 500 МПа (модуль при насиченості РР нерозчиненим повітрям) до 1500 МПа (максимальне значення модуля пружності для гідравлічних олив, коли розчинене повітря відсутнє). Ці залежності також побудовані за результатами розрахунку динаміки ОГП на осцилограмах при перемінних значення модуля пружності РР та при постійних значеннях навантаження та часу зростання витрати. Максимальне значення перепаду тисків зменшується з 16,4 МПа до 13...13,4 МПа, а час коливань зменшується з 0,15 с майже до 0,01 с, тобто більше ніж на порядок.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

1. Запропонована модернізація об'ємного гідропривода трактора-навантажувача Т-156Б з урахуванням сучасних досягнень в галузі, зокрема використанням аксіальнопоршневого насосу з регульованим робочим об'ємом і системою енергозбереження *LS*, насосом-дозатором рульового керування з функцією пріоритету та гідророзподільниками з електрогідравлічним пропорційним керуванням;

2. Динамічні розрахунки з використанням пакету VisSim виявили коливання тиску в гідроприводі залежно від швидкодії зростання витрати та модуля пружності робочої рідини.

3. Подальші дослідження у даному напрямку запропоновані на натурному експериментальному зразку навантажувача з використанням перетворювачів тиску та електронної системи завдання режимів випробувань.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Аврунін Г.А. Гідравлічне обладнання будівельних та дорожніх машин / Г. А., Аврунін І. Г. Кириченко, В. Б. Самородов. – Підручник, ХНАДУ, 2016. – 438 с.

2. *Моделювання циклограми роботи об'ємного гідропривода за допомогою пакету VisSim / Г. А. Аврунін, І. Г. Пімонов, О. В. Щербак та ін. // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця. – 2021. – 4(68). – С. 15–35.*
3. *Імітаційне моделювання динаміки об'ємного гідропривода рульового керування колісного трактора / О. О. Моторна, О. М. Переяславський, В. Б. Самородов та ін. // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця. – 2021. – №1(65). – С. 65-76*

Гончаров О.О., Михайлов В.М., Прасол С.В., Шевченко А.О. (Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна)

РОЗРАХУНОК ТРИВАЛОСТІ НВЧ-КОНЦЕНТРУВАННЯ СУМІШІ КОРЕНІВ ПРЯНИХ ОВОЧІВ

У статті наведено розрахунок кількості енергії для НВЧ-концентрування суміші подрібнених коренів пряних овочів та тривалості процесів залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування. Визначено, що збільшення глибини вакуумування дає позитивний результат не лише з напрямку інтенсифікації та енергоефективності під час концентрування, але й з точки зору зниження температурних параметрів процесу, що дозволить більш повно зберегти харчову та біологічну цінність сировини.

The article provides a calculation of the amount of energy for microwave concentration of a mixture of crushed roots of spicy vegetables and the duration of the processes depending on the energy factors and the depth of vacuuming. It was determined that increasing the vacuuming depth gives a positive result not only from the direction of intensification and energy efficiency during concentration, but also from the point of view of reducing the temperature parameters of the process, which will allow to more fully preserve the nutritional and biological value of raw materials.

Постановка проблеми, її зв'язок з науковими і практичними роботами. Одним з ефективних методів отримання концентрованої харчової продукції є використання мікрохвильових (НВЧ) технологій. Температура харчового продукту, швидкість НВЧ-концентрування значною мірою залежать від частоти та напруженості електромагнітного поля, геометричних розмірів та діелектричної проникності продукту. У той же час висока температура в процесі концентрування є шкідливим чинником, оскільки внаслідок теплового впливу руйнуються корисні компоненти і погіршуються фізико-хімічні властивості харчового продукту. Під час НВЧ-нагрівання в процесі зневоднювання змінюються діелектричні характеристики та зменшується кількість теплоти, що виділяється в продукт. Тому коректне управління тепловим режимом в процесі НВЧ-концентрування сприятиме ефективній роботі генератора НВЧ-нагрівання та підведенню до харчового продукту питомої потужності заданої величини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Для збереження об'ємного прогрівання продукту, забезпечення ефективної роботи НВЧ-генератора та підведення заданої величини питомої потужності, НВЧ-нагріванню слід піддавати вироби певної товщини, яка не перебільшує глибину проникнення електромагнітного поля [1-2].

Теплота, що виділяється в харчовому продукті, витрачається на його нагрівання до температури кипіння води, а також на її випаровування.

Оскільки волога всередині продукту знаходиться в замкненому середовищі, то з початком її кипіння починає зростати надлишковий тиск і, відповідно, температура кипіння. Надлишковий тиск залежить від кількості теплоти, що виділяється, в'язкості вологи за даної температури, відстані до поверхні продукту. За умов рівномірного виділення теплоти надлишковий тиск намагається досягти рівноважного, тому саме перепадом тиску переважно визначається інтенсивність переміщення вологи до поверхні продукту.

Створити перепад тиску можна шляхом розміщення продукту під пресом, або навпаки – у вакуумованому середовищі. Так, на основі НВЧ-нагріву за умов вакуумування розроблено кілька способів виробництва харчової продукції у вигляді соусів, паст, порошків на основі подрібненої суміші пряних овочів (петрушки, пастернаку, селери, кропу) [3]. Для отримання продукції високої якості, а також досягнення ефектів інтенсифікації та енергозбереження необхідно використовувати раціональні параметри, визначення яких потребує низки теоретичних та експериментальних досліджень.

У межах даної роботи пропонується розрахунковим шляхом встановити раціональні значення тривалості НВЧ-обробки залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування робочого середовища. Отримання таких даних та їх аналіз дозволять передбачити хід кінетики НВЧ-концентрування під час експериментальних досліджень.

Метою роботи є отримання розрахункових даних щодо тривалості процесу НВЧ-концентрування суміші подрібнених коренів пряних овочів за різних значень енергетичних чинників та глибини вакуумування робочого середовища.

Основними завданнями роботи є визначення кількості потрібної енергії для НВЧ-концентрування суміші та енергетичних параметрів (питомої потужності, напруженості електричного поля), а також їх використання як початкових даних для розрахунку тривалості процесів за умов вакуумування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розрахунку НВЧ-концентрування суміші подрібнених коренів пряних овочів (петрушки, пастернаку, селери) приймаємо такі початкові дані: початкова вологість суміші ω_1 – 85 %; кінцева вологість суміші ω_2 – 50 %; питома теплоємність суміші ($c=3400$ Дж/(кг·К)); насипна щільність суміші – 500 кг/м³; геометричні параметри зразка – площа $S=5 \cdot 10^{-2}$ м², висота $h=4 \cdot 10^{-2}$ м; потужність НВЧ-нагрівання – від 500 до 3000 Вт.

Об'єм зразка становить:

$$V=S \cdot h, \quad (1)$$
$$V=5 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 10^{-2}=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

а його маса (m , кг) дорівнює:

$$m=\rho \cdot V, \quad (2)$$
$$m=500 \cdot 2 \cdot 10^{-3}=1 \text{ кг}.$$

Розрахуємо кількість теплоти, необхідну для нагрівання зразка до температури кипіння в ньому води:

$$Q_n = m \cdot c \cdot \Delta t, \quad (3)$$

де Δt – різниця температур, К ($\Delta t = t_k - t_n$),

t_k, t_n – відповідно, початкове та кінцеве значення температури зразка; °С, (початкове значення температури приймаємо 20 °С, кінцеве за абсолютного тиску 10^5 Па – 100 °С).

Тоді за формулою (3):

$$Q_n = 1 \cdot 3400 \cdot (100 - 20) = 272 \text{ кДж.}$$

Кількість теплоти, необхідну для покриття втрат на випаровування води визначаємо за формулою:

$$Q_6 = r \cdot \Delta W, \quad (4)$$

де r – теплота пароутворення, Дж/кг (за атмосферного тиску $P = 10^5$ Па $r = 2261$ Дж/кг);

ΔW – зменшення кількості води, кг.

Зменшення кількості води можна визначити за рівнянням:

$$\Delta W = m_1 \cdot \left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} \right), \quad (5)$$

$$\Delta W = 1 \cdot \left(\frac{85 - 50}{100 - 50} \right) = 0,7 \text{ кг.}$$

Тоді:

$$Q_6 = 2261 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 1583 \text{ кДж.}$$

Загальна кількість енергії, що необхідна для НВЧ-концентрування продукту, складає:

$$Q_{заг} = Q_n + Q_6, \quad (6)$$

$$Q_{заг} = 272 + 1583 = 1855 \text{ кДж.}$$

Приймаємо, що втрати теплоти $Q_{вт}$ у доквілля складають близько 5 %, тоді:

$$Q_{вт} = 0,05 \cdot 1855 = 93 \text{ кДж,}$$

$$Q_{заг} = 1855 + 93 = 1948 \text{ кДж.}$$

Відповідно до наведеного вище прикладу також було проведено розрахунки кількості потрібної енергії для НВЧ-концентрування за різних значень глибини вакуумування, результати яких наведено в табл. 1.

З отриманих результатів виходить, що зі збільшенням глибини вакуумування витрати на нагрівання зразка зменшуються. Так, якщо за тиску $1 \cdot 10^5$ Па витрати на нагрівання 1 кг зразка складають 272 кДж, то за тиску $0,5 \cdot 10^5$ Па – 207 кДж, тобто на 24 % менше. У разі подальшого зниження тиску витрати на нагрівання стають набагато меншими і за тиску $0,1 \cdot 10^5$ Па складають лише 88 кДж, тобто в 3,1 рази менше.

У той же час витрати на випаровування води зі збільшенням глибини вакуумування несуттєво збільшуються. Так, по відношенню до витрат на випаровування 1 кг води за тиску $1 \cdot 10^5$ Па, що складають 1583 кДж, за тиску $0,5 \cdot 10^5$ Па вони дорівнюють 1614 кДж, тобто спостерігається збільшення витрат на 1,9 %, а за тиску $0,1 \cdot 10^5$ Па – 1672 кДж, тобто збільшення витрат на 5,6 %.

Таблиця 1 – Результати розрахунку кількості енергії для НВЧ-концентрування суміші подрібнених коренів прямих овочів

$p \cdot 10^{-5}$ Па	$t_n, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$r, \text{Дж/кг}$	$Q_n, \text{кДж}$	$Q_v, \text{кДж}$	$Q_{vt}, \text{кДж}$	$Q_{заг}, \text{кДж}$
1	20	100	2261	272	1583	93	1948
0,8	20	93	2277	248	1594	92	1934
0,6	20	86	2295	224	1607	92	1923
0,5	20	81	2306	207	1614	91	1912
0,4	20	76	2319	190	1623	91	1904
0,3	20	69	2335	167	1635	90	1892
0,2	20	60	2357	136	1650	89	1875
0,1	20	46	2389	88	1672	88	1848

Витрати енергії на випаровування води значно перевищують витрати енергії на нагрівання зразка, причому різниця стає більш суттєвою зі збільшенням глибини вакуумування. Так, якщо за тиску $1 \cdot 10^5$ Па витрати енергії на випаровування води перевищують у 5,8 разів по відношенню до витрат на нагрівання зразка, за тиску $0,5 \cdot 10^5$ Па – у 7,8 разів, за $0,2 \cdot 10^5$ Па – у 12,1 разів, а за $0,1 \cdot 10^5$ Па – у 19 разів.

У цілому слід зазначити, що загальна кількість потрібної для НВЧ-концентрування енергії зменшується зі збільшенням глибини вакуумування. По відношенню до значення цього показника за $1 \cdot 10^5$ Па, що складає 1948 кДж, за тиску $0,5 \cdot 10^5$ Па він дорівнює 1912 кДж, тобто зменшується лише на 2%, а при $0,1 \cdot 10^5$ Па – 1848 кДж, тобто зменшується на 5,1%.

Так, збільшення глибини вакуумування дає позитивний результат не лише в напрямі енергоефективності, але й з точки зору зниження температурних параметрів процесу, що дозволить більш повно зберегти харчову та біологічну цінність сировини.

Далі наведено результати розрахунку тривалості процесу НВЧ-концентрування залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування.

Питома теплова потужність, що виділяється в результаті НВЧ-нагріву в дослідному зразку (P_n , Вт/м³):

$$P_n = \frac{P}{V} \quad (7)$$

де P – потужність генератору НВЧ-нагріву, Вт.

$$P_n = 0,556 \cdot 10^{-10} E^2 f \varepsilon' \operatorname{tg} \delta, \quad (8)$$

де E – напруженість електричного поля, В/м;

f – частота змінного електромагнітного поля, Гц ($f=2450$ МГц);

ε' – відносна діелектрична проникність зразка;

δ – кут діелектричних втрат.

При цьому $\varepsilon' \cdot \operatorname{tg} \delta = \varepsilon''$ – коефіцієнт поглинання (для досліджуваної суміші за результатами попередніх експериментів приймаємо $\varepsilon''=6$). Тоді напруженість електричного поля за об'ємом зразка можна визначити за формулою:

$$\square = \sqrt{\frac{P_n}{0,556 \cdot 10^{-10} \cdot f \cdot \varepsilon''}} \quad (9)$$

Зокрема за потужності НВЧ-нагріву $P=500$ Вт та з урахуванням об'єму зразка $V=2 \cdot 10^{-3}$ м³ за формулою (7) $P_{num} = 250 \cdot 10^3$ Вт/м³. Тоді за формулою (9):

$$E = \sqrt{\frac{250000}{0,556 \cdot 10^{-10} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 6}} = 553 \text{ В/м.}$$

Розрахунок тривалості (τ , с) НВЧ-концентрування залежно від потужності нагріву та глибини вакуумування здійснювався за формулою:

$$\tau = \frac{Q}{P}, \text{ с.} \quad (10)$$

Зокрема, за потужності НВЧ-нагріву $P=500$ Вт та з урахуванням кількості потрібної притиску $p=1 \cdot 10^5$ Па для НВЧ-концентрування 1 кг зразка енергії $Q=1948$ кДж, тривалість процесу $\tau=64,9$ хв.

Результати розрахунку тривалості НВЧ-концентрування залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку тривалості НВЧ-концентрування залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування

Потужність P , Вт	Питома потужність, $P_{\text{п}} \cdot 10^{-3}$, Вт/м ³	Напруженість електричного поля, E , В/м	Тиск $p \cdot 10^{-5}$, Па							
			1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
			кількість енергії $Q_{\text{заг}}$, кДж							
			1948	1934	1923	1912	1904	1892	1875	1848
			тривалість $\tau \cdot 60^{-1}$, с							
500	250	553	64,9	64,5	64,1	63,7	63,5	63,0	62,5	61,6
1000	500	782	32,4	32,2	32,1	31,9	31,7	31,5	31,3	31,0
1500	750	958	21,6	21,5	21,4	21,2	21,1	21,0	20,8	20,5
2000	1000	1106	16,2	16,1	16,0	15,9	15,8	15,7	15,6	15,4
2500	1250	1237	13,0	12,9	12,8	12,7	12,7	12,6	12,5	12,3
3000	1500	1355	10,8	10,7	10,7	10,6	10,6	10,5	10,4	10,3

Аналіз наведених результатів свідчить про те, що зі збільшенням питомої потужності нагрівання у межах $(250 \dots 1500) \cdot 10^3$ Вт/м³ зростає відповідно і напруженість електричного поля (у межах 553...1355 В/м), чим зумовлене скорочення тривалості НВЧ-концентрування. Так, якщо за питомої потужності нагріву 250 кВт/м³ тривалість процесу, залежно від глибини вакуумування, становить $(61,6 \dots 64,9) \cdot 60$ с, за 1000 кВт/м³ – $(15,4 \dots 16,2) \cdot 60$ с, а при 1500 кВт/м³ – $(10,3 \dots 10,8) \cdot 60$ с. Тобто, за вищевказаних значень питомої потужності нагрівання тривалість процесу скорочується у 4 та 6 разів відповідно.

Суттєвого скорочення тривалості процесу НВЧ-концентрування залежно від значення тиску не встановлено. Так, за тиску $0,5 \cdot 10^5$ Па за питомої потужності $(250 \dots 1500) \cdot 10^3$ Вт/м³ тривалість є меншою лише на 1,5...1,9 % по відношенню до тривалості процесу за тиску $1 \cdot 10^5$ Па, а за $0,1 \cdot 10^5$ Па – на 4,3...5,4 %.

Висновки. Таким чином, витрати енергії на випаровування вологи перевищують витрати енергії на нагрівання зразка у 5,8...19,0 разів, причому різниця стає більш суттєвою зі збільшенням глибини вакуумування. Загальна кількість потрібної для НВЧ-концентрування енергії зменшується до 5,1 та 8,0 % відповідно зі збільшенням глибини вакуумування в межах $(1,0 \dots 0,1) \cdot 10^5$ Па. Зі збільшенням питомої потужності нагрівання зростає напруженість електричного поля. У межах питомої потужності нагрівання 250...1500 кВт/м³ тривалість НВЧ-концентрування скорочується у 6 разів. У той же час збільшення глибини вакуумування в межах $(1,0 \dots 0,1) \cdot 10^5$ Па приводить до скорочення тривалості процесу до 4,3...5,4%. Збільшення глибини вакуумування дає позитивний результат не лише з наряду інтенсифікації та енергоефективності під час концентрування, але й з точки зору зниження температурних параметрів процесу, що дозволить більш повно зберегти харчову та біологічну цінність сировини. Раціональним

можна вважати діапазон глибини вакуумування $(0,4...0,6) \cdot 10^5$ Па, за якого температура концентрування дорівнюватиме 76...86°C.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Інноваційні технології оздоровчих харчових продуктів на основі рослинної сировини та обладнання для їх реалізації : монографія в 3 ч. Ч. 3. Технології виробництва кулінарних м'ясних виробів з додаванням рослинної сировини та їх апаратурне оформлення / О. І. Черевко та ін. –Х. : ХДУХТ, 2021. – 172 с.*
2. *Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. – Х. : ХДУХТ, 2002. – 420 с.*
3. *Пат. 45999 Україна, МПК А23L 1/01. Спосіб приготування пасти з пряно-ароматичних овочів / Черевко О. І., Єфремов Ю. І., Михайлов В. М., Михайлова С. В., Волошин В. П., Голуб Р. В. ; заявник і патентовласник ХДУХТ. – № u200903539 ; заявл. 13.04.2009 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.*

Гребенкін О.О., Олійник С.Ю. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

РОЗВИТОК ТА ПРОБЛЕМИ ЛАЗЕРНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ

У статті розглянуто види лазерної обробки. Взяті до уваги недоліки лазерної обробки. Проаналізовано новітні методи обробки такі як модифікування матеріалу.

The article discusses types of laser processing. The disadvantages of laser processing are taken into account. The latest processing methods, such as material modification, are analyzed.

Лазерна обробка являється одним з найсучасніших методів покращення поверхні як деталей машин так і інструментів. При цьому методі окремі ділянки поверхні виробу нагріваються до надкритичної температури за допомогою лазера, після чого оброблена ділянка охолоджується з високою швидкістю за рахунок великої кількості тепла, що передається на внутрішній шар металу [1].

Лазерна обробка використовується для таких операцій: різання заготовок, модифікування поверхонь матеріалу, маркування, локальне легування, пайка, зварювання, наплавлення, легування тощо.[2].

Лазерна обробка дозволяє:

- значно знизити собівартість готових виробів, так як додаткові роботи з штампування, рубання, фрезерування та свердління не знадобляться;
- зменшити відходи металу за рахунок оптимального комп'ютерного розкрою;
- виконувати операції з крихкими сплавами, а також деталями, які легко ушкоджуються та деформуються;
- виключити брак та знизити до мінімуму можливість помилки;
- виготовляти вироби у будь-якій кількості.

Одним з найпопулярніших методів автоматизованої обробки є лазерна різка металу. Головними перевагами цього методу є повна відсутність механічного впливу на поверхню, максимальна точність і висока швидкість різання. Цей метод зводить до мінімуму можливу деформацію деталі в місцях різання [3].

Загальновідомою проблемою лазерної обробки заготовок з теплопровідних матеріалів (мідь, алюміній, золото, олово тощо) є те, що через теплову дифузію важко ефективно використовувати джерело тепла, яке утворюється під час його опромінення [4]. Енергія передається за межі зони

обробки за допомогою ефекту теплопровідності. Ця проблема стосується всіх операцій у лазерній технології, від термічної обробки поверхні до розмірної обробки (LPO) і пароподібної деструкції матеріалів заготовки, але в останньому випадку вони більш актуальні через необхідність генерувати високі концентрації енергії за допомогою джерел тепла з щільністю потужності. $I \geq 10 \text{ Вт/см}^3$ [5].

Лазерне кольорове маркування. Кольорове маркування металів засноване на процесі, при якому утворюється тонка плівка на поверхні зразка під впливом лазерного випромінювання. Процес окислення виникає за рахунок рівномірного нагріву поверхні металу через що утворюється оксидна плівка [6]. Цей спосіб широко використовувався в металургії для художньо-промислової обробки металевих виробів.

Також було винайдено модифікування матеріалу. Модифікація матеріалу являє собою результат термічного впливу на нього. Завдяки високій теплопровідності металевих матеріалів він проявляє різноманітні металографічні структурні перетворення під дією локального нагрівання та надшвидкого охолодження. Ці процеси відбуваються шляхом обробки металевих матеріалів лазерним променем з щільністю потужності $10^3 \dots 10^4 \text{ Вт/см}^2$. До типів модифікації входять зміцнення та поверхневе легування. У машинобудуванні лазерна обробка поверхні широко використовується для поліпшення (в кілька разів, іноді в десятки разів) механічних властивостей деталей, таких як зносостійкість і межа довговічності.

Недоліками лазерної обробки є:

- Дороге обладнання. Пристрій для лазерного різання є дорогим обладнанням. Сьогодні ціни впали, але таке обладнання все ще не використовується для більшості галузей;
- Є обмеження по товщині металевих листів. Пристрій не може працювати з матеріалом товщиною більше 20 мм. Це обмеження пов'язане з характеристиками лазерного променя та не залежить від параметрів, які використовуються для різання;
- Відсутність можливості обробляти метал з відбиваючими властивостями: наприклад, алюміній. Лазер це потік частинок, який може бути відображений. Якщо вам потрібно буде обробляти такий метал треба використовувати механічні технології різання;
- Низький коефіцієнт корисної дії. У обладнання для лазерного різання металу цей показник знаходиться на рівні 15%. Цей недолік позначається на обробці матеріалу товщиною 12 мм. Витрачається більше енергії та часу.

- Ризик виходу з ладу програмного забезпечення. Навіть якщо головні елементи установки будуть вправно працювати, при програмному виходу з ладу, обладнання не зможе коректно виконувати роботу.

ВИСНОВКИ

Лазерна обробка – це сукупність важких та потрібних видів обробки матеріалу до яких входить модифікування, частиною якого є зміцнення. Не зважаючи на безліч мінусів лазерної обробки одним з яких є дороге обладнання вона на даний момент є однією з популярних та найкращих методів обробки матеріалів бо при її використанні зменшується кількість відходів, з'являється можливість обробляти крихкі матеріали, які легко ушкоджуються та деформуються.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Конспект лекцій з дисципліни „Формування структури і властивостей при лазерній поверхневій обробці” для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» усіх форм навчання / Укл.: Косинська О.Л. - Кам'янське, ДДТУ, 2019 р., 47 с
2. Поверхнева лазерна обробка [Електроний ресурс]: Вікіпедія. Вільна інциклопедія. — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Поверхнева_лазерна_обробка.
3. Перспективи розвитку лазерних технологій. [Електроний ресурс]: studfile. — Режим доступу: <https://studfile.net/preview/518283/>.
4. Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої Дню Науки. Секція «Машинобудування», підсекція <<Лазерної техніки та фізико-технічних технологій» / Укладачі Сергітов О.Т., Кондрашев П.В.-К.: НТУУ «КПІ», 2013.-112 с.
5. Черненко В. С., Ківдрачук М. В., Дудка О. І. Променеві методи обробки: Навч. посібник. — К.: Кондор, 2004. — 166 с. — [ISBN 966-7982-70-X](#)
6. Лазерна поверхнева обробка матеріалів / Афанасьєва О.В., Лалазарова Н.О., Федоренко Є.П. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 100 с. ISBN 978-617-7859-35-1
7. Shao, K.; Zhou, Q.; Chen, Q.; Liu, Y.; Wang, C.; Li, X. Research Progress of Water-Laser Compound Machining Technology. Coatings 2022, 12, 1887. <https://doi.org/10.3390/coatings12121887>

Гуков О.В., Фідровська Н.М. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна)

ФОРМУВАННЯ ЗІГНУТОГО КАНАТА ПРИ НАБІГАННІ ЙОГО НА ШКІВ

Розглянуті зміни натягнення канату при набіганні його на шків по результатах експерименту. Напруження згину значно збільшують натягнення канату в точці набігання на шків. Проведенні експерименти І.Ф.Нікітіна пояснюють процеси, які виникають в канаті на початку згинання на блоці і барабані.

Considered changes in the tension of the rope when it runs into the pulley according to the results of the experiment. Bending stresses significantly increase the tension of the rope at the point of contact with the pulley. The conducted experiments of I.F. Nikitin explain the processes that occur in the rope at the beginning of bending on the block and drum.

Постановка проблеми, її зв'язок з науково-практичними роботами

Канат являється одним з основних елементів вантажопідйомної машини. Він передає силу ваги вантажу на інші органи навивки і на металоконструкцію машини. У той же час канат є складною статично невизначеною системою, яка складається з осереддя і звитих навкруги нього пасм каната, які в свою чергу були попередньо звиті з дротинок. Залишкові напруження в дротинках після звивки можуть бути значними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі роботи натягнення каната передається по-різному на всі дротинки або навіть пасма, це доводять експерименти багатьох авторів [1, 2, 3].

Але при набіганні каната на шків або барабан, коли до розтягнення приєднується ще і згин, картина напруженого стану каната ускладнюється в декілька разів. Дослідження багатьох відомих вчених, таких як Б.С. Ковальський [1], М.Ф. Глушко [2], І.Ф. Нікітін [3, 4], В.А. Маліновський [5] та інші показали, що найбільші напруження в канаті виникають саме в точці набігання канатом на блок або барабан, там де до напружень розтягнення канату додаються напруження згину.

Оцінка натягнення каната при його огинанні шківом або барабана є досить важливою, тому що вона визначає напружений стан і довговічність не тільки каната, але і барабану і блоку.

Основна частина.

Був проведений експеримент [3] для перевірки величини і характеру зміни додаткових зусиль у дроті по мірі проходження їх з прямої ділянки на зігнуту вісь каната. Для дослідження був вибраний спіральний канат точкового дотику конструкції 1+6+12 діаметром 6 мм, $\delta_1 = 1,2$ мм, $\delta_2 = 1,2$ мм, $h_1 = 46$ мм, $h_2 = 65$ мм.

На досліджуваний зразок каната клеїлись від чотирьох до семи датчиків. Установка каната проводилась таким чином, щоб датчики в момент набігання каната на шків знаходились із зовнішнього боку. Загальна схема установки показана на рисунку 3. Датчик виводився на відстані трьох кроків звивання від точки дотику каната зі шківом і навантажувалося силою Q . Обертанням верхнього шківів ділянка каната з наклеєним на ньому датчиком плавно рухалась на нижній шків. Показники шкали гальванометра записувались через кожні чверті кроку звивання дротинок в канаті.

Результати експеримента демонструють рис. 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Як бачимо, перед точкою дотику каната зі шківом зовнішнє пасмо стискається. Це пояснюється тим, що канат стає вигнутим і при дотику зі шківом виникає згин і у зовнішньому пасмі проходить різке збільшення натягнення на відстані $0,5 \div 0,75$ кроку, що відповідає куту $24^\circ - 37^\circ$.

Проводячи аналіз даних експеримента бачимо діаметр шківів має більший вплив на величину натягнення. Так при натягненні гілки каната 444 кг. T_{max} при $D = 152$ мм. і T_{max} при $D = 264$ мм. при натягненні 584 кг T_{max} при $D = 152$ мм і T_{max} при $D = 264$ мм. Великий вплив на максимальне натягнення має також крок звивання, так, для каната № 1 з кроком $h = 65$ мм. при навантаженні 584 кг. і діаметру шківів $D = 152$ мм. T_{max} , а для каната № 2 з кроком $h = 46$ мм. T_{max} . Пропорційно T_{max} змінюються і відповідні напруження стиску.

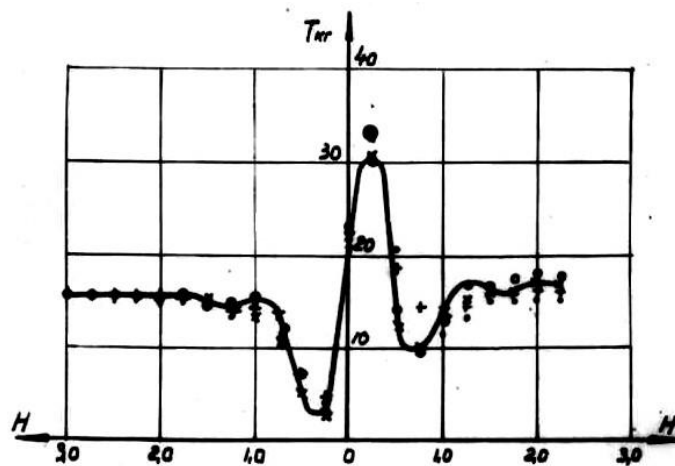


Рисунок 1 – Графік змінення осьових зусиль в дротинці при набіганні каната № 1 на шків діаметром 152 мм при навантаженні на гілку каната 304 кг

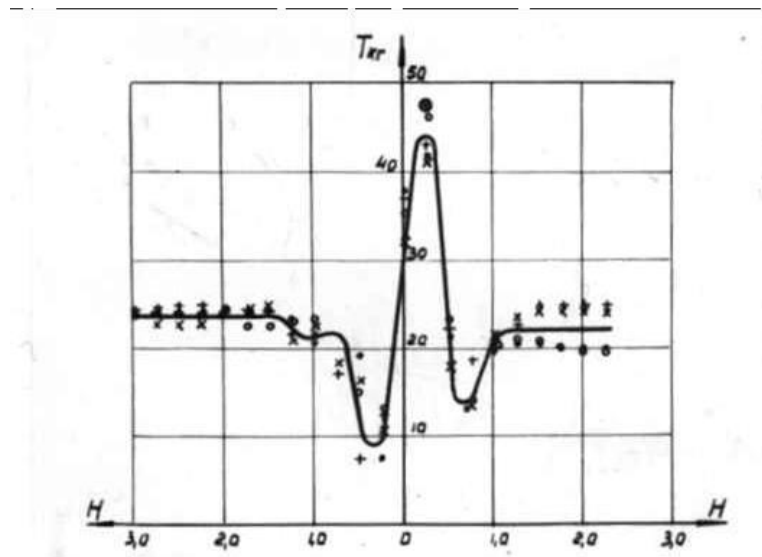


Рисунок 2 – Графік змінення осьових зусиль в дротинці при набіганні каната № 1 на шків діаметром 152 мм при навантаженні на гілку каната 444 кг

Натягнення в канаті залежить також від коефіцієнта тертя між пасмами.

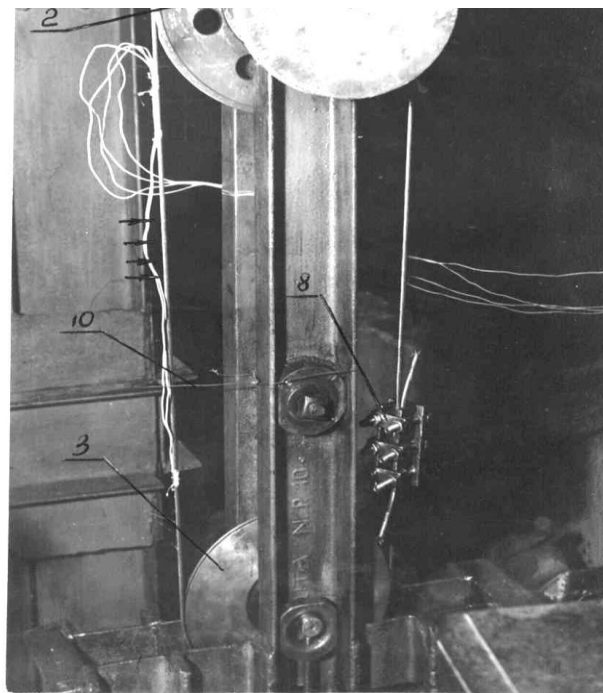


Рисунок 3 – Установка с наклеєними датчиками

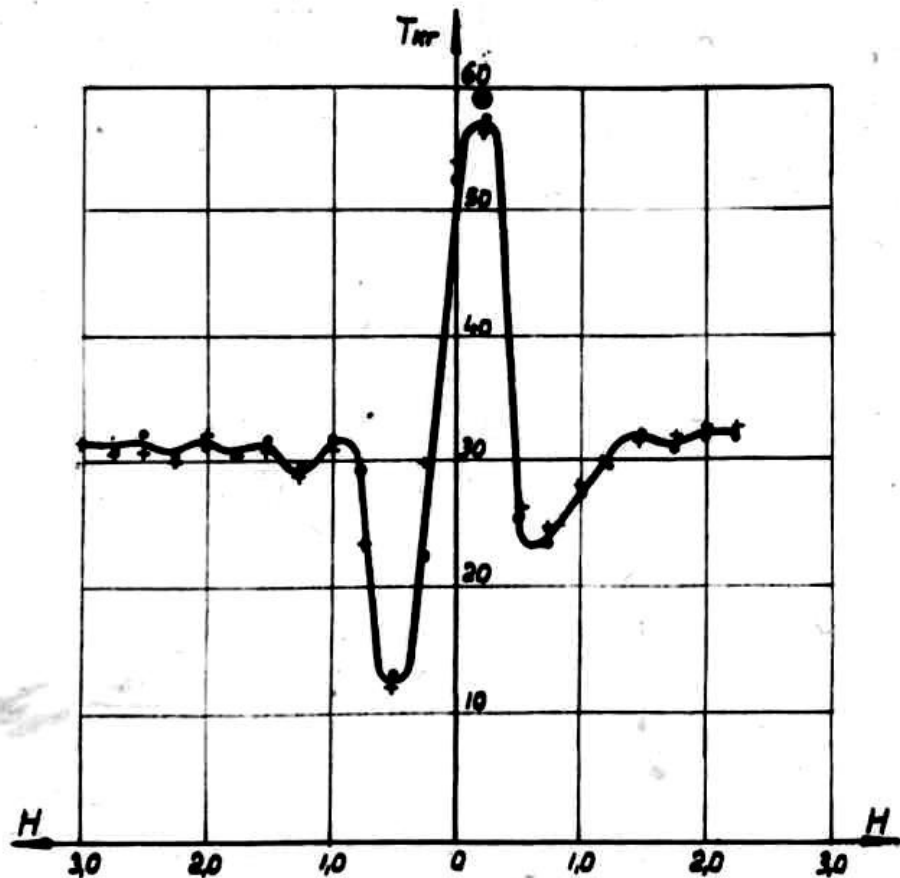


Рисунок 4 – Графік змінення осьових зусиль в дротинці при набіганні каната № 1 на шків діаметром 152 мм при навантаженні на гілку каната 584 кг

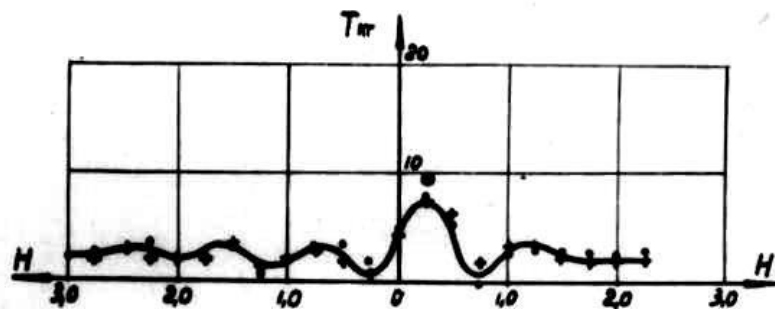


Рисунок 5 – Графік змінення осьових зусиль в дротинці при набіганні каната № 1 на шків діаметром 264 мм при навантаженні на гілку каната 37 кг

Розглянемо положення дроту в поперечному перерізі канату в полярних координат r і φ (рис.6).

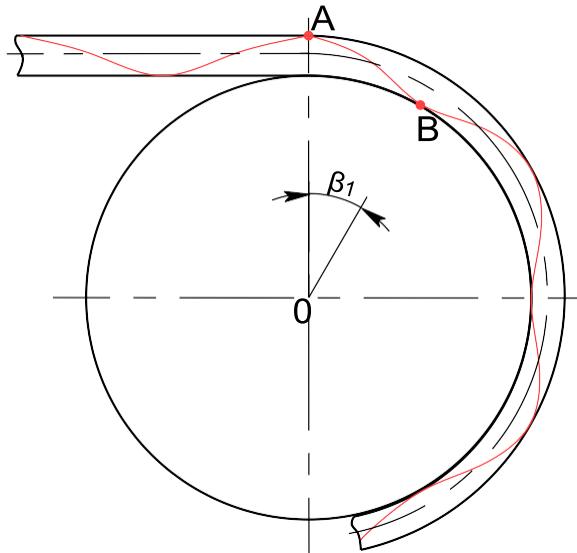


Рисунок 6 – Положення дроту в поперечному перерізі канату в полярних координат r і φ

Якщо елемент канату, який дорівнює чверті кроку канату, тобто $\frac{s}{4}$ починає згинатися на блоці радіусом R , він займає положення на дузі AB . Довжина дротинки змінюється і може бути визначена наступним чином:

$$l_1 = \sqrt{R^2 + (R + r)^2 - 2R(R + r) \cos \beta}, \quad (1)$$

де r – радіус канату,

β – кут, який утворюється між відрізками OA і OB .

Довжина дротинки AC буде порівнювати:

$$l = \frac{s}{4 \cos \alpha}, \quad (2)$$

де α – кут звивання дротинок.

Тоді отримаємо деформацію дротинки при згині канату на довжині $\frac{s}{4}$

$$\Delta l = l_1 - l \quad (3)$$

Визначаємо силу, яка виникає при деформації дротинки

$$F = \frac{EA \Delta l}{l_1}, \quad (4)$$

де E – модуль пружності;

A – площа перетину дротинки.

Висновки

Як бачимо, максимальні напруги в канаті виникають в точках набігання на шків і збігання зі шківів, де происходит зміна згину каната.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Денін С.А., Головін В.О., Морозан С.М., Гайдаєнко О.В.,
Казимиренко Ю.О. (Національний університет кораблебудування ім. адм.
Макарова, м. Миколаїв, Україна)

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ДИЗАЙНЕРСЬКИХ ПРОЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ РЕЦИКЛІНГУ СТЕКОЛ

Стаття присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми впровадження безвідходних технологій у дизайнерські проєкти. Для цього в роботі вирішуються задачі рециклінгу бою скла з їх використанням у меблевих інтер'єрах, створенням архітектурних вітражів та художніх виробів. Різноманіття скляних відходів вимагатиме їх сортування з проведенням експертизи, для чого застосовано системно-аналітичний підхід з розробкою нової інформаційної системи. Одержані результати розширюють технологічні можливості рециклінгу за рахунок систематизації та управління даними.

The article is devoted to solving the actual scientific and practical problem of introducing zero-waste technologies into design projects. For this purpose, the work solves the problems of glass recycling with their use in furniture interiors, the creation of architectural stained glass and artistic products. The variety of glass waste will require their sorting and examination, for that a system-analytical approach with the development of a new information system is applied. The obtained results expand the technological possibilities of recycling due to systematization and data management.

Постановка проблеми.

Рециклінг відходів, тобто їх переробка на корисну продукцію, є перспективним напрямком сучасного матеріалознавства [1, с. 158-185]. На даний час, в умовах повномасштабного військового вторгнення, в Україні накопичується велика кількість скляного бою. В основному це віконні стекла житлових і офісних приміщень, фасадів, огорожувальних конструкцій, які постачаються закордонними виробниками. Перед тим, як стати частиною конструкції, стекла проходять складний технологічний цикл, який включатиме у себе етапи формування листів (з нанесенням за необхідністю покриттям), шліфування, полірування, розкрий, випал, механічну обробку, з'єднання у багатошарові елементи [2, с. 109-114], [3, с. 129-153]. Тобто уламки стекол мають гомогенну будову та високі фізико-механічні властивості, а значить, їх утилізація або переробка на порошок не є рентабельною. Перспективним технічним рішенням цього питання є їх застосування у дизайнерських проєктах, що, у свою чергу, потребує кваліфікованої систематизації та обробки інформації щодо хімічного складу,

«історії» стекол, їх масогабаритних показників, фізико-механічних властивостей. Це вимагатиме поставки та проведення міждисциплінарного дослідження із застосуванням системно-аналітичного підходу та розробкою інформаційної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематику рециклінгу бою віконних і кришталевих стекол висвітлено в роботах [4, с. 13-20] і [5, с. 180-185], де запропоновано технологічні розробки з їх переробки на порошок з наступним отриманням ізоляційних комірчастих виробів для будівництва.

Досвід виготовлення художнього скла і виробів з нього проаналізовано у роботі [6, с. 163-178]. У джерелі [7, с. 129-161] автори наводять приклади використання скляних фрагментів у українському декоративно-прикладному мистецтві з висвітленням технологічних особливостей та різновидів художніх матеріалів для малярства на склі. Робота [8, с.47-53] присвячена вітражному мистецтву в оздобленні храмів та каплиць. Економічні і екологічні чинники ефективності використання скляних відходів у виробничих технологіях проаналізовані авторами роботи [9, с.41-45].

Невирішені частини загальної проблеми.

Проаналізовані джерела літератури присвячено матеріалознавчим аспектам існуючих традицій застосування скла у художній творчості, архітектурному дизайні та можуть бути покладені в основу розвитку нових можливостей для дизайнерських проєктів. Проте невід’ємною частиною сучасних бізнес-проєктів є створення відповідної інформаційної підтримки, без якої не можливо створення об’єктів екологічно-орієнтованого дизайну з використанням у якості сировини скляного бою.

Мета роботи – системно-аналітичне дослідження технологій рециклінгу скляного бою в дизайнерських проєктах з розробкою нової інформаційної системи.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Дослідження виконано у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) на лабораторній базі кафедри матеріалознавства і технології металів разом з кафедрою інформаційних управляючих систем та технологій.

Методологію постановки системно-аналітичного дослідження з практичною реалізацією наведено у табл. 1, у якій процес рециклінгу розглядається за ознаками складної технічної системи [10, с. 169-183]. Для

розробки інформаційної системи застосовано науково-практичне підґрунтя об'єктно-орієнтованого проектування [11, с. 153-163].

Таблиця 1. Методологія системно-аналітичного дослідження

Показники	Можливості реалізації проєкту
Предметна область	Рециклінг скляного бою як складна технічна система
Складові частини	• технічне забезпечення сортування стекол за видом, масою та розміром • матеріалознавча експертиза з дослідження «історії» стекол (хімічний склад, наявність покриття, вид термічного та хіміко-термічного оброблення тощо) та дослідження фізико-механічних властивостей; • систематизація отриманих даних • дизайнерська проробка • менеджерська робота з замовниками
Технологічна підтримка	Розробка технологічного циклу для серійних та індивідуальних виробів з техніко-економічним обґрунтуванням
ІТ-підтримка	• розробка спеціалізованої інформаційної системи для систематизації даних і управління виробничими процесами • розробка web-сайту • розробка електронного каталогу продукції
Перспективи	Створення меблевих інтер'єрів, архітектурних вітражів та художніх виробів
Результати	Розвиток напрямків екологічно-орієнтованого дизайну

Системно-аналітичне дослідження покладено в основу нової інформаційної системи «Glass Recycling» з наступною концепцією. У базу даних заноситься інформація про скляний бій, це: його походження (віконне скло, вітраж, склопакет тощо), розміри, маса, а також результати матеріалознавчої експертизи. Для більш коректного введення інформації для менеджерів проєкту розробляється певний інтерфейс. Ця база даних взаємодіє із дизайнерськими фірмами, меблевими виробництвами, художніми спілками, музеями, реставраційними майстернями. Менеджери цих організацій звертаються один до одного із запитаннями та пропозиціями. Матеріалознавець-дизайнер обирає для замовників певні фрагменти скла та пропонує (а надалі і розробляє технологічні процеси) його обробки

(механічної, хіміко-термічної тощо) та підбирає в залежності від хімічного складу скла фарби, клеї та інші декоративні матеріали. Результати роботи виводяться у вигляді звіту, до якого замовники, дизайнери та менеджери можуть вносити свої корективи.

Програмне забезпечення розроблено на мові Java. База даних матиме документально-фактографічний масив, до якого заносяться фотографії та характеристики основних і допоміжних матеріалів.

На базі лабораторії неметалевих матеріалів кафедри матеріалознавства і технології металів створено авторську колекцію, для якої застосовано фрагменти стекол головного корпусу НУК, який постраждав під час обстрілів.

Одержані результати розширюють технологічні можливості рециклінгу за рахунок систематизації та управління даними та спрямовані на вирішення актуальної науково-практичної проблеми впровадження безвідходних технологій у дизайнерські проекти.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Проаналізовано сучасний стан і перспективні тенденції рециклінгу скляного бою у дизайнерських технологіях та для створення художніх виробів.

За допомогою системно-аналітичного підходу розглянуто можливості реалізації дизайнерських проектів з використанням технологій рециклінгу скляних відходів, що дає змогу для розвитку екологічно-орієнтованого дизайну.

Запропоновано концепцію та розроблено проєкт нової інформаційної системи «Glass Recycling» з базою даних документально-фактографічного типу.

Результати роботи можуть бути використані для створення меблевих інтер'єрів, архітектурних вітражів та художніх виробів.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з апробацією інформаційної системи на виробництві та розробкою web-сайту і каталогу продукції.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Левченко Н. М., Жовнірчик Я. Ф. Державне регулювання розвитку рециклінгу побутових відходів в умовах екологізації економіки. *Publ. upr. reg. rozvit.* 2020. 7. С. 158–185.
2. Щабетя О. А. Міцність скла, модифікованого методами на основі іонного обміну та травлення. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії.* 2019. 1. С. 109–114.
3. Яцишин Й. М. Технологія скла: підручник у трьох частинах. – Ч. 3: Технологія скляних виробів, Львів : Видавництво «Растр-7», 2011. 416 с.
4. Казмиренко Ю. О., Дрозд О. В. Системно-аналітичний підхід до підвищення ефективності рециклінгу виробничих скляних відходів. *Вісник Львівського торговельно-*

економічного університету. 2022. 29. С. 13-20; режим доступу <http://journals-lute.lviv.ua/index.php/visnyk-tech/issue/view/94>

5. Казимиренко Ю. О., Дрозд О. В., Жарський Є. І. Технологічні особливості і фізико-хімічні процеси переробки кристалевих стекол на порошок. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. Т. 31 (70). 4. С. 180–185.

6. Історія декоративного мистецтва України: У 5 т. Т. 5 [головний редактор Г.Скрипник] НАН України, ІМФЕ ім. Т. Г. Рильського, Київ: видавництво ІМФЕ, 2016. 546 с.

7. Бабенко О. та ін. Українське декоративно-прикладне мистецтво: монографія, Полтава: ПНТУ, 2016. 256 с.

8. Задорожний Б. Мистецтво сучасного вітражу в архітектурі храмів України. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія «Архітектура». 2022. 1(7). С. 47-53.

9. Гурець Л. Л., Котолевець А. С., Котова І. І. Зниження рівня техногенного навантаження на довкілля під час використання відходів скла. *Екологічні науки*. 2018. 4 (23). С. 41–45.

10. Щедріна О. І. Системний аналіз як інструмент прийняття управлінських рішень в бізнесі. *Modeling and Information Systems in Economics*. 2020. Vol. 1 (99). С. 169-183.

11. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем: навчальний посібник, Черкаси. Черкаський національний ун-т ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

Держинський І.В., Кассов В.Д. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ БАШТОВИМИ КРАНАМИ

В роботі розглянуті існуючі шляхи цифрового розвитку систем керування баштовими кранами. Розглянуто вплив діджиталізації на безпеку роботи кранів та виявлено їх недоліки.

The paper examines the existing ways of digital development of tower crane control systems. The impact of digitalization on crane operation safety is considered and their shortcomings are identified.

Постановка проблеми

З моменту створення Юліусом Вольфом першого прообразу сучасних баштових кранів у 1913 році минуло вже понад століття, але й сьогодні вони є основними вантажопідійомними машинами, без яких не може бути збудована жодна висотна споруда. Останніми роками намітилися тенденції впровадження нових технологій. Наприклад, у США зведення окремих висотних об'єктів виконується за допомогою робочих платформ, які встановлюються на металеві конструкції будівель або їх ліфтових шахтах. Але в найближчі десятиліття застосування баштових кранів у будівництві, як і раніше, буде широко. Важливість даного підйомного обладнання підтверджує і те, що сьогодні у світі експлуатуються кілька сотень тисяч баштових кранів, з них в Україні понад 5 тис. кранів, щоправда більшість із яких відпрацювали встановлений термін експлуатації[1].

У зв'язку з обмеженими умовами монтажних майданчиків, за своєї великої висоти, кран має малу опорну базу. Внаслідок цих конструктивних особливостей баштовий кран у порівнянні з іншими видами вантажопідійомних машин є об'єктом підвищеної небезпеки при монтажі та експлуатації.

Аварії на баштових кранах у світі та Україні фіксуються регулярно і відбуваються навіть за дотримання всіх правил експлуатації та вимог безпеки. За даними міністерства праці США до 2017 року по країні в середньому на рік відбувається до 2 нещасних випадків із баштовими кранами. Проте останніми роками кількість аварій різко збільшилася. Наприклад, за період з 2017 по 2019 рік було отримано десять повідомлень про аварії з баштовими кранами [2].

Основними причинами аварій баштових кранів є технічні (56% від усіх аварій), з яких 32% - через несправність технічних пристроїв, 20% - через несправність пристроїв безпеки, і 4% - через неякісне виготовлення технічних пристроїв. Значною залишається кількість аварій, що сталися з організаційних причин (більше 31%), в основному через порушення технологічної та трудової дисципліни, неправильної чи неузгодженої дії некваліфікованого обслуговуючого персоналу (20%), на зовнішні причини припадає понад 10% [3, 4].

Необхідно відзначити, що високі показники аварійності та при експлуатації баштових кранів стійко зберігаються протягом значного періоду спостережень, а останніми роками навіть намітилася тенденція на збільшення, що вводить баштові крани, на сьогоднішній день, у категорію найбільш небезпечними з усіх типів вантажопідіймальних кранів, та у 90% випадків пов'язана з людським фактором [5].

З урахуванням вищевикладеного, роботи, спрямовані на зменшення впливу людського фактора, за рахунок вдосконалення сучасних систем управління кранів для безпечної експлуатації на основі цифрових технологій є актуальними.

Аналіз останніх досліджень

Системи керування баштовими кранами вже розвиваються в цифровому вигляді для більш безпечної роботи, і очікується, що ця тенденція збережеться в майбутньому. Деякі шляхи цифрового розвитку систем керування баштовими кранами включають:

Дистанційне керування. Системи керування баштовими кранами все частіше розробляються для дистанційного керування, що дозволяє операторам керувати краном із безпечної відстані. Системи дистанційного керування зазвичай використовують комбінацію бездротових технологій, таких як радіо або стільникові мережі, і програмного забезпечення, яке дозволяє операторам контролювати та контролювати кран із диспетчерської чи іншого місця. Це зменшує потребу операторів підніматися на вершину крана, щоб контролювати його, що може бути небезпечно, особливо за несприятливих погодних умов[6-8].

Автоматизація. Баштові крани оснащуються системами автоматизації, які дозволяють їм автоматично виконувати певні завдання. Наприклад, деякі баштові крани можна запрограмувати на автоматичне позиціонування, підйом вантажів і навіть регулювання власних протитягів. Системи автоматизації зазвичай використовують комбінацію датчиків, камер і програмного забезпечення для виявлення та реагування на зміни в середовищі крана та умови навантаження. Це зменшує ризик помилки

оператора та може підвищити ефективність, дозволяючи крану працювати безперервно без перерв [9-11].

Датчики та камери. Баштові крани оснащуються датчиками та камерами, які надають дані в реальному часі про продуктивність крана, вантажопідйомність та умови навколишнього середовища. Наприклад, датчики навантаження можуть визначати вагу вантажу, що піднімається, а датчики вітру можуть визначати зміни швидкості та напрямку вітру. Камери можуть забезпечувати пряму трансляцію оточення крана, дозволяючи операторам стежити за потенційними загрозами безпеці. Ці дані можна використовувати для забезпечення безпечної роботи крана та попередження операторів про будь-які потенційні загрози безпеці [12-14].

Аналіз даних. Системи керування баштовими кранами все частіше використовують інструменти аналізу даних для виявлення моделей і тенденцій у роботі кранів. Наприклад, інструменти аналізу даних можна використовувати для моніторингу роботи двигуна, підйомника та гальм крана, а також для виявлення будь-яких потенційних проблем, перш ніж вони стануть серйозними. Аналіз даних також можна використовувати для оптимізації продуктивності крана шляхом визначення найбільш ефективних стратегій підйому та позиціонування, а також оптимального часу для виконання технічного обслуговування та ремонту [15-17].

Інтеграція з іншими системами. Системи керування баштовими кранами інтегруються з іншими системами управління будівельним майданчиком, такими як програмне забезпечення для управління проектами та системи моніторингу безпеки. Наприклад, системи керування баштовими кранами можна інтегрувати з програмним забезпеченням для управління будівництвом, щоб забезпечити ефективне та ефективне використання крана. Системи моніторингу безпеки можна інтегрувати з системами керування баштовими кранами для виявлення потенційних загроз безпеці, наприклад, вхід працівників у робочу зону крана. Це дозволяє краще координувати операції та покращити безпеку на всьому будівельному майданчику [18-20].

Загалом, тенденція в системах керування баштовими кранами спрямована на посилення автоматизації, дистанційного керування та аналізу даних, спрямованих на підвищення безпеки та ефективності.

З цих пунктів ми можемо зробити висновок, що цифровізація систем керування баштовими кранами веде до безпечнішої та ефективнішої роботи кранів у будівельній галузі. Включаючи дистанційне керування, автоматизацію, датчики та камери, аналіз даних та інтеграцію з іншими

системами, системи керування баштовими кранами стають все більш прогресивними та складними.

Висновки

Використання систем дистанційного керування забезпечує більш безпечну роботу крана, зменшуючи потребу операторів фізично підніматися на верхню частину крана. Системи автоматизації знижують ризик помилки оператора та підвищують ефективність. Датчики та камери надають дані в реальному часі про продуктивність крана, вантажопідйомність та умови навколишнього середовища, дозволяючи операторам контролювати потенційні загрози безпеці. Інструменти аналізу даних допомагають оптимізувати роботу крана та виявляти потенційні проблеми до того, як вони стануть серйозними. Інтеграція з іншими системами управління будівельним майданчиком забезпечує кращу координацію операцій і підвищення безпеки на всьому будівельному майданчику.

Загалом цифровізація систем керування баштовими кранами трансформує будівельну галузь шляхом підвищення безпеки та ефективності, зниження ризику аварій та підвищення продуктивності.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. О. Є. Кружилко, В. В. Майстренко, О. О. Атаманюк: *Перспективи використання інформаційної системи обліку баштових кранів*, *Проблеми охорони праці в Україні*, 29, 64-69, http://nbuv.gov.ua/UJRN/pop_2015_29_10, 2015.
2. J. Rosenfeld, *Safety Data About Tower Crane Accidents*, <https://www-rosenfeldinjurylawyers.com.translate.goog/news/what-osh-safety-data-tells-us-about-tower-crane-accidents>, 2021.
3. Fedina E.V., Pushenko S.L. *Analysis of the main causes of injuries when operating tower cranes. Inzhe-nernyi vestnik Dona [Don Engineering Bulletin]*, <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/>, 2012.
4. Polina N. Povetkina, Elena A. Khamidullina *Analysis of emergency and industrial injuries when dealing with loading mechanisms. XXI century. Technosphere safety*. 2018;3(4):40—50. DOI: 10.21285/1814-35202018-4-40-50. Vol. 3, no. 4, 2018
5. Yong Zhou, Zhengkang Fu, Jie Zhang, Wenfeng Li, Chaoyang Gao, *A Digital Twin-Based Operation Status Monitoring System for Port Cranes*, *Sensors*, 10.3390/s22093216, 22, 9, (3216), (2022).

6. Aviad Shapira, Avihu Elbaz, *Tower Crane Cycle Times: Case Study of Remote-Control versus Cab-Control Operation*, *Journal of Construction Engineering and Management*, 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000904, 140, 12, (2014).
7. Huey, John, et al. "Remote manipulation of cranes via the internet." *Proceedings of International Conference on Motion and Vibration Control*, Daejeon, Korea. 2006.
8. Rosenfeld, Yehiel, and Aviad Shapira. "Automation of existing tower cranes: economic and technological feasibility." *Automation in Construction* 7.4 (1998): 285-298.
9. Wang, Jun, et al. "A BIM-based approach for automated tower crane layout planning." *Automation in Construction* 59 (2015): 168-178.
10. Bonnabel, Silvere, and Xavier Claeys. "The industrial control of tower cranes: An operator-in-the-loop approach [applications in control]." *IEEE Control Systems Magazine* 40.5 (2020): 27-39.
11. Lee, Ghang, et al. "A BIM-and sensor-based tower crane navigation system for blind lifts." *Automation in construction* 26 (2012): 1-10.
12. Gutierrez, Ricardo, Monica Magallon, and Danilo Cáceres Hernández. "Vision-based system for 3D tower crane monitoring." *IEEE Sensors Journal* 21.10 (2020): 11935-11945.
13. Yang, Zhen, et al. "Safety distance identification for crane drivers based on mask R-CNN." *Sensors* 19.12 (2019): 2789.
14. Danel, Thomas, et al. "Proposal for tower crane productivity indicators based on data analysis in the era of construction 4.0." *Buildings* 11.1 (2021): 21.
15. Zhong, Dexing, et al. "A practical application combining wireless sensor networks and internet of things: Safety management system for tower crane groups." *Sensors* 14.8 (2014): 13794-13814.
16. Jiang, Ling, et al. "Improvement of random forest by multiple imputation applied to tower crane accident prediction with missing data." *Engineering, construction and architectural management ahead-of-print* (2021).
17. Al-Hussein, Mohamed, et al. "Integrating 3D visualization and simulation for tower crane operations on construction sites." *Automation in construction* 15.5 (2006): 554-562.
18. Li, Yanming, and Chengliang Liu. "Integrating field data and 3D simulation for tower crane activity monitoring and alarming." *Automation in Construction* 27 (2012): 111-119.
19. Wang, Jun, et al. "Integrating building information modelling and firefly algorithm to optimize tower crane layout." *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Vol. 31. IAARC Publications, 2014.

Древетняк С.А., Ковалевський С.В. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ — Тернопіль, Україна)

РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОЇ ТАКЕЛАЖНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИРОБІВ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

У статті запропоновано використання багатооборотного засобу кріплення виробів важкого машинобудування на залізничних вагонах.

The article proposes the use of a multi-turn tool for fastening heavy engineering products to railway wagons.

Найголовнішим аспектом безперервної роботи залізниці — є безпека перевезень. Найбільшу небезпеку представляють вантажні потяги. Недосконалі такелажні системи, помилки навантаження та кріплення вантажів у вагонах, може призвести до аварій, з можливими негативними наслідками. Таки наслідки руйнують логістику країни, та підривають її економіку.

Проаналізувавши відправку продукції залізницею, на прикладі флагмана вітчизняного машинобудування, заводу НКМЗ, приходимо до висновку, що деякі схеми навантаження і кріплення вантажів не змінюються з початку випуску даної продукції. Така ситуація виникає по інерції деяких керівників, які не бажають щось змінювати, і на сам перед завдяки досить консервативним «Технічним умовам навантаження і кріплення вантажів», додаток 3 к СМГС [1, 2]. Технічні умови, хоча й змінюються та доповнюються кожного року, але не змінюються кардинально для виробів важкого машинобудування на протязі десятиріч. Зокрема такий консерватизм присутній у главі 3 п.10 технічних умов навантаження і кріплення вантажів «Розміщення та кріплення металевих прокатних валків» [1]. Такі застарілі системи не можуть забезпечувати високу надійність кріплення вантажів, і як наслідок не забезпечують безпеки перевезень.

Аналізуючи продукцію НКМЗ бачимо, що найбільшою проблемою є відправка прокатних валків масою до 6 – 7 т. При відвантаженні валків згідно глави 3 п.10 технічних умов навантаження і кріплення вантажів використовуються великі обсяги різноманітного пиломатеріалу. Це в свою чергу призводить до трудомісткості робіт по навантаженню та кріпленню прокатних валків. Також слід відмітити, що використання великих обсягів деревини (яка після вивантаження утилізується) ставить під загрозу екосистеми цілих регіонів. Більш того, деревина, що використовується для

навантаження і кріплення вантажів, має пройти санітарну обробку, що тягне за собою додаткові витрати.

Прокатні валки масою до 6 – 7 т. мають дрібносерійне виробництво. Але якщо брати всю номенклатуру таких валків, то обсяги продукції, що випускається можна порівнювати з серійним виробництвом. В таких умовах необхідна розробка інноваційної такелажної системи, в якій використання деревини зведеться до мінімуму, а в ідеальному випадку деревина не буде використовуватися зовсім.

Якщо шукати альтернативу деревини та металу, можна побачити такі пропозиції у Петербурзького державного університету шляхів сполучення [3]. Це такі засоби:

- пневмооболонка – простий, універсальний засіб використовуваний комплексно з іншими засобами кріплення, який фіксує вантаж заповнюючи технологічні пустоти;

- поліестерова стрічка – являє собою набори поліефірних тканих стрічок різної ширини та міцності на розрив;

- антивандальна стрічка – має ткану поліефірну стрічку різної ширини та міцності з вплетеними по краях основи або по всій ширині сталеві троси різного діаметру.

Пневмооболонки та подібні стрічки, що пропонує Петербурзький університет у Європі використовують досить тривалий час, для кріплення навіть важких габаритних та негабаритних вантажів. Але на мою думку при розробці оптимальної такелажної системи, використання таких засобів як пневмооболонки та поліестерові стрічки недоцільно.

Розробка оптимальної такелажної системи для виробів важкого машинобудування, що переміщується залізничним транспортом, дає розуміння про необхідність диференційованого підходу до вирішення проблем розміщення та кріплення вантажу в різних типах рухомого складу. При виборі способу кріплення для забезпечення безпеки вантажу необхідно враховувати стан парку вагонів.

Оскільки розробка оптимальної такелажної системи ставить мету не тільки підвищення безпеки перевезень, а і досягнення економічної ефективності підприємства — то така система має бути побудована як багатооборотний засіб кріплення. Звісно такий засіб повинен забезпечувати надійність кріплення, як вантажу до засобу, так і самого засобу до вагона. Таку надійність можливо отримати при використанні металу, у якості матеріалу для виготовлення багатооборотного засобу кріплення. Звісно, що засіб з металу буде мати велику вартість виготовлення. Але ця вартість швидко окупиться, завдяки багаторазовому використанню засобу. При

розробці багатооборотного засобу для кріплення, універсальним — швидкість окупності зростає.

Враховуючи вище сказане вважаю, що розробка оптимальної такелажної системи для виробів важкого машинобудування, зокрема прокатних валків масою до 6 – 7 т, має базуватися на багатооборотному засобі кріплення. Універсальний багатооборотний засіб кріплення надасть наступні переваги:

- знизить використання деревини до мінімуму;
- знизить витрати на метал (витрати відбудуться одноразово);
- знизить використання людино-годин на навантаження і кріплення вантажу;
- знизить залежність від стану рухомого складу.

Переваги використання багатооборотних засобів кріплення (в особливості якщо засіб буде будуватися на власних вагонах) приведуть до зростання економічної ефективності, яка сприятиме зниженню собівартості виробів важкого машинобудування. Це вплине на конкурентну спроможність підприємства, яка надасть поштовх до його розвитку, та буде сприяти економічному розвитку України.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Додаток 3. Том 1. URL: <https://osjd.org/api/media/resources/1430?action=download>
2. Додаток 3. Том 2. URL: <https://osjd.org/api/media/resources/1428?action=download>

Дук В.Г., Ковалевський С.В. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

РОЗРОБКА І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ З ВДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДАННЯ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ (НА ПРИКЛАДІ БАГАТОЛЕЗОВИХ ФРЕЗ)

В роботі приводяться результати дослідження по вирішенню проблеми зносу пластин для фрез. Показаний новий спосіб комплектації ріжучих пластин при селективному складанні фрез шляхом сортування і підбору комплектів пластин, при якому підбор комплектів здійснюють методом акустичної діагностики.

The paper presents the results of research on solving the problem of wear of milling cutters. A new method of assembling cutting plates during selective assembly of milling cutters by sorting and selecting sets of plates is shown, in which the selection of sets is carried out by the method of acoustic diagnostics.

Вибір твердосплавних пластин для фрез є важливою складовою процесу підготовки інструменту до роботи. З правильним відбором пластин можна підвищити ефективність та якість обробки матеріалу, а також зменшити витрати на заміну твердосплавних пластин та ремонт інструменту.

Однією з головних не вирішених проблем при експлуатації фрез зі змінними твердосплавними пластинами, залишається нерівномірне зношення пластин. Яке призводить до ряду негативних наслідків. Часто в роботі одна з пластин може вийти з ладу або скоріше зноситися відносно інших пластин. Тим самим і у інших пластин починається зношення, відколи і можуть бути перенагрівання і інші проблеми.

На рисунку 1 представлено нерівномірне зношення пластин на фрезі зі змінними твердосплавними пластинами на виробництві, на рисунку добре візуально видно випадок нерівномірного зносу пластин (рис.1).



Рисунок 1 – Фреза з не рівномірним зносом пластин

Для більш детального огляду нерівномірної роботи фрези, твердосплавні пластини були зняті після фрезерування і представленні на рис.2.



Рисунок 2 – Пластини після фрезерування

Після проведення аналізу літературних джерел, інформації з різних підприємств, які стикаються з такою проблемою на виробництві, було зроблено припущення що невелика різниця у фізичних властивостях пластин з однієї партії, по різному зношується. Що призводить до ряду проблем. Тому для вирішення проблеми зносу пластин для фрез було пропонується використовувати новий спосіб комплектації ріжучих пластин при селективному складанні фрез шляхом сортування і підбору комплектів пластин, при якому підбір комплектів здійснюють методом акустичної діагностики.

В ході проведення експериментальних досліджень, по групуванню пластин, було запропоновано робити розподіл показників ентропії з урахуванням форми АЧХ. Після зняття частотної характеристики пластин і обробки даних, пропонується робити поділ за допомогою програмі в Excel.

Для зняття характеристики пластин, використовується спеціальний пристрій з використанням п'єзо випромінювача і п'єзо приймача, між ними розміщується твердосплавна пластина, для фіксації і однакових умов зняття показників, пропонується для фіксації використовувати неодимові магніти. Установка діагностичного пристрою показана на рис.3 [1, 2].

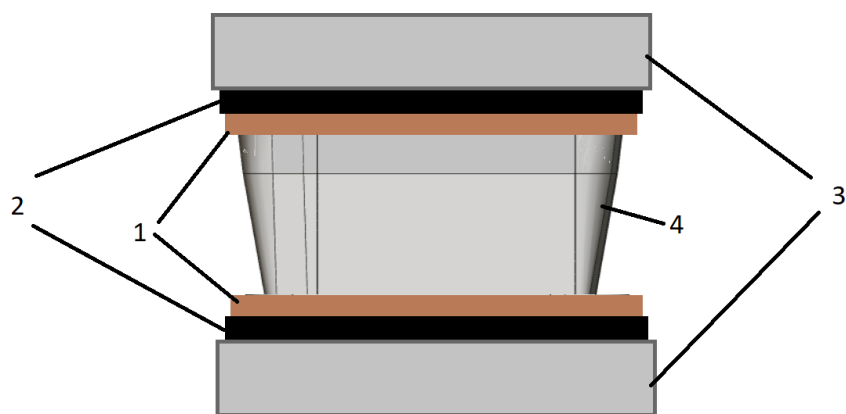


Рисунок 3 – Діагностичний пристрій

1. П'єзо випромінювач і п'єзо приймач; 2. Діелектрична прокладка; 3. Неодимові магніти; 4. Твердосплавна пластина.

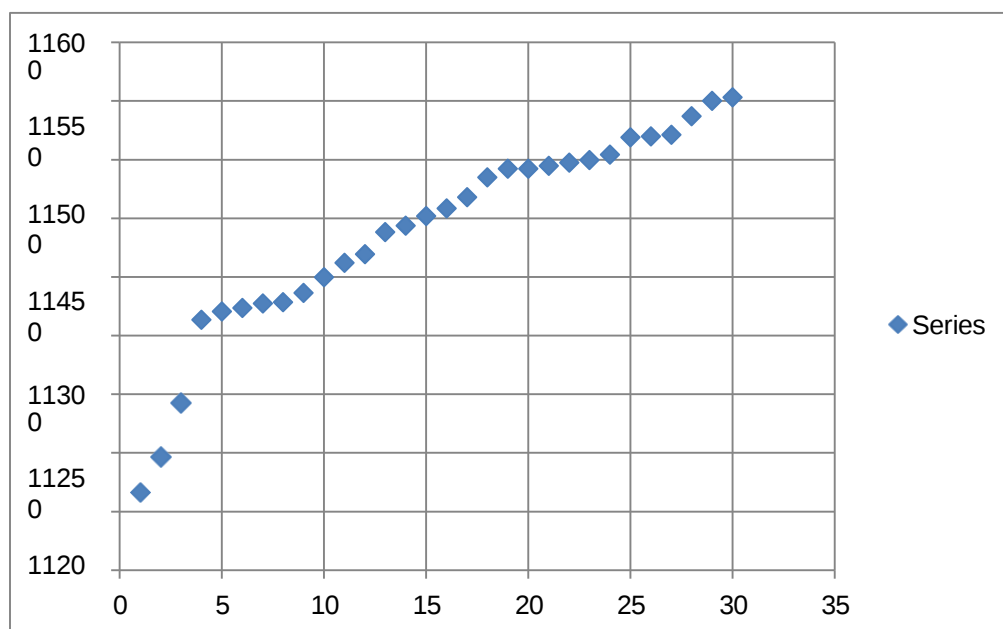


Рисунок 4 – Графік ронжованих показників ентропії з урахуванням форми АЧХ

Для експерименту було взято 30 пластин однакової геометричної форми і конфігурації, з однієї партії. Завдяки знятим частотним характеристикам можна поділити ці пластини на групи, в яких максимально схожі характеристики. Однакові пластини навіть з однієї партії можуть мати різницю в мікронах, яку візуально неможливо побачити. Кожна точка на графіку (рисунок 4) відповідає номеру пластины з партії. По графіку (рис.5) можна поділити пластини по групам, наприклад для фрези з 3 пластинами.

Для цього необхідно підбирати групи пластин по 3, таким чином вийде 10 груп з максимально подібними пластинами (рис. 5).

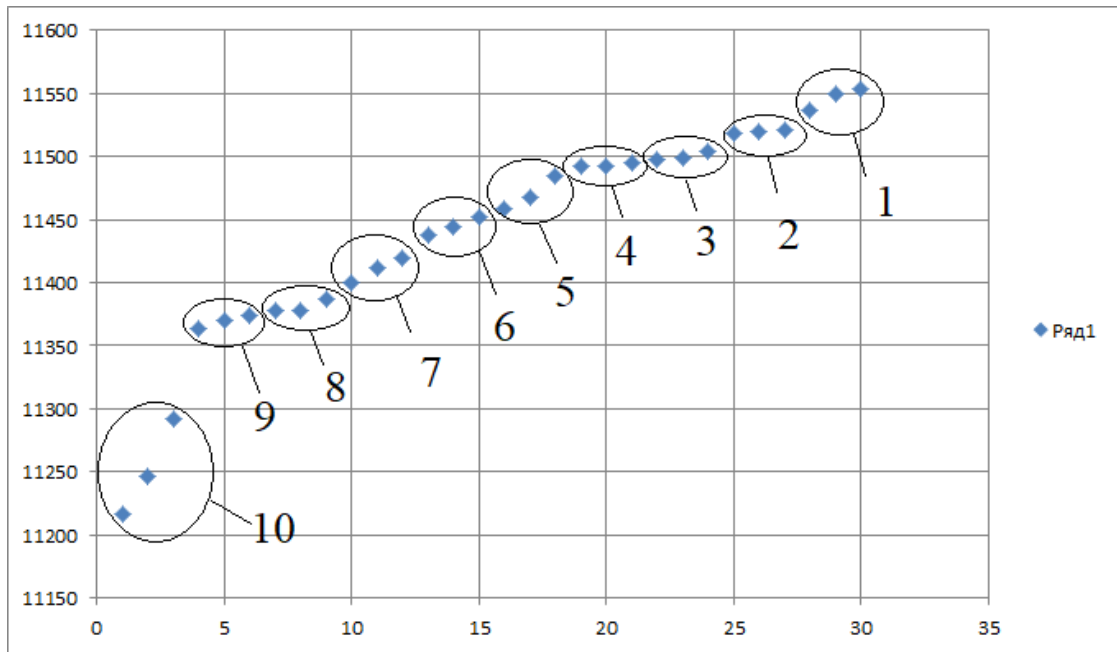


Рисунок 5 – Поділення твердосплавних пластин

На рисунку 5 показаний поділ твердосплавних пластин по групам:

- пластини 1 групи: №7,12, 17;
- пластини 2 групи: №4,2, 15;
- пластини 3 групи: №27,20, 23;
- пластини 4 групи: №13,6, 11;
- пластини 5 групи: №24,29, 9;
- пластини 6 групи: №30,3, 8;
- пластини 7 групи: №16,1, 22;
- пластини 8 групи: №18,10, 28;
- пластини 9 групи: №19,21, 25;
- пластини 10 групи: №5,14, 26.

Такий підхід є ефективним для фрез тільки з 3 пластинами. Для ефективного використання отриманих даних, пропонується поділити графік по кластерному принципу, поділити графік на рівні частини, провести лінії для ділення пластин по групам. Після поділу можна підбирати пластини під різні фрези з різною кількістю пластин. Головним критерієм правила відбору пластин різниця між нижніми і верхніми значеннями повинні бути приблизно однаковими (рис.6).

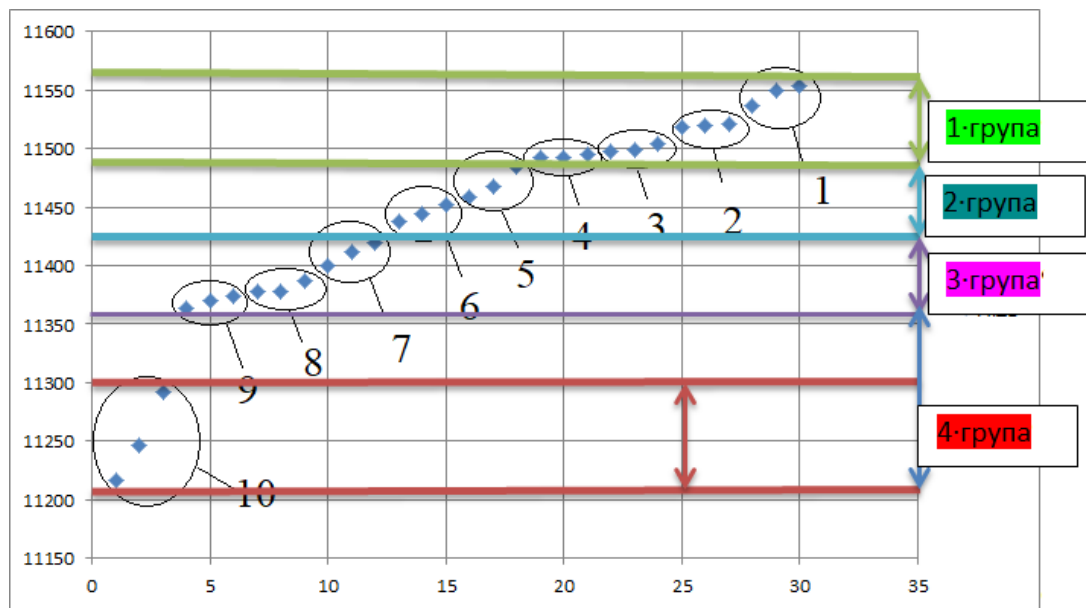


Рисунок 6 – Поділенні на групи твердосплавні пластини по показникам ентропії з урахуванням форми АЧХ

Для ефективного використання отриманих даних, пластини були поділенні на 4 групи. Завдяки такому поділу, можна підбирати пластини для фрез з різної кількістю пластин. В першу групу увійшло 12 пластин, цю групу можна використати для підходящої фрези, далі в 2 групу увійшло 6 пластин, в третю групу увійшло 9 пластин. Такий поділ дозволяє обирати групи пластин для відповідних фрез, в яких вони будуть максимально ефективно використовуватися. В 4 групу увійшли пластини з показниками які сильно відрізняються від інших груп. Такі пластини не можна використовувати в комбінації з іншими групами, такі пластини і призводять до швидкого зносу, браку, сколів в фрезах. Але, вони мають більшу подібність одна до одної, тому їх можна використовувати окремо, наприклад в фрезах з 3 пластинами. Також, можна відкладати такі пластини, і знаходити схожі з ними пластини з інших партій.

Такий відбір комплектів пластин по їх інтегральним характеристикам для установки на фрезу дозволить збільшити стійкість фрези, а також стабільність різання, забезпечуючи рівномірний знос всіх пластин комплекту. По схожій методиці авторами [3-5] було проведено дослідження в ході якого випробування кінцевих фрез показали зростання стійкості збірних фрез на 31-35%.

Висновки

Експериментальне дослідження мало на меті згрупувати твердосплавні пластини для виявлення тих, що мають подібні характеристики. У дослідженні брали участь 30 пластин однакової геометрії та конфігурації з однієї партії. В основі групування лежить схожість характеристик пластин,

які можуть відрізнятися на мікрони навіть усередині партії. Потім згруповані пластини можна використовувати для різних ріжучих інструментів з різною кількістю пластин. Головний критерій вибору пластин – різниця між нижнім і верхнім значеннями повинна бути приблизно однаковою. Розподіл пластин на чотири групи призвів до ефективного використання даних, і пластини можна вибрати для застосування різних інструментів. Таким чином, запропонований підхід є ефективним для спрощення процесу групування твердосплавних пластин.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ваврук Є. Я. Моделі контролю і діагностики систем опрацювання сигналів / Є. Я. Ваврук, В. А. Коваль // Зб. наук. праць "Моделювання та інформаційні технології". – Інститут проблем моделювання в енергетиці НАНУ, 2006 – Вип. 35. – С. 131–139.
2. An information-measuring system for an acoustic emission signal selection and processing / O. Bukhalo, B.Klym, E.Pochapsky et al. // 15th World conf. On Non-Destr. Testing (15–21 October 2000 in Roma) 2000. – P. 78–82.
3. Журавльов С.В., Ободовський Б.М., Яременко М.А. Впровадження технології АЕ моніторингу на ОПЗ. Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2021. 3, 26–32.
4. Чен Ц., Ян М., Лін Ц. "Дослідження твердосплавних пластин фрез з використанням акустичної діагностики та методом найменших квадратів". Матеріали Міжнародної конференції з машинобудування «ІСМ», 2021, с. 327-332.
5. Дмитрієв В.О., Маркова Л.М. "Аналіз впливу технологічних параметрів на АЧХ твердосплавних пластин фрез". Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції "Інноваційні технології в машинобудуванні", 2020, с. 86-91.
6. Мороз І. В. Критерії оцінки відмовостійкості систем опрацювання сигналів / І. В. Мороз, Є. Я. Ваврук // Вісник НУ "Львівська політехніка", комп'ютерні системи та мережі. – 2014. – № 806. – С. 175–180.

Слін В.В., Медведєв В.В. (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна)

МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Досліджено такий метод обробки деталей авіаційної промисловості як магнітно-імпульсна обробка, а також розглянуті його переваги та недоліки. Виявлено, що за допомогою МІО можливо покращення механічних властивостей матеріалів, зменшення дефектів та напружень, підвищення точності обробки. Одночасно вказано, що для деталей авіаційної промисловості в деяких випадках виявляється навпаки зменшувати довговічність. Запропоновані деякі шляхи усунення недоліків при обробці титанових деталей, які широко використовуються у авіаційній промисловості.

Such a method of processing parts of the aviation industry as magnetic pulse processing was studied, as well as its advantages and disadvantages were considered. It was found that with the help of MIO it is possible to improve the mechanical properties of materials, reduce defects and stresses, and increase the accuracy of processing. At the same time, it is indicated that for parts of the aviation industry, in some cases, it turns out on the contrary to reduce durability. Some ways of eliminating shortcomings in the processing of titanium parts, which are widely used in the aviation industry, are proposed.

В останні роки, у зв'язку з постійним підвищенням вимог до ефективності та якості виробництва в авіаційній промисловості, стало дедалі більш актуальним застосування нових технологій обробки матеріалів. Одним з перспективних напрямків є магнітно-імпульсна обробка, яка забезпечує високу точність обробки та покращення механічних властивостей матеріалів.

Магнітно-імпульсна обробка (МІО) – це процес, що базується на використанні сильних електричних струмів та магнітного поля для впливу на металеві деталі. В процесі МІО використовуються спеціальні обладнання, які генерують електричні імпульси, що створюють магнітні поля в деталях. Це дозволяє змінювати структуру матеріалів та властивості їх поверхні, що позитивно впливає на якість та міцність деталей.

Однією з головних переваг МІО є можливість обробляти деталі різних конфігурацій та розмірів, включаючи великі та складні деталі, що не можуть бути оброблені за допомогою інших технологій. Крім того, МІО може застосовуватися для обробки різних матеріалів, включаючи сталі, алюміній, титан та інші метали.

Основні ефекти, які досягаються під час МІО, включають:

- Покращення механічних властивостей матеріалів, зокрема збільшення міцності, твердості та зносостійкості деталей.
- Зменшення дефектів та напружень в матеріалах, що дозволяє знизити ризик пошкодження та поломки деталей.
- Підвищення точності обробки, що дозволяє покращити якість та тривалість експлуатації деталей.

Окрім того, МІО може бути використана для ряду інших застосувань в авіаційній промисловості, включаючи вирівнювання напружень, усунення дефектів та зміцнення з'єднань.

Магнітно-імпульсна обробка застосовується в авіаційній промисловості для обробки різних деталей, включаючи турбіни, лопаті, шестерні, шпинделя та інші. Ця технологія дозволяє отримати деталі з підвищеною міцністю, зносостійкістю та тривалістю експлуатації, що робить їх більш надійними та безпечними для використання.

Однак, варто зазначити, що МІО вимагає відповідної кваліфікації операторів та дотримання певних технічних вимог та стандартів безпеки. Для успішної реалізації МІО важливо правильно визначити параметри обробки, такі як інтенсивність магнітного поля, частоту електричних імпульсів, тривалість обробки та інші. Невірно вибрані параметри можуть призвести до погіршення властивостей матеріалу та навіть до його пошкодження.

Загалом, магнітно-імпульсна обробка є перспективною технологією для вирішення проблем, пов'язаних з виробництвом в авіаційній промисловості. Вона дозволяє досягти покращення якості та міцності деталей, зменшити витрати на їх виготовлення та збільшити ефективність виробництва.

Дослідження з використанням МІО деталей авіаційної промисловості вже були проведені рядом наукових груп та компаній. Нижче наведені деякі приклади таких досліджень та публікацій.

- Дослідження впливу МІО на механічні властивості сталі: у статті "Effect of Magnetic Pulse Treatment on Mechanical Properties of Steel" [1] було досліджено вплив МІО на механічні властивості сталі 45. Виявлено, що МІО забезпечує збільшення міцності та зносостійкості сталі.
- Публікації про застосування МІО в авіаційній промисловості: у статті "Magnetic Pulse Treatment for Aerospace Applications" [2] автори розглянули питання застосування МІО в авіаційній промисловості для

підвищення міцності та зносостійкості деталей, зменшення ваги літаків та збільшення їх ефективності.

- Дослідження впливу МІО на стійкість до корозії: у статті "Effect of Magnetic Pulse Treatment on Corrosion Resistance of AZ91 Magnesium Alloy" [3] було досліджено вплив МІО на стійкість до корозії магнієвого сплаву AZ91. Виявлено, що МІО поліпшує корозійну стійкість сплаву.

- Дослідження впливу параметрів МІО на властивості матеріалів: у статті "Influence of Magnetic Pulse Treatment Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of AlSi7Mg0.3 Alloy" [4] було досліджено вплив різних параметрів МІО на мікроструктуру та механічні властивості сплаву AlSi7Mg0.3. Виявлено, що оптимальні параметри МІО забезпечують підвищення міцності та зносостійкості сплаву.

Одна з переваг МІО полягає у тому, що вона дозволяє змінювати мікроструктуру матеріалу без зміни його хімічного складу. Це може бути особливо корисно у випадку з металами, які мають високу хімічну стійкість, але низьку міцність або зносостійкість.

Дослідження також показують, що МІО може покращувати стійкість до корозії та зменшувати витрати на обробку деталей. Крім того, застосування МІО дозволяє досягати більшої точності обробки та зменшувати кількість відходів виробництва.

Незважаючи на потенційні переваги МІО, деякі питання щодо цієї технології потребують додаткових досліджень. Наприклад, необхідно вивчити вплив МІО на довговічність деталей, а також на економічні показники виробництва.

Хоча МІО відома своїми потенційними перевагами, які ми описали в попередніх абзацах, вона також може мати негативний вплив на деякі властивості деталей, що виготовляються для авіаційних конструкцій.

Одним з можливих негативних ефектів МІО є вплив на стійкість деталей до атомного руйнування. Вчені Сейдаметова С.В. та Лоскутова С.В. [5] показали, що МІО може зменшувати довговічність деяких матеріалів, зокрема титану, який широко використовується в авіаційній промисловості. Це може бути особливо проблематичним для деталей, які використовуються в критичних структурах.

У 2016 році Мінський державний авіаційний коледж провів дослідження впливу магніто-імпульсної обробки на деталі авіаційної промисловості. У дослідженні були використані деталі з алюмінієвих та

титанових сплавів, які піддалися МІО з використанням різних параметрів обробки.

Дослідження також показало, що МІО може призводити до виникнення тріщин та дефектів на деталях, особливо на деталях з титанових сплавів. Крім того, було виявлено, що МІО може викликати деформацію тонких деталей та деталей з отворами, що може призвести до зниження їх міцності та необхідних функцій.

Магнітно-імпульсна обробка (МІО) титанових деталей може стати проблемою через високу міцність та інші характеристики титану, такі як низька електропровідність та висока температура плавлення. Однак, існують деякі шляхи вирішення цих проблем:

1. Використання спеціальних електромагнітів: для МІО титанових деталей можна використовувати спеціальні котушки з більшою кількістю витків, щоб забезпечити достатнє магнітне поле для обробки.
2. Використання більшої енергії: можна збільшити енергію МІО, щоб забезпечити достатню силу для обробки титанових деталей.
3. Використання спеціальної конструкції: МІО можна здійснювати за допомогою спеціальної конструкції котушок, що дозволяє забезпечити оптимальне магнітне поле для обробки титану.
4. Використання спеціальних режимів: для МІО титанових деталей можна використовувати спеціальні режими обробки, які дозволяють забезпечити оптимальну силу і час для досягнення найкращих результатів.
5. Використання спеціальних налаштувань: можна налаштувати параметри МІО, щоб забезпечити найкращі результати обробки титану.
6. Використання додаткових методів обробки: можна комбінувати МІО з іншими методами обробки, такими як фрезерування, свердління або шліфування, щоб досягти найкращих результатів.
7. Використання новітніх технологій: на сьогоднішній день існують новітні МІО, які використовуються для обробки титанових деталей, наприклад, методики, які використовують новітні технології, можуть включати в себе використання більш потужних і прецизійних котушок, оптимізацію параметрів МІО та використання комп'ютерного керування для досягнення оптимальної обробки.
8. Використання спеціальних матеріалів: для МІО титанових деталей можна використовувати спеціальні матеріали для виготовлення котушок, що дозволяють досягнути кращих результатів обробки.

9. Використання досвіду та експертизи: досвід та експертиза в області МІО можуть допомогти вирішити проблеми з обробкою титанових деталей та забезпечити досягнення найкращих результатів.

Усі ці методи можуть допомогти вирішити проблему МІО титанових деталей та забезпечити оптимальну якість обробки.

Отже, метою моєї майбутньої наукової роботи є пошук вирішення проблем МІО задля удосконалення та актуалізації цього методу обробки деталей. Для цього плануються проводитися дослідження та симуляції магнітно-імпульсної обробки деталей, за спостереженнями яких можна буде встановити різні шляхи вирішення проблем застосування МІО. Якщо шляхи усунення недоліків МІО будуть успішними, МІО може стати однією з ключових технологій в авіаційній промисловості у майбутньому.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Бенз І. *Effect of Magnetic Pulse Treatment on Mechanical Properties of Steel / Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2021.
2. Деніел Д. *Magnetic Pulse Treatment for Aerospace Applications / ESAFORM*, 2018.
3. Амадей А. *Effect of Magnetic Pulse Treatment on Corrosion Resistance of AZ91 Magnesium Alloy / Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2013.
4. Ванг Х. *Influence of Magnetic Pulse Treatment Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of AlSi7Mg0.3 Alloy / MDPI*, 2019.
5. Сейдаметов С. В. *Вплив імпульсної електромагнітної обробки на структурні перебудови сплаву титана BT3-1 / С.В.Сейдаметов, С.В.Лоскутов // Журнал фізики та інженерії поверхні*, 2016.
6. Арзамасов Б.Н. *Конструкційні матеріали / Мир*, 1965.
7. Батаронов І.Л. *Механізми електропластичності / Соросовський науковий журнал*, 1999.

Захаров А.В., Рибалко І.М. (Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна), **Сайчук О.В.** (Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж імені В.І. Вернадського, м. Харків, Україна).

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОЧИЩЕННЯ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ВІД НЕМЕТАЛЕВИХ ДОМІШОК ПІД ЧАС ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Процесу видалення неметалевих домішок при обробці металу шлаками присвячено велику кількість наукових досліджень, у результаті яких визначено умови максимального видалення з металу шлакових домішок. Проте механізм цього процесу загалом залишається нез'ясованим. Одні дослідники вважають, що включення видаляються за рахунок спливання їх у рідкій металевій ванні, інші - що їх видалення відбувається на конусі електрода, що плавиться, причому інтенсивність рафінування визначається швидкістю розчинення частинок, що виходять на поверхню розділу метал - шлак. В даній роботі пояснюються особливості процесів рафінування на межі метал-шлак і механізм трансформації неметалевих включень при електрошлаковому наплавленні металу. Зроблено висновок про підвищення чистоти металу, зменшення та зміну складу включень за рахунок зниження кисню у флюсі і металі, при протіканні окислювально-відновної реакції в рідкій ванні.

A large number of scientific studies have been devoted to the process of removing non-metallic impurities during metal processing with slags, as a result of which the conditions for maximum removal of slag impurities from metal have been determined. However, the mechanism of this process in general remains unclear. Some researchers believe that the inclusions are removed due to their floating in a liquid metal bath, others - that their removal takes place on the cone of the melting electrode, and the intensity of refining is determined by the rate of dissolution of particles that come to the surface of the metal - slag interface. This paper explains the features of refining processes at the metal-slag interface and the mechanism of transformation of non-metallic inclusions during electroslag deposition of metal. It was concluded that the purity of the metal increases, the composition of inclusions decreases and changes due to the reduction of oxygen in the flux and metal, during the redox reaction in the liquid bath.

Деякі дослідники вважають, що в процесі рафінування металу грають велику роль міжфазні явища на межі метал-шлак-включення. Інші дослідники роблять припущення, що видалення включень може залежати від усіх перерахованих вище факторів відповідно до умов процесу. У цій статті робиться спроба на базі літературних даних та експериментальних досліджень багатьох авторів визначити особливості рафінування металу при електрошлаковому наплавленні (ЕШН).

В багатьох роботах було показано, що у процесі ЕШН неметалеві включення значно трансформуються. У складі включень з'являються оксиди, присутні у шлаку. Так, при переплаві на флюсі АНФ-6, вміст глинозему в

металі підвищується до певного рівня незалежно від складу включень у вихідному металі. За даними досліджень, включення в металі, переплавленому на шлаку, відповідному системі $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ у переважній більшості складаються з корунду, хоча у вихідному металі таких включень виявлено не було [1, 2].

При переплаві на флюсі системи $\text{CaF}_2\text{-SiO}_2$ у металі виявлено включення на основі кремнезему. За наявності шлаків інших оксидів, наприклад, CaO , MgO , Cr_2O_3 вони неминуче виявляються в неметалевих включеннях. В результаті процесу ЕШН змінюється форма і склад включень, а також їхні розміри. При зменшенні загального вмісту включень у злитку їх кількість може перевищувати кількість включень в електроді і краплі, що проходить через шлак. Число окисних включень в зливку значно більше, ніж у краплі і вихідному металі, хоча відсотковий вміст їх менше. Таке подрібнення включень, як і зміна хімічного складу, не пояснюється жодною з існуючих на даний час гіпотез, що належать до механізму видалення включень при ЕШН [3, 4].

Зміна форми та складу включень була неодноразово відзначена і при обробці металу синтетичними шлаками. Зокрема, при контакті з вапняно-глиноземистим шлаком підвищується вміст глинозему у включеннях, у разі добавок у шлак двоокису титану виявляються окисли та нітриди титану. Перелічені факти можуть говорити про те, що вміст окисних включень у сталі, обробленої шлаком, визначається не тільки і не стільки видаленням вихідних включень, скільки складною взаємодією металевого розплаву зі шлаком. Зникнення в злитках ЕШН включень вихідного металу може відбуватися, або за рахунок їх повного видалення в шлак, або за рахунок розчинення їх у розплавленому металі. Швидше за все, йдуть обидва процеси, в результаті яких у рідкій металевій ванні включення як такі не існують [5].

Вони знаходяться в розчиненому стані, дисоційовані на кисень і елемент – розкислювач. Деякі факти вказують на правомірність цього припущення. Вміст кисню в промисловому металі часто буває близьким до рівноважного. Як приклад розглянемо сталь 09Г2С. Вміст алюмінію, який визначає вміст у цій сталі кисню, зазвичай становить 0,021-0,052 %. У промислових умовах вміст, кисню при такому вмісті алюмінію становить близько 0,003-0,004 %, що можна вважати порівняним з рівноважними значеннями, інакше кажучи весь кисень, що є в металі, знаходиться в рівноважному стані. При дослідженні розподілу включень у злитку сталі, розкисленої алюмінієм, чи виявили, що алюмінієві включення практично цілком розташовуються в міждендритних областях. Інакше кажучи, вони

виділяються під час затвердіння останніх порцій металу, збагачених лікватами [6].

Якби включення існували в рідкому металі, якась частина їх, безумовно, розташовувалася в осях дендритів. Роздроблення включень в результаті електрошлакового переплаву добре пояснюється саме тим, що в рідкому металі вони не існують. Включення випадають при охолодженні і кристалізації зливка, а оскільки ці умови при електрошлаковому наплавленні відрізняються від умов кристалізації звичайного злитка, то розміри включень різко відрізняються в тому і іншому випадку навіть при одному і тому ж вмісті кисню і розкислювачів. У процесі ЕШН йдуть окислювально-відновні реакції, що призводять до окислення ряду елементів металу та відновлення елементів шлаку.

Особливість електрошлакової наплавки, при якій взаємодія проходить у різних температурних полях, по-своєму впливає на ці реакції, заплутуючи загальну картину процесу. На поверхні розділу конусу електроду що витрачається - шлак температура близька до температури плавлення металу, на поверхні розділу шлак - рідка металева ванна температура досягає 1820-1930°C. При підвищеній температурі помітно розвиваються реакції відновлення таких елементів з шлаку, як алюмінію, кальцію, магнію та ін.

Відновлення алюмінію кремнієм з шлаку типу АНФ-6 при температурі 1820°C майже в 3,2 рази вище, ніж при температурі 1620°C. Необхідно відзначити, що збільшення вмісту алюмінію, або інших елементів з підвищеною спорідненістю до кисню не знижує концентрації останнього, тому що вона визначається тими ж елементами, які відновлюють алюміній.

У міру наплавлення зливка метал охолоджується і за рахунок температурних ефектів відбувається асоціація оксидів. При цьому елементи з більшою спорідненістю до кисню, що мають більший температурний коефіцієнт реакції і розкислення, що з'єднуються з киснем в першу чергу. окисленого кремнієм на флюсі АНФ-6, випадають оксиди алюмінію. Випадання з розчину неметалевих включень може суттєво гальмуватися поверхневими явищами, зокрема, високим міжфазним натягом на межі розділу метал — глинозем. Тому включення глинозему повинні найбільш інтенсивно виділятися, або в комплексі про інші включення (CaO, MgO, SiO), або при кристалізації металу, тобто в умовах, коли є якісь підкладки для виділення глинозему [7].

Аналогічним чином може йти взаємодія металу зі шлаками іншого складу, наприклад зі шлаком типу АНФ-7, АНФ-9 та інші. У цьому випадку в складі включень і з'являються оксиди кальцію, або магнію, металу, наприклад, при наплавленні металу, розкисленого кремнієм, на флюсі АНФ-6

відбувається відновлення оксидів алюмінію з шлаку. На початку плавки цей процес інтенсифікується малою активністю кремнезему шлаку. Зміна складу шлаку відбивається на складі неметалевих включень. Поява в металі оксидів шлаку в загальному вигляді може бути виражена законом розподілу, згідно з яким «відношення концентрації компонента у двох рівноважних рідких фазах є постійною величиною при різних його концентраціях». Розподілена речовина внаслідок асоціації або дисоціації може мати в різних розчинниках неоднаковий розмір часток [8].

На підставі співвідношень, у всіх випадках концентрація розчиненого елементу в одній рідині визначається його концентрацією в іншій. Це може знаходити відображення при оцінці вмісту тих самих компонентів, розчинених у шлаку і металі. Оскільки окисли, розчиняючись у металі, дисоціюють на розкислювач і кисень, то константу реакції розкислення заліза, або його сплавів розкислювачем металу. У переважній більшості випадків з підвищенням температури в металі збільшується вміст розчиненого оксиду Me_xO_y і відповідно підвищується вміст кисню.

При зниженні температури відбувається зворотне явище – розчинений у металі оксид випадає у вигляді неметалевих включень. Крім температурного фактору, розчинність окислу може визначатися розчинністю його металевої складової, наприклад, обмежена розчинність кальцію в сплавах на залізній основі є причиною дуже низького коефіцієнта розподілу і, отже, призводить до низького вмісту кисню за рахунок перерозподілу його між металом і шлаком, якщо в останньому немає інших оксидів.

Висновки

Підсумовуючи існуючі думки та факти, що стосуються очищення металу від неметалевих включень у процесі обробки його шлаком, приходимо до висновку, що рафінування розплав здійснюється за рахунок зниження в металі кисню. Вміст кисню в металі визначатиметься активністю компонентів, що беруть участь у реакціях розкислення. При розкисленні вихідного металу у ванні електродугової, або мартенівської печі встановлює певну рівновагу між елементом розкислювача, киснем і активністю оксиду, що утворюється при розкисленні. При подальшій обробці металу шлаком, наприклад, при ЕШН на межі розділу шлак - метал реакція розкислення отримає подальший розвиток, що визначається складом шлаку. Звідси і зменшення рафінування металу при ЕШН у разі застосування шлаків з оксидами, ідентичними оксидам неметалевих включень у вихідному металі, наприклад, якщо метал, розкислений алюмінієм, переплавляється на флюсі

АНФ-6, ступінь рафінування його буде меншим, ніж при переплаві на іншому флюсі.

Природно, якщо використовувати шлаки з мінімальним вмістом Me_xO_y або шлаки, що різко зріджують концентрацію Me_xO_y , наприклад, основні шлаки при наплавленні металу, розкисленого кремнієм, то реакція зрушуватиметься у бік зниження кисню в металі. Таким чином, включення, що виявляються в електрошлаковому металі, виділяються з розплаву в процесі охолодження та кристалізації рідкої металевих ванни. Забрудненість металу неметалевими включеннями визначається вмістом кисню в металі, яке, своєю чергою, залежить від процесів взаємодії металу і шлаку. Склад неметалевих включень в електрошлаковому металі визначається складом окисних складових шлаку, що використовується для наплавлення.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Рибалко І.М., Захаров А.В., Фізико-хімічні властивості флюсів для електрошлакового наплавлення. Наукові вісті Дніпровського університету. 2022. №23. С. 1-5.

Зубарєв П.В., Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

МАГНІТНО РЕЗОНАНСНЕ ОБ'ЄМНЕ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Запропоновано розвиток метода магнітно резонансного впливу на фізико-механічні властивості матеріалів стосовно технології виготовлення зубчастих прямозубих коліс.

The development of the method of magnetic resonance influence on the physico-mechanical properties of materials in relation to the technology of manufacturing spur gears is proposed.

Традиційні методи зміцнення зубчастих коліс мають недоліки, які пов'язані з утворенням напружень між ділянками зміцнених і незміцнених часток зубчастих коліс, що також, погіршують працездатність цих виробів машинобудування. Таким чином, пошук нових, в тому числі – енергозберігаючих методів об'ємного зміцнення робочих ділянок зубчастих коліс може стати кроком у покращенні якості та тривалості використання зубчастих коліс [1, 2].

Авторами робіт [3, 4, 5] були запропоновані нові методи об'ємного впливу на фізико-механічні властивості виробів машинобудування, що ґрунтуються на взаємодії рівномірних магнітних полів, які пронизують об'єм цих виробів, з їх вібрацією при малих (в межах 0,005-0,1 мкм,) амплітудах резонансних коливань.

Тому, здійснено припущення, що такий магнітно резонансний вплив на об'ємне зміцнення робочих ділянок зубчастих коліс не приведе до створення внутрішніх напружень при зміні фізико-механічних властивостей матеріалів робочих поверхонь зубів і мікроструктури їх матеріалу. Крім того, він є економічно ефективним, оскільки потребує малої електричної потужності.

Для експериментальної перевірки способу обробки прямозубих зубчастих коліс в постійному магнітному полі при мікро вібраціях робочої частини коліс запропоновано конструкцію стенду, в якому постійне магнітне поле забезпечено розташуванням з обох сторін вздовж ділильного кола зубчастого колеса постійних неодимових магнітів. Магніти мають бути закріплені на двох допоміжних дисках, що розміщені з обох боків зубчастого колеса, що має бути оброблено. Для забезпечення мікро вібрацій

використовується робоче колесо з попередньо створеною похибкою кроку між зубами, яке в зоні зачеплення створює мікро удари. Завдяки цьому створюються резонансні коливання тіла зубчастого колеса, що оброблюється [6, 7].

Для розрахунку особливостей коливань в зоні дії зачеплення з мікро ударами, які викликають резонансні коливання, використані методичні підходи, що запропоновані авторами роботи [6-8].

Принципова схема станку для магнітно резонансного об'ємного зміцнення робочих поверхонь зубчастого колеса (рис. 1) має приводне робоче зубчасте колесо 10, що розташовано на валу і кріпиться за допомогою шпонкового пазу 5 і стопорних гайок 9 на валу, який за допомогою перехідної муфти 2 з'єднаний з електричним двигуном 1. Робоче приводне колесо 10 виконує роль вібраційного збудника. Потужні неодимові магніти 6, 7 встановлені в пазах двох дисків 4 паралельно одне до одного послідовно з різною полярністю. Зубчасте колесо 8, що оброблюється, встановлено вільно на окремому валу 3.

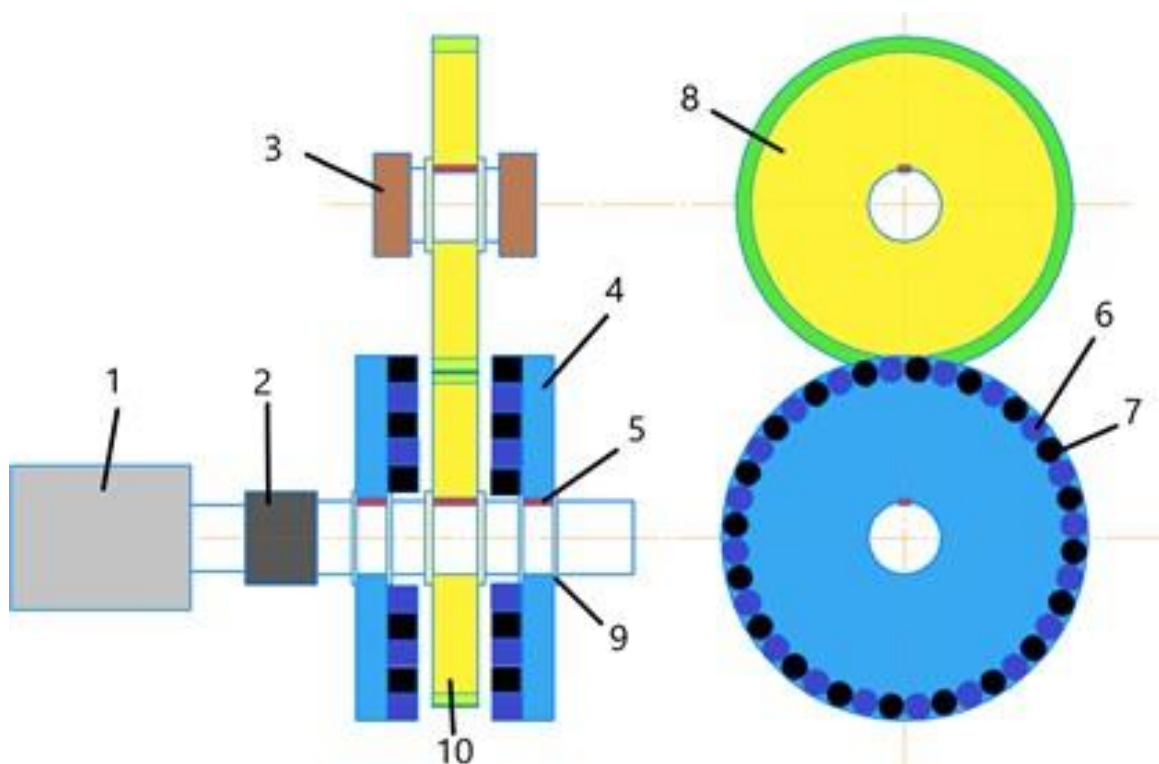


Рисунок 1 – Схема станку для досліджень магнітно резонансного об'ємного зміцнення зубчастих коліс

Запропонована схема дозволить виконувати обробку робочих поверхонь зубчастих коліс впродовж 20-30 хв. для об'ємного зміцнення без отримання небажаних залишкових внутрішніх напружень.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ковалевський С. В. Аналіз засобів підвищення якості деталей автомобілів енергозощаджувальною вібраційною обробкою / С. В. Ковалевський, С. А. Матвієнко, О. П. Сакно, О. В. Лукічов // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : український міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – Вип. 45. – С. 309-311.
2. Kovalevskyi, S.; Kovalevska, O.; Radosavljević, M. & Anđelković, M.: Ensuring the Life Cycle of Objects on the Basis of a Signature Approach. Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS), Vol. 233 (2021) (Special Volume with: 7th International Conference "New Technologies" (NT-2021); Sarajevo, Bosnia and Herzegovina; 24-26 June 2021), pp. 458-468. ISSN 2367-3370 and ISBN 978-3-030-75274-3. doi: 10.1007/978-3-030-75275-0_51.
3. Ковалевський С. В. Обробка робочих поверхонь деталей машин обертним магнітним полем / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська, К. С. Глушич // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2019) : матеріали тез доповідей IX Міжн. наук.-практ. конференції (м. Чернігів, 14–16 травня 2019 р.) : у 2-х т. – Чернігів : ЧНТУ, 2019. – Т. 1. – С. 74–75.
4. Патент 146302 Україна МПК B21D 26/14 (2006.01). Пристосування для плакування струмопровідними матеріалами / С. В. Ковалевський, Д. О. Корчма ; власник Донбас. держ. машинобуд. акад. – № u202004488 ; заявл. 17.07.2020 ; опубл. 10.02.2021, Бюл. № 6 / 2021.
5. Патент 146743 Україна МПК B21D 26/14 (2006.01)I. Спосіб об'ємного зміцнення матеріалів у постійному магнітному полі / С. В. Ковалевський, І. Б. Боровий ; власник Донбас. держ. машинобуд. акад. – № u202003855 ; заявл. 26.06.2020 ; опубл. 17.03.2021, Бюл. № 11 / 2021.
6. Особливості розрахунку відкритих зубчастих передач на міцність / Б.В. Виноградов, Д.О. Федін // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – №34(1143). – С.19-25.
7. Про резонансні режими роботи відкритих зубчастих передач барабанних млинів / Д. О. Федін, Б. В. Виноградов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ "ХПІ", 2017. – № 12 (1234). – С. 132–136.
8. Vinogradov B.V. Stiffness of the Open Gearing of Tumbling Mill[Текст] / B.V. Vinogradov, D.O. Fedin // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2016. - №2. –РР. 24-29.

Іваненко Р.О. (Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз, м. Київ, Україна)

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРОБЛЕННІ НА МЕТАЛООБРОБЛЮВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Стаття присвячена питанням пов'язаним з геометричною точністю виготовлення деталей на верстатах з системами CNC. Досліджується можливість отримання високоточних геометричних форм за допомогою способу визначення зносу різального інструмента для металооброблювальних верстатів з ЧПК.

The article is devoted to issues related to the geometric accuracy of manufacturing parts on machines with CNC systems. The possibility of obtaining high-precision geometric shapes using a method of determining the wear of a cutting tool for metalworking machines with CNC is being investigated.

Все більше уваги, приділяється розробці нових засобів технічного контролю, які застосовуються для процесів металообробки, а також вдосконаленню існуючих засобів. Приладобудівна і машинобудівна промисловість пред'являє все більш високі вимоги до якості деталей. Якість деталі залежить як від шорсткості поверхні деталі, так і від того, чи відповідають її геометричні розміри та форма заданим допускам та залежить від стабільності технологічних процесів, і точності металооброблювального обладнання. Значного підвищення точності металообробки та якості деталей можна досягти шляхом впровадження та використання технологічного обладнання, датчиків, засобів діагностики та контролю. Такі технічні заходи повинні забезпечувати контроль стану різального інструменту і технологічних параметрів (режиму металообробки і раціонального використання обладнання), а також якості виготовлених деталей під час обробки [1, 3].

Залежно від фізичної природи явищ, які складають основу засобів контролю параметрів процесу металообробки, останні можна поділити на віброакустичні, пневматичні, електроконтактні, механічні, оптичні та оптоелектронні [1, 2]. Кожна з цих груп в тій чи іншій мірі розроблена і освоєна в промисловості і використовується практично у всіх технічних засобах металооброблювальної промисловості. З них найбільш перспективними для застосування в прецизійній металообробці є електроконтактні, оптичні та оптоелектронні пристрої, які забезпечують найвищу точність і швидкість [1-3]

Нова методика віброакустичного вимірювання не тільки дозволяє

використовувати різальний інструмент як стандартний чутник [1], але і підвищує точність вимірювання. Ще однією перевагою нового підходу є відсутність втрат часу на зняття різального інструменту з верстата та встановлення стандартного чутника при контролі на верстаті. Таким чином, новий спосіб може досягти вищої продуктивності і точності вимірювань при збереженні простоти роботи та використовуваного устаткування, також є можливість виявити і поломка інструменту.

Визначення зносу інструмента за допомогою існуючих зараз складних електронних систем контролю параметрів сигналів від зони різання є надто складними у застосуванні та мають високу собівартість. Тому існує проблема швидкого контролю точності роботи верстата шляхом оцінки зносу різального інструмента із задовільною точністю та її зв'язку з розмірами та точністю, необхідною для виготовлення деталі, яка не вимагала б складного апаратного забезпечення.

Способи розглянуті в літературних джерелах [1-6] не мають достатньої вірогідності вимірів, і потребують складної схеми реєстрації та обробки сигналів внаслідок чого виникають похибки обробки при спотворенні корисної інформації від зони різання, тобто не забезпечують високої точності визначення зносу різального інструмента, що знижує точність виконання роботи на верстатах з ЧПК. Мають низьку чутливість та захищеність від перешкод, не забезпечують захисту корисного сигналу від завад.

Тому поставлено задачу створити такий спосіб визначення зносу різального інструмента для металооброблювальних верстатів з ЧПК, в якому шляхом порівняння параметрів часових проміжків електричного інформаційного сигналу визначають різницю частот у першому часовому проміжку та у всіх подальших проміжках, і за різницею між отриманими частотами оцінюється ступінь зносу задньої грані різального інструмента, що призводить до підвищення ефективності визначення стану різального інструмента під час механічної обробки на металооброблювальних верстатах.

Поставлена задача виконується таким чином. Додатково формують електричний сигнал з часовими проміжками, за параметрами якого визначають частоту генерації на першому проміжку, запам'ятовують це значення, реєструють частоту генерації на подальших часових проміжках отриманого сигналу, порівнюють частоти сигналу на кожному з часових проміжків, визначають різницю частот сигналу внаслідок взаємодії різального інструмента з деталлю і формують сигнал, який визначає ступінь зносу задньої грані різального інструмента. Заснований на утворенні електричного ланцюга з різального інструмента, ізольованого від верстата, та деталі, яку оброблюють, реєстрації від зони контакту різального інструмента

з деталлю електричного інформаційного сигналу, параметри якого залежать від ступеню зносу різального інструмента. Зношення задньої грані робочої частини різального інструмента при механічній обробці матеріалів на металооброблювальних верстатів з ЧПК під час експлуатації призводить до виникнення розходжень між заданими у програмі та реальними розмірами деталі. Оскільки знос інструмента має кінцевий розмір, за рахунок його зношення створюється похибка, яка впливає на кінцеву точність виготовлення оброблюваної деталі. Таким чином в умовах автоматизованого виробництва визначення ступеню зносу інструмента та контроль за розмірами виготовлення деталі є основними задачами підвищення якості технологічного процесу. Згідно способу на різальному інструменті 1 (рис.1), який є ізольованим від верстата ізолятором 2 та знаходиться у контакті з деталлю 3, встановлюють пристрій 4 для передачі електричного сигналу від деталі 3, яку оброблюють, та від інструмента 1, тобто від зони різання під час механічної обробки, на прилад, реалізуючий спосіб. Таким чином утворюють електричний замкнений ланцюг з різального інструмента 1 та деталі 3. Вихідний інформаційний сигнал від цього електричного ланцюга надходить через пристрій 4 для подальшої обробки у сукупності відповідних блоків. Зона контакту верхівки різального інструмента 1 та поверхні деталі 3 під час процесу різання є джерелом електричних сигналів, які залежать від стану різального інструмента 1, тобто від ступеню зносу задньої грані інструмента 1. Контроль за станом різального інструмента 1 необхідний для визначення плинної якості поверхні деталі 3, яку оброблюють.

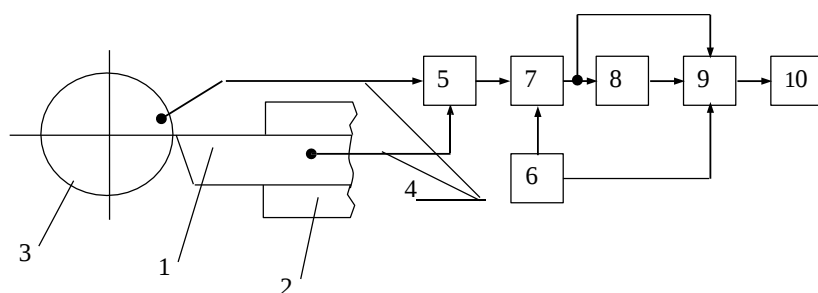


Рисунок 1 – Спосіб визначення зносу різального інструмента для металооброблювальних верстатів з ЧПК

Надалі утворюють електричний сигнал, котрий виконує також і функцію вимірювального сигналу, за зміною параметрів якого визначають зміну зносу різального інструмента внаслідок різання матеріалу. Таким чином в електричний ланцюг введений RC генератор 5 для утворення електричних сигналів та блок 6 формування сигналів певного часового

проміжку, а також вимірювач 7 частоти сигналу на визначеному часовому проміжку.

Частоту електричного сигналу, яка відповідає входженню у вимірювальну зону, реєструють при формуванні певного часового проміжку. На вимірювач 7 частоти надходять електричні сигнали від зони контакту інструмента 1 та деталі 3 в процесі різання через генератор 5 та від блоку 6 формування сигналів. Вимірюють частоту на цьому проміжку, запам'ятовують цю частоту блоком 8 та визначають її як еталонну, за якою порівнюють з плинним значенням частоти, вимірюваної на іншому наступному часовому проміжку. Надалі вимірюють частоту на подальших визначених часових проміжках та порівнюють її з частотою, виміряною на першому проміжку, за допомогою блоку 9. Таким чином визначають різницю між вимірюваними частотами та надалі оцінюють її змінення у процесі різання. Блок 10, в якості котрого можна використати, наприклад, ПК або мікроконтроллер, призначений для оцінки плинного стану різального інструмента за визначеною різницею частот. Оцінка різниці частот буде мати визначальний характер для оцінки ступеню зносу інструмента та формування корисного інформаційного сигналу про стан різального інструмента й в кінцевому результаті здійснення оцінки плинної якості технологічного процесу виготовлення деталі в автоматичному режимі на металооброблювальних верстатах з ЧПК.

Таким чином можна вимірювати плинний знос задньої грані різального інструмента безпосередньо під час процесу різання та автоматизувати процес відстеження за станом технологічного процесу механічної обробки матеріалу на верстатах з ЧПК. Підвищують продуктивність роботи механооброблювального обладнання з ЧПК шляхом визначення точності вимірів зносу задньої грані різального інструмента на підставі аналізу частот плинного інформаційного електричного сигналу від зони різання на визначених часових проміжках для автоматизації визначення плинного стану різального інструмента та якості виготовлення деталі. Це дає можливість за досить простих апаратурних рішень значно підвищити швидкодію системи і, як наслідок, підвищити межу точності, яку отримують у такий спосіб. Як довели експериментальні дослідження, точність роботи таких систем у 2,5-4 рази вища за наведені аналоги.

Запропоновано спосіб визначення зносу різального інструмента для металооброблювальних верстатів з ЧПК, забезпечує автоматизацію вимірювання та призначений для визначення зносу задньої поверхні різального інструмента під час проведення механічної обробки металів в умовах автоматизованого виробництва.

Підвищення ефективності способу визначення зносу різального інструмента для металооброблювальних верстатів з ЧПК досягається тим, що пропонуємий спосіб здійснює на підставі утворення електричного ланцюга з різального інструмента, деталі, яку оброблюють, з наступною реєстрацією та

аналізом зміни параметрів цих сигналів в залежності від їх частоти в визначених часових проміжках, порівняння з частотою у першому проміжку результатів вимірювання частот на подальших часових інтервалах і за результатами визначення різниці частот здійснює оцінку ступеню зносу задньої грані різального інструмента. А також технічний ефект полягає в тому, що підвищують продуктивність роботи механооброблювального обладнання з ЧПК шляхом визначення точності вимірів зносу задньої грані різального інструмента на підставі аналізу частот плинного інформаційного електричного сигналу від зони різання на визначених часових проміжках для автоматизації визначення плинного стану різального інструмента та якості виготовлення деталі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Тимчик Г.С., Скицюк В.І., Вайнтрауб М.А., Клочко Т.Р. Відчутники контрольно-вимірювальних систем : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2008. – 240 с., іл. – Бібліогр.: с. 232–239.

<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33224>

2. Скицюк В.І., Діордіца І.М., Науменко В.І. Дослідження властивостей поверхні деталі за допомогою токарного інструменту. Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2006. Вип. 1 (12). – с.151-158.

3. Вайнтрауб М. А. Засоби контролю процесів механообробки надточних деталей : монографія / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб, Т. Р. Клочко. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 516 с., іл. – Бібліогр. : с. 503 – 513.

https://kafvp.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/11/Timchik.Skicyuk.Vayntraub.Klochko.Zas_kontr_pr_mehobr_nadtoch_d et.pdf

4. Tool wear monitoring in turning process using vibration measurement / Rmili W. [etal.] // 13th International Congress on Sound and Vibration. Vienna (Austria). 2006. P. 13 – 20.

5. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І.Гребченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 471 с.

<http://xn--e1ajqk.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/12/Mazur-M.-P.-Osnova-teori-rizannya-materialiv.pdf>

6. Теплові явища при обробці матеріалів різанням / В.С. Антонюк, .Ан. Клименко, С.А. Клименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 156

с. file:///C:/Users/Victor/AppData/Local/Temp/antoniuk_vs_klimenko_sa_klimenko_sa_t eplovi_iavishcha_pri_ob.pdf

Іванов Д.С., Красножон Я.О., Кушій А.М. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

При тривалому використанні сталевих інструментів для гарячої обробки, робочі поверхні можуть зношуватися або деформуватися відносно швидко, так що інструменти незабаром втрачають свою точність, а, отже, виходять з ладу. В даній статті проаналізовано матеріали, які б забезпечували отримання металу з відносно невисокою твердістю, що дозволяє проводити його механічну обробку різанням та забезпечувати після обробки наплавлений метал високої твердості і високі експлуатаційні властивості. Окрема увага приділена механізованому дуговому наплавленню самозахисними порошковими дротами, як способу відновлення і зміцнення інструменту для гарячої обробки металів.

With long-term use of steel tools for hot processing, the working surfaces can wear or deform relatively quickly, so that the tools soon lose their accuracy and, therefore, fail. This article analyzes the materials that would ensure the production of metal with a relatively low hardness, which allows to carry out its mechanical processing by cutting and to provide, after processing, a deposited metal of high hardness and high operational properties. Special attention is paid to mechanized arc welding with self-protecting flux cored wires, as a method of restoring and strengthening tools for hot processing of metals

Головною проблемою штампового оснащення є його зношування в процесі експлуатації, а виготовляти нове не раціонально з огляду на вартість, тому дуже велика кількість вчених займаються питанням підвищення ресурсу штампового оснащення. Процеси гарячого формування є однією з найбільш важливих технологій формування металів і складають великий відсоток готових металевих виробів. При тривалому використанні сталевих інструментів для гарячої обробки, робочі поверхні можуть зношуватися або деформуватися відносно швидко, так що інструменти незабаром втрачають свою точність, а, отже, виходять з ладу. Здатність інструменту зберігати достатню жорсткість і ріжучі властивості, при високих температурах характеризує теплостійкість, а збереження твердості при нагріванні до температури червоного розжарювання (600°C і вище) – червоностійкість. Червоностійкість матеріалу підвищується при легуванні його Cr, V і особливо W [1]. Твердість штампової сталі залежить від кількості залишкового аустеніту і можливості його перетворення в мартенсит в процесі термообробки, а також від ефективності дисперсійного твердіння [2]. Зносостійкість є важливою характеристикою матеріалу, що в багатьох

випадках визначає довговічність ріжучих елементів інструменту для гарячої обробки.

Метою даної роботи є аналіз матеріалів, які б забезпечували безпосередньо після наплавлення отримання металу відносно невисоку твердість, що дозволяє проводити його механічну обробку різанням, а після нескладної термічної обробки (відпуску) – забезпечувати наплавлений метал високої твердості і високі експлуатаційні властивості.

Загальною характерною ознакою сталей цих груп є більш низький порівняно зі сталями холодного деформування вміст вуглецю (0,3...0,6)%, що зумовлюється підвищеними вимогами до них щодо в'язкості і розгаротійкості. Теплостійкість штампових сталей забезпечується комплексним легуванням W, Mo, Cr, V [3]. Хромовані гарячі сталі (H10, H11, H13, H14 і H19) найбільш часто використовуються при гарячому штампуванні (куванні). Як правило, хромисті сталеві покриття зберігають свою твердість до 425°C, вольфрамові сталі для гарячої обробки (від H21 до H26) зберігають велику частину своєї твердості до 620°C. Властивості сталей на основі молібдену знаходяться в діапазоні від сталевих сталей на основі хрому та вольфраму.

В роботі [4] показано, що у економнолегованого наплавленого металу системи Fe-Ni-Mn-Si-Mo спостерігається значний ефект вторинного твердіння (твердість після наплавлення HRC 29...30, після відпуску HRC 50...52) і такий матеріал є перспективним для відновлення і зміцнення інструментів для гарячого деформування металів. У даній роботі наведені результати дослідження впливу багатшарової наплавлення на розподіл твердості на кордоні сплаву сусідніх валиків і шарів, а також зносостійкості, термічної стійкості і гарячої твердості наплавленого металу цієї системи легування. При багатшаровому наплавленні мартенситностаріючих сталей в металі ЗТВ у межі сплаву сусідніх валиків в результаті нагрівання до температур 480...500°C, що забезпечують вторинне тверднення, може спостерігатися нерівномірність в розподілі твердості, що погіршить експлуатаційні властивості наплавленого металу і утруднить його механічну обробку.

Попередні дослідження [6] впливу температурно-часових параметрів першого відпуску (з визначенням трьох стадій: первинного зміцнення, зміцнення та вторинного зміцнення) на структуру й властивості загартованої швидкорізальної сталі Р6М5 після другого відпуску при 560°C протягом 1 години дозволили запропонувати принцип вибору режимів першого відпуску сталі Р6М5 залежно від умов роботи інструменту. Для інструменту, який повинен мати високі значення твердості, межі текучості при стисненні і

теплостійкості, перший відпуск загартованої швидкорізальної сталі необхідно переривати на стадії первинного зміцнення. Для інструменту, від якого вимагається високий опір згинаючим навантаженням, перший відпуск слід завершувати на стадії вторинного зміцнення. Цей принцип вибору температурно-часових параметрів відпуску був застосований до термічної обробки різального і штампового інструменту при проведенні дослідно-промислових випробувань. Для дослідження різноманітного ріжучого інструменту як матеріалу, що оброблюється, брали низько- і середньовуглецеві сталі 45, 15X, 40X, 34XM, 36XГСА, а також нержавіючі сталі 12X18H9T і X17H5M3. Зміцнююча термічна обробка по новому режиму із завершенням першого відпуску на стадії первинного зміцнення дала підвищення стійкості інструменту, що випробовувався, як мінімум у два рази. Особливо помітний ефект був отриманий при різанні нержавіючих сталей, що важко оброблюються. При дослідженні стійкості пуансонів із сталі Р6М5 при двохоперехідному процесі холодного видавлювання для пуансонів першого переходу перший відпуск завершували на стадії вторинного зміцнення, а для пуансонів другого переходу – на стадії первинного зміцнення. Результати дослідно-промислових випробувань показали, що стійкість пуансонів на першому переході зросла у 1,6 разів, а на другому – у два рази [6].

На практиці показано [7], що легування ванадієм (до 1 %) хромомолібденової сталі підвищує її стійкість проти відпуску. В результаті оптимізації вмісту ванадію вдалося розробити штампову сталь із меншим вмістом вольфраму та молібдену і, перші розроблені штампові сталі для гарячого деформування були типу 5XНМ, 5XНВ, 5XНВС, 4ХМФС, 4ХМНФС розглядались як сталі з помірною теплостійкістю та підвищеною в'язкістю. Додатки бора, магнію та рідкоземельних металів до складу штампової сталі помірної теплостійкості позитивно впливають на структуру в литому стані - підвищують пластичність та в'язкість. Найбільш високу теплостійкість та вторинну твердість після гартування на мартенсит мають штампові сталі з підвищеним вмістом хрому марок 3X3М3Ф, 4X5МФС, 4ХМ2Ф, 4X5В2ФС, 5X2МНФ, 5X2В2М2ФС, 5X3В4МФ2С та ін. Збільшення хрому та вуглецю в сталі збільшує кількість карбідної фази $M_{23}C_6$, сприяє коагуляції карбідної фази та призводить роззміцнення матеріалу в процесі відпуску. При збільшенні концентрації вольфраму та молібдену підвищується кількість карбідної фази M_6C , що впливає на теплостійкість сталі під дією впливу високої температури. Під час проведення термічної обробки в процесі перекристалізації (повний відпал), одержують структуру з пластинчастим перлітом, розмір зерна якого відповідає 1...2 балам (згідно до

ГОСТ 5950-73), а карбіди $M_{23}C_6$, M_6C та MC складають в середньому 10 %. В подальшому після механічної обробки заготовки та виготовлення матриць штампового інструмента проводиться термічне зміцнення (гартування та відпуск). Після гартування штампової сталі на мартенситну структуру наряду з цементитом (Fe_3C) присутні карбіди типу M_6C та MC . Відпуск штампових сталей для гарячого деформування проводять для одержання вторинної твердості під час якого утворюються карбідні фази типу MC та M_2C . Відпускають ШСГД на твердість 45 – 50 HRC, а для прес-форм лиття під тиском кольорових сплавів на твердість 40 – 45 HRC. Для підвищення ударної в'язкості проводять повторний відпуск при температурі на 30...40°C нижче першого відпуску.

Дослідно-промислові випробування [8] матриць штампового інструменту зі сталі 4X3H5M3Ф для гарячого деформування (пресування) показало підвищену стійкість. Скорегований хімічний склад (4X4H5M4Ф2) та оптимізований режим термічної обробки сталі з регулюванням аустенітного перетворення при експлуатації сприяло підвищенню її теплостійкості. Розроблено лігатуру системи Fe-Ni-Mo-V-Mn для дошихтовки базової сталі 4X5МФ1С для одержання сталі з регульованим аустенітним перетворенням марки 4X3H5M3Ф. В процесі часткової перекристалізації легованої конструкційної сталі 4X3H5M3Ф утворюється сфероїдизована карбідна складова, що спричинює на поліпшення механічної обробки заготовки для виготовлення матриць штампового інструменту.

Серед способів відновлення і зміцнення інструменту для гарячої обробки металів доцільно виділити механізоване дугове наплавлення самозахисними порошковими дротами (СПД). За допомогою такої технології можна отримати робочий шар із заданим рівнем легування і механічними властивостями. У результаті теоретичних досліджень були обрані для вивчення наступні матеріали. Такі як порошковий дріт ПП-Нп-35В9Х3ГСФ [6]; порошковий дріт ПП-АН193 [9]; порошковий дріт ПП-АН204 [9]. При наплавленні на вуглецеві сталі обов'язковою операцією є попередній підігрів, тому були проведені експерименти по визначенню впливу цієї операції на ефект старіння. Встановлено, що попередній підігрів деталі до 400°C не позначається на цих показниках. Не впливає на твердість наплавленого металу і спосіб охолодження після наплавлення - уповільнене (термостат) або на повітрі. Теплостійкість дроту ПП-Нп-35В9Х3ГСФ незначно більша за дріт ПП-АН204, але враховуючи термічну стійкість цих дротів, перевагу віддаємо дроту ПП-АН204. Досліджували гарячу твердість дослідних зразків. Найбільшу твердість у цьому діапазоні має дріт ПП-АН204 [10]. При наплавленні дротом ПП-АН204 в результаті вторинного твердіння можлива

нерівномірність в розподілі твердості, що погіршить експлуатаційні властивості наплавленого металу і утруднить його механічну обробку. Далі проводилися металографічні дослідження наплавленого металу дротом ПП-АН204, які показали [10], що його структура до старіння складається з фериту, невеликої кількості мартенситу і нітридів титану. Після старіння частка мартенситу значно збільшується, зустрічаються ділянки дрібногочасткового і пакетного мартенситу, підвищується вміст нітридів. Мікротвердість матриці до старіння становить HV 283, після старіння HV 489; мікротвердість нітридів HV 1206. Рентгеноструктурний аналіз підтвердив, що вторинне твердіння досвідченого наплавленого металу пояснюється утворенням значних кількостей мартенситу. По термічній стійкості мартенситностаріючий наплавлений метал (ПП-АН204) перевершує відомі типи наплавленого металу, які успішно застосовуються для наплавлення і виготовлення інструментів для гарячого деформування металу. Як показали експерименти по зносостійкості, наплавлений метал дротом ПП-АН204 перевершує загартовану сталь 45 в 3,5 ... 4,0 рази. Гаряча твердість мартенситностаріючого наплавленого металу знаходиться на одному рівні з гарячою твердістю хромомолібденової і хромовольфрамової штампової сталі, наплавлених відповідними порошковими дротами. Слід зазначити, що дріт ПП-АН204 забезпечує отримання наплавленого металу типу економнолегованої мартенситностаріючої сталі. Наплавлений метал цього типу має високі зносостійкість (в умовах тертя металу по металу при підвищених температурах), термостійкість і гарячу твердість. За результатами досліджень порошковий дріт ПП-АН204 може бути рекомендовано для відновлення і зміцнення інструментів для гарячого деформування металу, в першу чергу оснащення зварювального виробництва складної форми, що вимагають великих витрат на механічну обробку.

На сьогоднішній день для штампових сталей гарячого деформування актуальними задачами є зниження їх собівартості та підвищення теплостійкості, а стійкість робочого інструмента при виготовленні деталей для зварювального виробництва визначає економічну ефективність процесів формоутворення заготовок пресуванням, об'ємною штамповкою, литтям під тиском тощо.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Altan T. *Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications* / T. Altan, G. Ngaile, G. Shen. – ASM International, 2005.
2. Підвищення довговічності інструменту зі сталі р6м5 для виготовлення деталей автомобільної промисловості. Хрістофорова Т.А., Кузьменко О.О. // *Автомобільний транспорт*. Харків: Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т, 2017, №40, С.147-152
3. Гогаєв К.О. Інструментальні штампові сталі для гарячого деформування (огляд) К.О. Гогаєв, О. М. Сидорчук, О. К. Радченко // *Металознавство та обробка металів*. – №3. – 2016. – С.18-23
4. Сидорчук О. М. Технологічні основи виготовлення інструменту з штампової сталі 4Х3Н5М3Ф / О. М. Сидорчук // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – № 2. – 2021. – С.17-20

Каплюк О.М., Манжара О.В., Коханівський Р.Р., Кушніренко О.В., Дудник Т.Г. (Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, Україна)

МЕТОДИ СКОРОЧЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КОРПУСУ ПЛАНЕТАРНО-КОНІЧНОГО РЕДУКТОРА ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

У статті здійснено аналіз базового технологічного процесу виготовлення корпусу планетарно-конічного редуктора і запропоновані шляхи удосконалення його структури. За рахунок запропонованих удосконалень штучно-калькуляційний час механічної обробки який при базовому технологічному процесі становив 56,87 хв., при проектному склав 39,98 хв. Тобто трудомісткість обробки корпусу планетарно-конічного редуктора зменшилась на 30%.

The article analyzes the basic technological process of manufacturing the body of the planetary-conical gearbox and suggests ways to improve its structure. Due to the proposed improvements, the estimated time for mechanical processing, which was 56.87 minutes for the basic technological process, was 39.98 minutes for the design process. That is, the complexity of processing the body of the planetary-conical gearbox has decreased by 30%.

Постановка проблеми.

Актуальними завданнями українського машинобудування є підвищення якості продукції та зниження її собівартості. На сьогодні це є визначальною умовою її конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках. Конкурентоспроможність на світових ринках продукції українських виробників багато в чому впливає на престиж країни, сприяє наповненню державного бюджету і є важливим чинником на шляху інтеграції України до світових структур. Досягнути таких цілей можна за рахунок впровадження в технологічний процес сучасного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В структурі експорту нашої держави продукція машинобудування має порівняно невелику частку [1], у зв'язку з її недостатньою конкурентоспроможністю. Пов'язано це з інтенсивним розвитком світових тенденцій в машинобудуванні і обробній промисловості.

Сучасне машинобудування потребує прийняття швидких і ефективних рішень, які дозволяють підтримувати і забезпечувати життєвий цикл виготовлення виробів. Це можливо лише за умови автоматизації процесів [2]. В тому числі за рахунок впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [3]. Використання на підприємствах систем автоматизованої підтримки рішень в процесі технологічного підготовки виробництва і виготовлення продукції дозволяє відмовитись від традиційного управління технологічними ресурсами і перейти на сучасний,

системний, науковий підхід. Такі кроки безумовно сприятимуть підвищенню рівня конкурентоспроможності українських технологій і виробів.

Раніше не вирішені частини загальної проблеми.

Відповідно до свого службового призначення корпуси є базовими елементами будь-якої складальної одиниці і призначені для розміщення в них різних деталей і складальних одиниць, точність відносного положення яких повинна забезпечуватись як в статиці, так і в процесі роботи під навантаженням. Відповідно корпуси повинні мати необхідну точність, жорсткість і вібростійкість, які забезпечують потрібне відносне положення з'єднаних деталей і вузлів, правильність роботи механізмів і відсутність вібрації.

Конструктивне виконання корпусів, матеріал і необхідні параметри точності визначаються їх службовим призначенням, вимогами до роботи конкретних механізмів і умовами їх експлуатації.

Корпуси розмірами і відносними поворотами своїх виконавчих поверхонь беруть безпосередню участь в розмірних зв'язках приводів технологічного обладнання, тому до точності розмірів, форми і відносного розташування цих поверхонь пред'являються підвищенні вимоги.

Проте, технологічне обладнання яке сьогодні використовується на машинобудівних підприємствах України при виготовленні корпусів часто є застарілим і не може в повній мірі забезпечити виконання таких високих вимог.

Метою роботи є аналіз базового технологічного процесу виготовлення корпусу планетарно-конічного редуктора і пошук можливих напрямків удосконалень його структури шляхом впровадження сучасного обладнання.

Виклад основного матеріалу.

Аналіз діючих технологій здійснено для виявлення можливостей вдосконалення технологічних процесів на основі аналізу технологічного процесу механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора (рис.1)

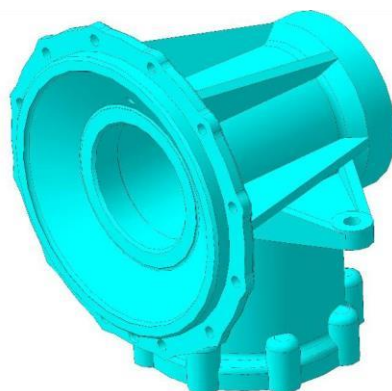


Рисунок 1 – Тривимірна модель корпусу планетарно-конічного редуктора

Корпус планетарно-конічного редуктора призначений для забезпечення сталої точності відносного розташування конічної та планетарної ступені конічно-планетарного мотор-редуктора

Структура і технічні норми часу по операціям базового технологічного процесу обробки корпусу планетарно-конічного редуктора наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Структура і технічні норми часу по операціям базового технологічного процесу обробки корпусу планетарно-конічного редуктора

№ оп	Назва операції	Основний час T_o , хв	Допоміжний час			Оперативний час $T_{оп}$, хв	Час на обслуговування робочого місця		Час на відпочинок $T_{відп}$, хв	Штучний час, $T_{шт}$	Підготовчо-заключний час $T_{п.з.}$	Норма часу, $T_{нк}$, хв
			$T_{вст}$	$T_{уп}$	$T_{вим}$		$T_{тех}$	$T_{орг}$				
005	Програмно-комбінована	1,29	1,8	1	0,5	4,92	0,62	0,41	0,10	5,63	15,00	5,82
010	Вертикально-фрезерна	0,59	1,25	0,25	0,2	2,46	0,31	0,21	0,05	2,82	10,00	2,94
015	Програмно-комбінована	2,81	1,2	2,4	0,78	7,63	0,95	0,64	0,15	8,73	28,00	9,08
020	Програмно-комбінована	0,36	1,2	2,4	0,48	4,85	0,61	0,41	0,10	5,55	28,00	5,90
025	Токарна з ЧПУ	0,92	1,5	2,4	0,48	5,74	0,72	0,48	0,11	6,57	25,00	6,88
030	Програмно-комбінована	5,35	1,8	2,4	0,78	10,83	1,35	0,91	0,22	12,40	28,00	12,75
035	Радіально-свердлильна	2,45	1,2	1,8	0,36	6,15	0,77	0,52	0,12	7,04	15,00	7,22
040	Радіально-свердлильна	0,12	1,2	0,25	0,12	1,85	0,23	0,16	0,04	2,11	15,00	2,30
045	Вертикально-свердлильна	0,46	1,2	1,2	0,18	3,30	0,41	0,28	0,07	3,78	15,00	3,96
	Всього											56,87

Службовим призначенням корпусу планетарно-конічного редуктора обумовлено значну кількість норм точності відносного розташування поверхонь, для контролю яких використовуються контрольні пристрої з індикаторами годинникового типу. Допоміжний час на вимірювання

індикатором годинникового типу становить 0,2хв. В проектному варіанті пропонується замінити індикатори годинникового типу на індикатори з цифровою індикацією. Норма часу на вимірювання індикатором з цифровою індикацією згідно даних каталогу [4] становить 0,08 хв, тобто більше ніж вдвічі менша. Практично на всіх операціях в якості засобів контролю застосовуються штангенциркулі за ГОСТ 166-89. Це штангенциркулі з штриховою шкалою вимірювання. Застосування таких штангенциркулів для вимірювання є достатньо трудомістким процесом. Норма часу на вимірювання таким штангенциркулем згідно нормативів [5, 6] становить 0,13хв. Тому пропонується застосувати штангенциркулі типу ШЦЦ-І з цифровою індикацією.

Норма часу на вимірювання штангенциркулем з цифровою індикацією згідно даних каталогу [4] становить 0,05хв, тобто практично є в тричі меншою.

Для контролю міжосьової відстані різних кріпильних отворів пропоную застосувати штангенцикуль ШЦЦМ-300 [4].

Для вимірювання шорсткості оброблених поверхонь пропонується застосувати профілограф моделі TR 200.

Вимірювач шорсткості (профілометр) моделі TR-200 здійснює визначення параметрів шорсткості по 13 різним параметрам відповідно до обраної методики і чітко відображає на рідкокристалічному екрані графік профілю і всі виміряні параметри. Профілограф додатково комплектується датчиком для вимірювання рисок та отворів. Передача даних здійснюється через порт RS - 232 на принтер TA220S або ПК. Профіломер сумісний з чотирма стандартами: ISO (Міжнародна організація по стандартизації), DIN (Німецький інститут стандартів), ANSI (Американський національний інститут стандартів) і JIS (Японський промисловий стандарт).

Заміна вимірювального інструменту на всіх операціях технологічного процесу механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора дозволить зменшити одну із складових допоміжного часу - час на вимірювання.

В якості удосконалень структури технологічного процесу механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора пропонуються наступні заходи:

- об'єднати в одну операції 020, 025, 030, 035 базового технологічного процесу механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора.
- замінити на більш продуктивне обладнання на операціях 005, 015 та 045;

– застосувати на вищезгаданих операціях сучасний високопродуктивний різальний інструмент та відповідно відкоригувати режими різання.

При об'єднанні операцій 020, 025, 030, 035 базового технологічного процесу механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора обробку пропонується здійснити на обробному центрі з числовим програмним управлінням моделі Vario HS 5-axis, який оснащений поворотно-наклонним столом, розрахованим на максимальне навантаження 400 кг. Верстат має можливість здійснення 5-ти координатної обробки за один установ заготовки.

Об'єднання операцій 020, 025, 030, 035 в одну дозволить зменшити складову допоміжного часу на встановлення і закріплення заготовки. Сумарний час на встановлення і закріплення заготовок на операціях 020, 025, 030, 035 згідно даних таблиці 1 становить 5,7 хв. При застосуванні запропонованого верстата є можливість обробки за один установ більшої кількості поверхонь, а схема базування буде застосована така, як на операції 020 базового технологічного процесу. Відповідно, час на встановлення заготовки становитиме 1,2 хв, тобто зменшиться більше ніж у 4,5 рази. Також за рахунок застосування повністю автоматизованої обробки зменшиться час на прийоми управління верстатом. При базовому технологічному процесі на операціях 020, 025, 030, 035 сумарний час на прийоми управління верстатом становив 9,0 хв. Для верстата Vario HS 5-axis та запропонованої структури операції згідно рекомендацій [5] час на прийоми управління верстатом становитиме 5,2 хв, тобто зменшиться практично в 2 рази.

Для підвищення продуктивності обробки на операції 015 пропонується замінити свердлильно-фрезерно-розточувальний напівавтомат, вертикальний багатоопераційний, з інструментальним магазином моделі 243ВМФ2 на вертикальний оброблюючий центр моделі DMTG VDL600A.

Вертикальний фрезерний оброблюючий центр VDL 600A (3-х координатний) призначений для виконання великого діапазону фрезерних, свердлильних та розточувальних робіт на деталях середніх розмірів в одиничному і серійному виробництві.

На операції 045 базового технологічного процесу при обробці отвору для пробки застосовується вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н118. Заготовка закріплюється в спеціальному пристрої з кондуктором. Для обробки отвору на цій операції послідовно використовуються 4 інструменти. Для підвищення продуктивності при зміні інструменту використовується швидкозмінний патрон, а час на заміну одного інструмента становить 0,12 хв. Також використовується кондуктор з швидкозмінними втулками, час на

зміну однієї кондукторної втулки 0,15 хв. Сумарний час на прийоми управління верстатом на даній операції за базовим варіантом становить 1,2 хв.

Для підвищення продуктивності обробки на операції 045 пропонується замінити верстат моделі 2Н118 на вертикально-свердлильний верстат з числовим програмним управлінням моделі 2Р118Ф2. Цей верстат має 6-ти позиційну револьверну голівку, що дозволяє автоматично змінювати різальний інструмент, а система управління забезпечує автоматичну зміну режимів різання.

При проектному варіанті час на заміну інструмента становитиме 0,40 хв., що менше ніж при базовому варіанті на 0,08 хв. Допоміжний час на прийоми пов'язані зі зміною режимів різання при базовому варіанті становить 0,56 хв, або 0,14 хв на один інструмент в наладці. Для вертикально-свердлильного верстата з програмним управлінням час на зміну режимів різання становить 0,1хв/інструмент, або 0,5хв. на п'ять інструментів в наладці. Тобто досягнуте зменшення на 0,06 хв. І найголовніше: при застосуванні вертикально-свердлильного верстата з числовим програмним управлінням відпадає необхідність в застосуванні кондуктора, оскільки центрувальне свердло спочатку виконує намітку отворів, а потім вже здійснюється обробка. Отже час на зміну кондукторних втулок, який мав місце в базовому варіанті в проектному варіанті буде відсутній, тобто час на управління верстатом зменшиться на 0,16 хв. Таким чином сумарно при застосуванні вертикально-свердлильного верстата з числовим програмним управлінням час на управління скоротиться на 0,3 хв. Це зменшення становить 25% в порівнянні з базовим варіантом. До того ж точність розташування отворів при обробці на такому верстаті залежить від точності позиціонування інструменту, яку забезпечує система програмного управління верстата 2Р118Ф2 і становить 0,01 мм, що є точнішим ніж точність розташування отворів при обробці в пристрої з кондуктором.

Аналогічну заміну обладнання пропонується здійснити на операції 005 базового технологічного процесу. При обробці отворів на цій операції застосовується вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н118Ф2. Для обробки отворів на цій операції послідовно використовуються 5 інструментів. Для підвищення продуктивності при зміні інструменту використовується швидкозмінний патрон, а час на заміну одного інструмента становить 0,12 хв. Сумарний час на прийоми управління верстатом на даній операції за базовим варіантом становить 1,0 хв.

В якості удосконалення пропонується використати на цій операції вертикально-свердлильний верстат з числовим програмним управлінням

моделі 2P118Ф2 з 6-ти позиційною револьверною голівкою для автоматичної зміни різального інструменту. Це зменшить час зміни інструменту на 20% в порівнянні з базовим варіантом.

Застосування в проектному технологічному процесі сучасного високопродуктивного різального інструменту та відповідне коригування режимів різання дозволить скоротити основний технологічний час обробки.

Загалом запропонований комплекс удосконалень базового технологічного процесу механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора дозволить досягти зменшення штучного часу на по всьому технологічному процесу (таблиця 2).

Таблиця 2 - Структура і технічні норми часу по операціям проектного технологічного процесу обробки корпусу планетарно-конічного редуктора

№ оп	Назва операції	Основний час T_o , хв	Допоміжний час			Оперативний час $T_{оп}$, хв	Час на обслуговування робочого місця		Час на відпочинок $T_{відп}$, хв	Штучний час, $T_{шт}$	Підготовчо-заключний час $T_{п.з.}$	Норма часу, $T_{шк}$, хв
			$T_{вст}$	$T_{уп}$	$T_{вим}$		$T_{тех}$	$T_{орг}$				
005	Програмно-комбінована	1,29	1,8	0,8	0,4	4,59	0,57	0,39	0,09	5,26	15,00	5,45
010	Вертикально-фрезерна	0,59	1,25	0,25	0,13	2,38	0,30	0,20	0,05	2,73	10,00	2,85
015	Програмно-комбінована	1,69	1,2	2,4	0,78	6,50	0,81	0,55	0,13	7,45	28,00	7,80
020	Програмно-комбінована	0,09	1,2	2,4	0,48	15,68	1,96	1,32	0,31	17,95	28,00	18,30
025	Вертикально-свердлилна	0,92	1,2	0,2	0,05	1,69	0,21	0,14	0,03	1,93	15,00	2,12
030	Вертикально-свердлильна з ЧПУ	0,20	1	1,2	0,1	2,73	0,34	0,23	0,05	3,12	28,00	3,47
	Всього									38,44		39,98

Висновки.

Аналізуючи результати таблиці 2 та порівнюючи їх з таблицею 1, бачимо, що за рахунок запропонованих удосконалень технологічного процесу механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора штучно-калькуляційний час на механічну обробку при базовому технологічному процесі становив 56,87 хв., а при проектному 39,98 хв. Тобто

трудомісткість обробки корпусу планетарно-конічного редуктора зменшилась на 30%:

Скорочення трудомісткості механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора було досягнуте за рахунок:

- об'єднання в одну операцій 020, 025, 030, 035 базового технологічного процесу механічної обробки корпусу планетарно-конічного редуктора. Сумарний штучний час операцій 020, 025, 030, 035 базового технологічного процесу становив 31,56 хв, в проектному технологічному процечі штучний час обробки на операції 020 за рахунок зменшення частки допоміжного часу та застосування прогресивного сучасного різального інструменту становить 17,95 хв., тобто зменшився майже в 2 рази;

- застосування більш продуктивного обладнання на операціях 005, 015 та 025, зокрема на операції 005 застосовано вертикально-свердлильний верстат з числовим програмним управлінням та 6-ти позиційною револьверною голівкою моделі 2P118Ф2, що дозволило скоротити час на прийоми управління верстатом завдяки автоматичній зміні інструмента, що дало змогу знизити штучний час обробки на даних операціях з 18,14 хв. до 14,64 хв., тобто на 3,5 хв.;

- застосування більш прогресивного вимірювального інструменту, що дало змогу скоротити час вимірювання порівняно з базовим технологічним процесом на 2,78 хв.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Іщук С.О. *Розвиток машинобудування в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення. Монографія* – Львів: ДУ “Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього НАН України”, 2022 – 137 с.

2. Муляр Ю.І. *Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина 1: навчальний посібник* / Ю.І. Муляр, С.В. Репінський. – Вінниця:ВНТУ, 2019. – 99с.

3. Нестеренко О.В. *Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень. Навчальний посібник* / О.В. Нестеренко, О.І. Савенков, О.О. Фаловський – Київ – 2016 – 188с.

4. Бондаренко С.Г. *Технології механоскладального виробництва: Монографія.- Ніжин: ТОВ “Видавництво “Аспект-Поліграф”. 2008. - 358с.*

Кібальник К.В., Швець С.В. (Сумський державний університет, м. Суми, Україна)

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ЗНОШУВАННЯ ЛЕЗА

Якість обробки деталей і продуктивність процесу значною мірою залежать від стійкості різальних інструментів, тому аналітичне визначення роботи зношення при заданих величинах зношень інструмента мають визначальне значення для розробки програмного забезпечення для роботи верстатів з ЧПК. Це дозволяє застосувати оптимальні параметри технологічного процесу при наявних геометрії і інструментального матеріалу різального клину, що сприятиме забезпеченню необхідних параметрів якості виробів при максимальній продуктивності.

The quality of processing parts and the productivity of the process largely depend on the stability of cutting tools, therefore, the analytical determination of the work of wear at given values of wear of the tool is of decisive importance for the development of software for the operation of CNC machines. This allows you to apply the optimal parameters of the technological process with the available geometry and tool material of the cutting wedge, which will contribute to ensuring the necessary quality parameters of the products at maximum productivity.

У процесі різання можливі різні види зношування лез [1–6]. Можливе температурне зношування, в результаті якого лезо втрачає свою геометричну форму під дією температури, що перевищує критичне значення для даного інструментального матеріалу. Лезо може розтріскуватися при різкій зміні температур на його поверхнях або руйнуватися при ударах і утворенні напружень, що перевищують межу міцності інструментального матеріалу. Такі види зношування можна запобігти, регулюючи силові і теплові навантаження.

Однак незношуваних кінематичних пар не існує. При терті двох різних за міцністю матеріалів зношуються (руйнуються) обидва матеріали. Це пов'язано з тим, що при терті відбувається циклічне навантаження контактуючих областей і послаблюється поверхня навіть більш міцного матеріалу. Таким чином, зношування інструментального матеріалу при його контакті з оброблюваним неминуче, навіть при мінімальних теплових і силових навантаженнях в зоні різання. Але, як відомо, утворення стружки відбувається в умовах високих температур і тисків. На рис.1а, відповідно до [7, 8], показані вогнища схоплювання оброблюваного (зверху) та інструментального (знизу) матеріалів. При одиничній взаємодії руйнується оброблюваний матеріал. Інструментальний матеріал (як більш міцний) не пошкоджується. Але багаторазове повторення цього процесу викликає втомні явища на поверхні леза. Межа міцності інструментального матеріалу в області циклічного схоплювання знижується і, в певний момент, відбувається руйнування. Найбільша кількість таких схоплювань це гранична кількість циклів навантаження мікро ділянок. Лавина мікро руйнування - зношення.

Це адгезійно-втомне зношування. Втомне зношування може спостерігатися і без адгезії. На рисунку 1б показаний періодичний (циклічний) контакт області, виступу, інструментального матеріалу з оброблюваним при їх відносному переміщенні.

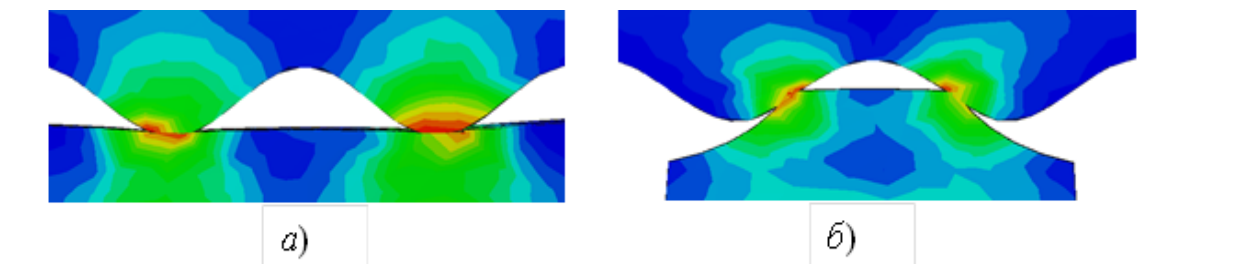


Рисунок 1 – Контакт мікронерівностей оброблюваного і інструментального матеріалів

Отже, при правильній технологічній та інструментальній підготовці, яка виключає критичні сили і температури на поверхнях леза, його зношування відбувається в результаті втомних явищ, які розвиваються під впливом циклічного навантаження мікро нерівностей його поверхні об'ємами оброблюваного матеріалу.

Метою роботи є створення аналітичних залежностей для визначення роботи зношення лез із різного інструментального матеріалу з заданою геометрією.

Повна робота зношування леза дорівнює:

$$U = \sigma_c \cdot z \int dW = \sigma_c z W . \quad (1)$$

де σ_c – межа міцності при стисненні інструментального матеріалу (для Т15К6 становить 4,12 ГПа);

dW – зруйнований в результаті зношування елементарний об'єм;

z – граничне, руйнуюче число циклів для інструментального матеріалу (для ВК8, Т15К6 $z = 10^5 - 10^6$ [9]).

Вибираючи значення геометрії леза (задні кути α і α^1 , кути в плані ϕ і ϕ^1 , передній кут γ , кут нахилу ріжучої кромки λ), використовуючи можливості сучасних графічних редакторів, можна розрахувати зношений об'єм W при заданому зношуванні по задній поверхні h_3 . Але це досить складно. Для інженерних розрахунків необхідно мати просту математичну залежність, яку можна створити на підставі аналізу електронної моделі зношування леза.

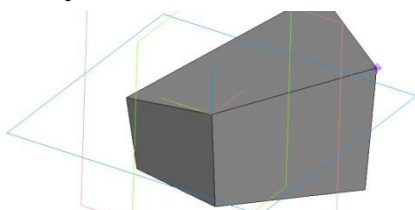


Рисунок 2 – Параметрична модель леза

Для цього створюють електронну параметричну модель леза різального інструмента, яка із заготовки у вигляді паралелепіпеда при встановленні необхідних значень кутів (γ , α , α^1 , ϕ , ϕ^1 , λ) формує відповідну різальну частину (рис. 2).

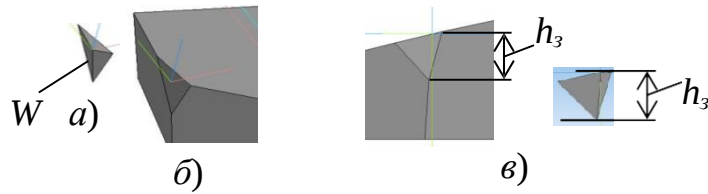


Рисунок 3 – Зношений об'єм і зношення по задній поверхні

Задають величину радіального зношення, h_r , як відстань від координатної площини YZ до створеної паралельної до неї площини і розтинають лезо по цій площині. Отримують зношений, при досягненні радіального зношення h_r , об'єм інструментального матеріалу W (рис. 3а) і зношену задню поверхню (рис. 3б), величина якої оцінюється як «зношення по задній поверхні» h_3 (рис. 3в).

Змінюючи геометрію леза визначають значення зношеного об'єму і зношення по задній поверхні. Будують степеневі залежності зношеного об'єму W від геометрії і визначають показники степені. Наприклад, залежність зношення по задній поверхні h_3 від значення головного заднього кута α при будь-якому радіальному зношенні така, що (рис. 4) показник дорівнює $x_\alpha = -0,27$.

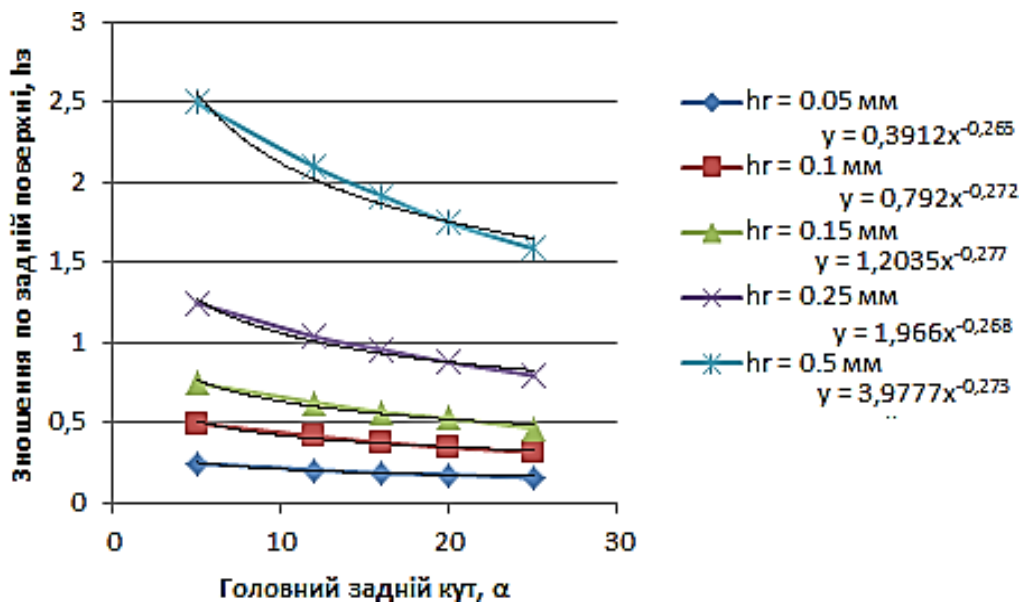


Рисунок 4 – Залежності зношення по задній поверхні від головного заднього кута при різних значеннях радіального зношення

Визначені показники степеню дозволяють записати вираз для розрахунку зношеного об'єму при різних значеннях геометричних параметрів леза і радіального зношення:

$$W_r = C_r \cdot \varphi^{x_\varphi} \cdot (\varphi^1)^{x_{\varphi^1}} \cdot \alpha^{x_\alpha} \cdot (\alpha^1)^{x_{\alpha^1}} \cdot (\gamma + 45)^{x_\gamma} \cdot (\lambda + 45)^{x_\lambda} \cdot h_r^{x_{hr}}. \quad (2)$$

При цьому показники степеню:

$$x_\varphi = -0,508; \quad x_{\varphi^1} = -0,95; \quad x_\alpha = -0,269; \quad x_{\alpha^1} = -0,73; \quad x_\gamma = -0,103; \\ x_\lambda = 0,1016; \quad x_{hr} = 2,999.$$

Значення C визначається за величиною зношеного об'єму W при вихідній геометрії леза ($\gamma=0^\circ$, $\alpha=12^\circ$, $\alpha^1=12^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi^1=15^\circ$, $\lambda=0^\circ$) і радіальному зношенні $h_r=0,25$ мм. За таких умов $W=0,51979$ мм³. Тоді:

$$C_r = \frac{W}{\varphi^{x\varphi} \cdot (\varphi^1)^x \cdot \alpha^{x\alpha} \cdot (\alpha^1)^x \cdot (\gamma+45)^{x\gamma} \cdot (\lambda+45)^{x\lambda} \cdot h_r^{xh_r}} \quad (3)$$

Підставивши значення усіх параметрів у формулу 3 отримують:

$$C_r = 3,622 \cdot 10^3 \quad (4)$$

Остаточню:

$$W_r = 3,622 \cdot 10^3 \cdot \varphi^{-0,508} \cdot (\varphi^1)^{-0,95} \cdot \alpha^{-0,269} \cdot (\alpha^1)^{-0,73} \cdot (\gamma + 45)^{-0,103} \cdot (\lambda + 45)^{0,1016} \cdot h_r^{2,999} \text{ мм}^3 \quad (5)$$

Так само визначають:

$$W_h = 48,969 \cdot \varphi^{-0,508} \cdot (\varphi^1)^{-0,95} \cdot \alpha^{-0,269} \cdot (\alpha^1)^{-0,73} \cdot (\gamma + 45)^{-0,103} \cdot (\lambda + 45)^{0,1016} \cdot h_3^{2,994} \text{ мм}^3 \quad (6)$$

Формули (5) і (6) підставляють в (1).

Висновки. Використовуючи електронну модель леза отримана математична залежність роботи його зношення від заданої геометрії. Дослідження впливу геометрії леза і параметрів зношення по задній поверхні на виконану при цьому роботу показують, що отримані формули дозволяють розрахувати значення роботи зношення лез з різноманітною геометрією при будь-якому об'ємі зношення інструментального матеріалу, а аналітичне визначення роботи зношення має визначальне значення для розробки оптимального технологічного процесу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ.

1. *Mechatronic systems design and solid materials. Methods and Practices* / Satya Bir Singh, Prabhat Ranjan, Alexander V. Vakhrushev, A. K. Haghi - CRC Press, 2021. – 241 pp.
2. Astakhov V.P. *Technical Resource of the Cutting Wedge is the Foundation of the Machining Regime Determination* / V.P.Astakhov, S.V.Shvets – International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering, Volume 10, Issue 2. – P.1-17, 2020.
3. Kyocera, Cutting Tools. – <https://drive.google.com/file/d/0B5EvNkX0NB96MnJTVzlNQjM4TW8/view>.
4. *Metal Cutting Technology. Training Handbook* - Sandvik Coromant, 2009. – 358 pp. – <http://www.twirpx.com/file/1436182/>.
5. Loladze T.N. *Requirements of Tool Material - Advances in Machine Tool design and research. Proceedings of the 8TH International M.T.D.R. conference university of Manchester, hftr 2*, Pergamon press, 1967. – Pp. 821 – 843.
6. Braithwaite E.R. *Solid lubricants and surfaces*. – Pergamon press, Oxford – London – New York – Paris, 1964. – 285 pp.
7. Report No. MD – 07 – SP708B4F. *Development of Friction Improvement Policies and Guidelines for the Maryland State Highway Administration* / Richard Speir, Tara Puzin, Roberto Barcena, Praveen Desaraju, 2009. – 53 pp.
8. Nicola De Laurentis, Amir Kadiric, Piet Lugt, Philippa Cann. *The influence of bearing grease composition on friction in rolling/sliding concentrated contacts* – Tribology International 94, 2016. – Pp. 624 – 632.

Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Зуєв І.О. (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ РОЗВИТКУ ЛОКАЛЬНИХ ДЕФЕКТІВ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ ДЕТАЛЕЙ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ З СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Дослідження присвячені підвищенню експлуатаційної надійності машин і механізмів гірничо-металургійного комплексу за рахунок збереження ресурсу поверхонь тертя вибором, обґрунтуванням та впровадженням методів діагностичного виявлення їх локальних дефектів.

Research is devoted to increasing the operational reliability of machines and mechanisms of the mining and metallurgical complex due to the preservation of the resource of friction surfaces by choosing, substantiating and implementing methods of diagnostic detection of their local defects.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.

Робочі процеси на поверхнях тертя обумовлюють інтенсивність їх спрацювання, яке завжди починається з утворення локальних пошкоджень, які прискорюють темп їх накопичення, змінюють характер динамічної взаємодії поверхонь тертя. Якщо не змінити характер впливу, як конструкторських так і експлуатаційних факторів, що визначають рівень деструктивних сил, будемо мати поступову втрату працездатності і втрату ресурсу об'єкту експлуатації взагалі [1].

З одного боку зниження витрат на подолання сил тертя досягається досконалістю технологічних механізмів і машин, що застосовуються у виробничих системах, з іншого – готовністю персоналу, що відповідає за експлуатацію, до розробки заходів запобігання впливу факторів, що можуть змінити вигляд і режими тертя та зношування працюючого механізму незалежно від його досконалості.

Вивчені факти доводять, що подолання сил тертя і втрата ресурсу поверхонь тертя мають свої об'єктивні закономірності, але механізм цих втрат повинен стати зрозумілим і підлягати свідомому керуванню в експлуатації машин [2].

Аналіз досліджень і публікацій.

Діагностична інформація про вплив локальних дефектів на ресурс поверхонь тертя отримується при дослідженні зв'язку між тертям і коливаннями поверхонь тертя при здійсненні робочих процесів.

Існує тісний взаємозв'язок: тертя здатне породжувати коливання, які залежать від сталості процесів тертя. У разі зародження, розвитку локальних дефектів на поверхнях тертя параметри коливань змінюються, що стає джерелом інформації про їх наявність [3].

У цілях спрощення аналізу даних явищ на фрикційному контакті подальший виклад заснований на уявленні про визначальне значення у формуванні сили тертя нормального до поверхні тертя навантаження і відповідною цьому навантаженню нормальної контактної деформації (закон Амонтона) .

Постановка завдання.

Тож з'явилась необхідність розробити технологію діагностування процесів утворення та розвитку локальних дефектів на поверхні тертя розглядаючи кожний вузол системи, як механічний резонатор локального дефекту з амплітудою впливу, зворотно пропорційною відстані від джерела.

Викладення матеріалу та результати.

Основним деградаційним явищем, що приводить до раптових відмов пар тертя в механічних передачах чи механізмах є розвиток локальних дефектів контактуючих поверхонь, таких як, зародження мікротріщин, вищерблення, пітінгу або задиру. Існує декілька груп методів діагностики названих дефектів [4]: 1-й – орієнтується на вилучення діагностичної інформації з складових сигналів в зонах основних частот вимушених коливань; 2-а – група орієнтується на інформацію у зонах власних частот механізму; 3-я – група орієнтується на інформацію, яка отримується при вимірюванні і реєстрації ударних імпульсів, параметри яких залежить від стану, поверхонь кочення і колової швидкості. Прискорення частинок матеріалу в точці удару викликає хвилю стиснення, яка у вигляді ультразвукових коливань розподіляється на всіх напрямках по тілу деталі. Визначення стану підшипників кочення і якості їх мастила здійснюється при цьому методом ударних імпульсів; 4-а – група орієнтується на інформацію про наявність локальних дефектів, яка досліджується через визначення додаткових енергетичних витрат на забезпечення працездатності технологічних агрегатів, вивчення якого доцільно провести з використанням визначеного критерію енергетичного забезпечення працездатності. Під працездатністю [5] розуміють стан об'єкта, при якому він здатний виконувати покладені на нього функції з параметрами встановленими вимогами технічної документації. 5-а – група орієнтується на інформації про наявність локальних дефектів, яка встановлюється через визначення характеристик механічних коливань за допомогою використання апарату теорії ймовірностей та математичної статистики для встановлення часових

закономірностей зміни стану відповідного об'єкту дослідження, 6-а – група орієнтується на інформації про наявність локальних дефектів, яка встановлюється через визначення характеристик механічних коливань за допомогою методів розпізнавання класів технічних станів.

Тож проаналізуємо кожен метод діагностики названих дефектів.

1. Вилучення діагностичної інформації щодо наявності локальних дефектів на поверхнях тертя зі складових сигналів в зонах основних частот вимушених коливань базуються на тому факті, що виникнення і розвиток пошкоджень контактуючих поверхонь за часом напрацювання механізму супроводжується появою у віброакустичному сигналі сплесків і ударних імпульсів. З розвитком дефекту інтенсивність ударних імпульсів значно зростає, спричиняючи збільшення амплітудної модуляції (АМ) основних частот збудження при піттингу і збільшенні індексу частотної модуляції (ЧМ) тих же частот при задирі.

Досить чутливою ознакою локальних дефектів є n -мірні вектори, сформовані зі складових огинаючого спектру (АМ або ЧМ) однієї з вимушених частот дефектного вузла.

У обох випадках в спектрі коливального процесу в границях вимушеної частоти f_b з'являються або посилюються комбінаційні частоти $(kf \pm l f_1)$, де, $l=1,2,\dots$ що свідчить про розвиток локального дефекту.

2. Вилучення діагностичної інформації, щодо наявності локальних дефектів на поверхнях тертя, може бути досягнутим з інформації про зміну параметрів коливань в зонах власних частот механізму. Імпульсна послідовність пульсацій навантаження $F(t)$ типу ударних збурень, виникаючих при попаданні локального дефекту в зону контакту або у момент схоплювання контактуючих поверхонь, викликає відгук механічної системи на власній частоті дефектного вузла у вигляді осцилюючих коливань типу АЧМ. Спектр відгуку складної механічної системи з n -мірами свободи на короткі імпульси є широкосмуговим і найкраще на такого роду впливу відгукуються власні частоти сусідніх до джерела збудження вузлів механізму. Найбільша амплітуда відгуку спостерігається на одній з власних частот дефектного вузла.

Таким чином, якщо відомі "власні частоти" слабких вузлів механізму і частоти прокочування дефектів, то можна використати наступну схему постановки діагнозу:

1 - зняття АЧХ механізму і визначення f_c вузлів, найбільш схильних до зносу і поломок;

2 - визначення частот попадання дефектів слабкого вузла в зону контакту;

3 - формування еталонного n -мірного вектора спектральних відліків до f – амплітудної згинаючої віброакустичного сигналу в зоні власної частоти вузла при його нормальному стані;

4 - періодично проводиться порівняння потокового вектора з еталонним;

5 - вихід за межі допустимих значень близькості векторів, отриманих на етапі навчання, буде служити сигналом про розвиток локального дефекту в даному вузлі.

3. Вилучення діагностичної інформації щодо наявності локальних дефектів на поверхнях тертя може бути досягнутим з використанням методу ударних імпульсів. Для вимірювання ударних імпульсів використовується п'єзоелектричний датчик, на який не впливає фон вібрації і шум. Датчик механічно і електрично налаштований на частоту в 28...32 кГц. Величина ударних імпульсів, що генеруються звичайним підшипником, збільшується в 1000 разів, починаючи від того моменту, коли він був новим, і закінчуючи моментом, коли його слід замінити. Для спрощення прочитування таких великих величин застосовується шкала, відградуйована в децибелах.

4. Отримання діагностичної інформації, щодо наявності локальних дефектів на поверхнях тертя, може бути досягнутим шляхом оцінки додаткових витрат енергії на подолання кінематичних перешкод створених локальними дефектами. Діагностичну оцінку додаткових енергетичних витрат на забезпечення працездатності технологічних агрегатів доцільно провести з використанням визначеного критерію енергетичного забезпечення працездатності „ E ”. Ці витрати енергії стають пропорційними „ X ” і можуть бути визначеними за наступним виразом [5]

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df, \quad (1)$$

де E, X, f – відповідно повна енергія, амплітуда і частота коливального збудження машини.

Відносно вібраційного стану машин і механізмів потрібно зауважити, що ідеально створена і налагоджена машина не має джерел коливального збудження, тобто працює без вібрацій. Поява вібрацій засвідчує про появу дефектів, пошкоджень, що змінили технічні параметри машини, а це вимагає додаткових витрат енергії на збереження динамічної рівноваги механізмів при виконанні робочого процесу. Рівень допустимої вібрації регламентується світовими і регіональними стандартами, наприклад ISO 10816, 2372, VDI 2056, DIN 45655. Дослідження проведенні в [8] показали, що принципом призначення граничних норм вібрації в основних стандартах є регламентація потужності, що витрачає привід на збудження вібрації механізму, в якому, в

наслідок неналежного налагодження, спрацювання, пошкоджень, змінилися параметри балансування, жорсткості, власні частоти резонансу. Таким чином досягнення граничного рівня вібрації машини, або робота біля граничних рівнів, свідчить про додаткові витрати енергії приводу (до 15%).

Цей висновок, при сприйнятті рівня коливального збудження машини, як універсального критерію, що корелюється з величиною додаткових витрат енергії приводу, приводить до простих шляхів зменшення до 15% енерговитрат, за рахунок організації експлуатації з мінімальними рівнем коливального збудження механізмів. Додатково при такій організації експлуатації вдається скоротити до 25-30% експлуатаційних витрат в собівартості виробництва [5].

5. Отримання діагностичної інформації, щодо наявності локальних дефектів на поверхнях тертя, може бути досягнутим шляхом визначення параметрів працездатності робочих поверхонь $R=\{r_1, r_2... r_m\}$. При цьому технічний стан технологічних машин оцінюється множиною (m) параметрів r_i , зміна яких за час напрацювання приводить до збільшення енергетичних витрат. У теорії надійності, експлуатаційні властивості механізмів і машин, а, відповідно і витрат додаткової енергії на забезпечення їх працездатності, визначаються за допомогою використання апарату теорії ймовірностей, математичної статистики для встановлення часових закономірностей зміни стану відповідного об'єкту дослідження. Методи математичної статистики, теорії ймовірностей вивчають масові явища і отримані результати розповсюджуються на об'єкти, які можуть входити в генеральну сукупність. На цій базі створювалися існуючі системи контролю за динамікою зміни технічного стану і профілактичного обслуговування. Проте для конкретної машини характерні цілком конкретні фізичні і хімічні процеси, що протікають в матеріалах деталей механізмів при їх експлуатації і що спричиняють старіння матеріалів і їх знос, пошкодження і руйнування елементів. Ці процеси обумовлюють конструктивні, технологічні і експлуатаційні чинники, які при побічному визначенні можна представити у вигляді вектора-стовпця $X=\{x_1, x_2... x_k\}$. Тоді технічний стан машини можна розглядати як векторний випадковий процес $R(t)=L(x, t)$, де L -оператор впливів факторів процесів спрацювання і якості експлуатації, t - година дії чинника x_i на параметри r_i .

У теорії надійності таке визначення технічного стану об'єкта передбачає, що між параметрами працездатності і чинниками впливів $x_i(t)$ існують не функціональні, а ймовірні залежності. Такий підхід, при повній його коректності довго і стійко визначав і обґрунтовував витратні технології експлуатації систем технологічних машин, розповсюджуючи на регламент

експлуатації конкретної машини, правила функціонування статистичної сукупності машин.

У проведених дослідженнях зроблена спроба оцінити технічний стан машини виходячи з передумови, що в залежності $R(t)=L(x, t)$, де L - оператор зв'язку факторного простору X і простори параметрів працездатності R , мають функціональні співвідношення. Це можливе, якщо використати множини статичних параметрів типу температур, тиску і ін., що визначаються для конкретної машини, у поєднанні з інтегральною оцінкою динамічних реакцій машини, механізму або вузла на її робочий процес. Ці динамічні реакції є результатом взаємодії деталей механізму в процесі його функціонування і являють собою механічні коливання і пружні хвилі машини, що розповсюджуються по конструктивних елементах. Ці реакції інструментально вимірюються у вигляді фізичних параметрів: зміщень, швидкостей, прискорень контрольних точок машини.

Таким чином, всяка зміна параметрів працездатності конкретної машини приводить до зміни характеру взаємодії її елементів, тобто існує функціональний зв'язок між технічним станом машини і сукупністю статичних і динамічних параметрів конкретної машини. Зміна параметрів працездатності конкретної машини під впливом різних дефектів і несправностей відбувається на фоні зміни статичних параметрів функціонування машини, а також частотних і динамічних діапазонів коливальних процесів, які на рівні з інерційністю статичних параметрів, практично вмиють реагують на зміну технічного стану машини. Дослідження в [5, 6, 7, 8] доводять, що ці властивості є переважаючими в завданнях запобігання аварійним ситуаціям. Таким чином, наявність оперативних даних про технічний стан конкретної машини дає можливість ухвалювати рішення про об'єми, зміст і момент профілактичних і ремонтних впливів з метою забезпечення необхідного рівня енерговитрат на підтримку працездатності машини при мінімумі об'єктивно необхідних матеріальних витрат на їх здійснення.

Згідно з прийнятою концепцією динамічні процеси в технологічній або енергетичній машині посилюються або змінюються при появі дефектів або несправностей. Реєстрація динамічних реакцій виконується за допомогою відповідних вимірювальних засобів. Таким чином, прийнято вважати [6], що функціонуючий механізм треба розглядати як деякий перетворювач A параметрів його технічного стану r_i в параметри динамічних реакцій u_j тобто:

$$\{X\}=A\{R\}, \quad (2)$$

де $\{X\} = \{x_j^{(1)}, \dots, x_n^{(t)}\}$ – вектор ознак технічного стану в n -мірному прикметному просторі.

6. Отримання діагностичної інформації щодо наявності локальних дефектів на поверхнях тертя можливо проводити через визначення характеристик механічних коливань за допомогою методів розпізнавання класів технічних станів.

Застосування цього методу в експлуатації ускладнене потребою застосування спеціальної апаратури і визначення власних частот механізмів. При проведенні досліджень доведено, що такий ефект діагностування досягається при використанні цифрових методів дослідження спектральної щільності потужності коливальних процесів, які розроблені у [8].

Висновки та напрямки подальших досліджень.

Співставлення можливостей наведених методів орієнтує на виконання діагностичного моніторингу тільки на основі функціональних методів діагностики, які забезпечують безрозбірну ідентифікацію технічного стану обладнання без виводу його з експлуатації за методом накопиченої вибірки узагальнюючого параметра технічного стану як часової функції.

Відповідно до вимог до вибору методу моніторингу технічного стану встановлено, що найбільш інформативним, найбільш чутливим методом оперативної оцінки у режимі реального часу процесів спрацювання механізмів, що викликають додаткові витрати енергії приводу є метод оцінки ступеню і інтенсивності спрацювання за критеріями зростання потужності коливального збудження зони взаємодії деталей механізмів при появі, розвитку дефектів та накопичення пошкоджень від їх дії.

З огляду на цей висновок визначено, що методи віброакустичної діагностики найбільш відповідають встановленим вимогам, забезпечуючи контроль наявності локальних дефектів оперативно, без розбирання і дешевше альтернативних методів. Метод вібродіагностичного моніторингу зручний тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр „ X ” інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей.

Дослідженнями провідних вчених [2, 3, 9, 10] доведено, що 90% дефектів і пошкоджень машини у першу чергу змінюють рівні і характеристики її вібрації.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Будник А.Ф., Юскаєв В.Б. Б-90 Фізика та механіка трибодизайну матеріалів: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 203 с.

2. Sosnovskiy, L.: *Tribo-Fatigue: Wear-Fatigue Damage and its Prediction*. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG, Berlin (2005)
3. Menezes, P., Nosonovsky, M., Ingole, S.P., Kailas, S.V., Lovell, M.R.: *Tribology for Scientists and Engineers* Springer. New York Heidelberg Dordrecht London (2013)
4. Kiyanovsky M., Tsyvinda N., Nechayev V., Kravtsova D. *Design Measures to Reduce Specific Loads on Support Surfaces of Slide Bearings* / M. Kiyanovsky et al. *Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2022. P. 23–31. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_3
5. М.В. Кіяновський, Н.І. Цивінда, О.В. Чернявська Л.І. Лаухіна, І.О. Зуєв *Пояснення процесів втрати працездатності машин за енергетичними прикметами їх фізичної природи/ Розвиток промисловості та суспільства: Збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції. 19 -21 травня 2021 р. /Кривий Ріг : Криворізький національний університет, 2021.-С. 84*
6. Кіяновський М. В., Цивінда Н. І., Пікільняк А. В., Третяк В. В. *Вибір моделей для адаптивного керування надійністю промислового обладнання «за станом» /Авіаційно-космічна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. Харків «ХАІ», 2020, Випуск № 7(167), С. 137-146*
7. M.V. Kiyanovskyi, N.I. Tsyvinda *Control over the technical condition of mechanical components of industrial equipment based on energy parameter of its deterioration /Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1, 29 - 30 квітня 2020 р. м. Чернігів, С.35-37*
8. Кіяновський М. В. *Діагностичне забезпечення технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) гірничо-металургійного обладнання [Текст]. – Кривий Ріг. Вид-во «Окнант принт», 216. -364 с.*
9. Pavlenko, I., Simonovskiy, V., Ivanov, V., Zajac, J., Pitel, J.: *Application of Artificial Neural Network for Identification of Bearing Stiffness Characteristics in Rotor Dynamics Analysis*. In: Ivanov, V., et al. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE-2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 325-335. Springer, Cham, (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_34
10. Song, F., Yang, X., Dong, W. et al. *Research and prospect of textured sliding bearing*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 121, 1–25 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09281-2>

Кобилецький О.В., Сліпчук А.М., Яким Р.С. (Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна)

СТВОРЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ НА ОСНОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Досліджено характер взаємодії, як одиничного зубка на породу вибою, так і комплексу, сумісну дію сусідніх зубців вінця шарошки. На основі отриманих результатів сформована структура експлуатаційних функцій. Встановлено характер розподілу напружень, який дає можливість формувати комплекс конструкторсько-технологічних задач кінцевою метою розв'язання яких є зменшення величини концентрації напружень в з'єднанні «зубок-шарошка», а також у тілі шарошок.

The nature of the interaction of both a single tooth on the rock, and the complex, combined action of the adjacent teeth of the crown of the chipper, was studied. Based on the obtained results, the structure of operational functions was formed. The nature of the stress distribution has been established, which makes it possible to form a complex of design and technological problems, the ultimate goal of which is to reduce the stress concentration in the "tooth-shell" connection, as well as in the body of the shells.

Постановка проблеми. Для створення функціонально-орієнтованих технологій необхідне ретельне вивчення і встановлення кореляційних зв'язків між видами технологічних операцій, їхніми параметрами та експлуатаційними й функціональними властивостями тришарошкових бурових доліт. Відтак конструкція долота розглядається як упорядкована ієрархія виконавчих фрагментів та поверхонь. На основі цього формується маршрутна технологія виготовлення долота. Важливою і вихідною базою для розробки функціонально-орієнтованої технології є ґрунтовне комплексне вивчення особливостей експлуатації та причин втрати працездатності тришарошкових бурових доліт. Важливим є встановлення експлуатаційних чинників на мікрозони, макрозони і ділянки долота. Також важливо встановити параметри мікрозон, макрозон і ділянок долота, в яких діють конкретні експлуатаційні функції. Таке вивчення зручно здійснювати застосовуючи метод декомпозиції [1]. Основним елементом такого підходу є системне опрацювання й вивчення елемента конструкції, а потім цілого долота. Це здійснюється одночасним і комплексним вивченням методів забезпечення якісних вимог щодо конструкції, застосування конструкційних матеріалів та технологічних методів виготовлення. При цьому застосовується принцип сумісності множин показників якості (матеріалів, конструкції, технології, експлуатації).

За рахунок своїх внутрішніх властивостей кожен елемент шарошкового долота (на своєму ієрархічному рівні складності) в процесі буріння виконує одну чи декілька визначених елементарних технічних функцій для

здійснення ним заданої цільової функції. Фізичний зміст цієї функції – руйнування породи і формування стінок свердловини й вибою. При цьому граничними умовами є забезпечення заданого ресурсу долота. Як відомо, все це забезпечується комплексним вирішенням множини конструкторсько-технологічних задач на основних етапах створення бурових доліт, що загалом формує систему показників якості тришарошкового бурового долота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [2-5] елементом функціонального аналізу є з'єднання «зубок-шарошка», яке далі аналізується, як система, що включає декілька вставних твердосплавних зубків на вінці і т. д. При цьому функціональною (виконавчою) зоною є ділянки спряжені поверхонь з'єднання «зубок-шарошка», які виконують задану множину сумісних функцій при бурінні породи. Функціональним (виконавчим) елементом шарошки є елементарна частина функціональної зони, що виконує елементарні функції. Проте, виявлено необхідність поглибленого підходу до розробки необхідного об'єму і змісту масиву конструкторсько-технологічних рішень. Мається на увазі ступінь пропрацювання, а саме застосування функціонально-орієнтованого підходу [3] до розширення масиву конструкторсько-технологічних рішень. Також у роботі [4, 5] немає чіткого розмежування границь у яких застосовуються спеціальні технологічні методи, операції та процеси, обладнання, засоби технологічного оснащення тощо. Необхідна глибока формалізації ієрархічної структури тришарошкового бурового долота та здійснити розчленування на ієрархічні складові, аж до кінцевих елементів.

Зокрема автори робіт [6, 7] розглядають шарошку з вставним породоруйнівним оснащенням можна структурувати визначеною сукупністю виконавчих зон і елементів – вінці шарошки, породоруйнівне вставне оснащення, спряження в з'єднанні «зубок-шарошка», міжвінцеві ділянки тощо.

Постановка задачі. Відомо, що руйнування породи тришарошковими буровими долотами здійснюється нанесенням послідовних впливів вражаючою частиною вставного твердосплавного оснащення шарошок. Перекочування шарошок по вибою здійснює динамічний вплив через почергову зміну контакту зубків з породою вибою, а осьове навантаження на долото забезпечує втискування вражаючої частини зубків у породу вибою. Відтак, за циклічним законом на вибої формується й щораз змінюється специфічна картина мінівибоїн і кратерів – наслідків одиничного руйнування породи. Ця картина залежить від конструктивних параметрів породоруйнівного оснащення шарошок та їхньої орієнтації в тришарошковому долоті. Також важливий вплив здійснює характер зносу й руйнування вставних зубків. В процесі буріння породоруйнівне оснащення, а також робочі відповідальні ділянки шарошок (вінці, ділянки між вінцями, тильні частини конусів шарошок) зазнають інтенсивного зношування й руйнування. Це спричинює до різкого зниження якості руйнування породи

вибою, зменшення ефективності буріння. З іншої сторони відомо, що якість породоруйнівного оснащення шарошок визначається якісним вирішенням комплексу конструкторсько-технологічних задач на основних етапах життєвого циклу тришарошкових бурових доліт. Зокрема визначальними є вирішення таких задач:

- обґрунтоване застосування ефективних конструкційних матеріалів та розроблення технології для отримання заданих структур й характеру розподілу фізико-механічних показників в деталях шарошкових доліт [5];
- розроблення ефективної конструкції породоруйнівних елементів шарошок;
- розроблення ефективної конструкції розташування породоруйнівних елементів на вінцях шарошок;
- розроблення функціонально-орієнтованої технології виготовлення шарошок бурових доліт з вставним твердосплавним породоруйнівним оснащенням.

Тут є декілька аспектів. Перший стосується характеру розподілу зусиль і напружень що характеризують процес ефективного руйнування породи вибою. Другий – характеру напруженого стану у з'єднанні «твердосплавний зубок – тіло шарошки», що визначає надійність кріплення вставного породоруйнівного оснащення [1].

На основі систематизації отриманих даних з декомпозиції розробляється маршрутна технологія функціонально-орієнтованого технологічного процесу на базі особливих принципів орієнтування технологічних впливів що формують якісні показники функціональних елементів та тришарошкового бурового долота в цілому.

Основний матеріал. З класичної точки зору [2], реалізація конструкторсько-технологічних рішень передбачає:

- технічно-орієнтоване проектування долота і його елементів на базі типових конструкторсько-технологічних рішень;
- паралельну технологічну підготовку виробництва (з урахуванням технологічних засобів представлених в конструкторсько-технологічних рішеннях);
- виготовлення доліт.

Взаємодія зубка з породою відбувається при втискуванні з силою $\vec{R} \rightarrow_3$ (рис. 1) й з одночасною участю зубка в складному русі, що зумовлюється кінематикою долота, а саме: переносному русі і відносному обертанні з певним значенням кутової швидкості. В зоні контакту також виникає сила ковзання $\vec{K} \rightarrow_3$, яка направлена протилежно напрямку вектора швидкості.

Розглядаючи момент стикання вражаючої частини зубка з породою вибою, його швидкість руху залежатиме від параметрів конструкції шарошки, числа зубків на вінці і швидкості обертання шарошки:

$$\vec{V}_3 = \vec{V}_{III} + (\vec{\omega}_3 \cdot r_3) = b \frac{\pi n_D r_D}{60 r_{III}}$$

де r_3 – радіус від осі зубка до миттєвого центру обертання шарошки, b – крок зубків на вінці, n_d – кількість обертів долота в одиницю часу, r_d – радіус долота, r_{III} – радіус вінця шарошки.

Сила $\vec{R}$ контактної взаємодії породоруйнівного оснащення з породою залежить від кількості зубків z_i , що одночасно знаходяться у контакті з породою вибою:

$$\vec{R} = \frac{Q}{z_i}.$$

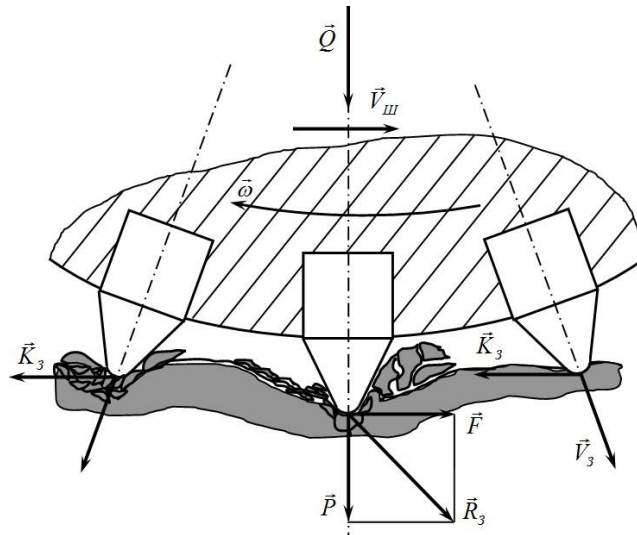


Рисунок 1 – Схема взаємодії твердосплавних зубків шарошки з породою вибою

Максимальні горизонтальні і вертикальні складові контактної сили (рис. 2, а) можна визначити через кут контакту β зубка з породою β :

$$\beta = \arcsin \left(\sin \frac{\pi}{z} \cos \phi \right),$$

де z – кількість зубків на вінці шарошки, ϕ – кут нахилу твірної вінця до осі шарошки.

Аналізуючи взаємодію зубків з поверхнею вибою на початку буріння спостерігали два основні види навантаження (рис. 2). Коли два зубки контактують із породою маємо максимальні значення горизонтальної складової згинаючого моменту, що діє на тіло зубка. Тут, при обертанні шарошки в зоні контакту матимемо найбільші значення сил ковзання. У випадку коли вісь симетрії зубка співпадає з лінією дії контактної сили будуть рівні нулю сили згинання й ковзання. Якщо долото має зміщені осі шарошок то на зубок буде діяти крутий момент і сила ковзання буде виникати у площині дії крутного моменту. Загалом, зубки знаходяться під дією складного комплексу сил, що змінюються, як за напрямком так і за величиною, в часі циклічно відповідно до кінематики руху шарошки по

вибою.

Розглядаючи горизонтальну складову контактної сили (рис. 2) в проміжок часу коли зубок контактує з породою, яка змінюється за законом

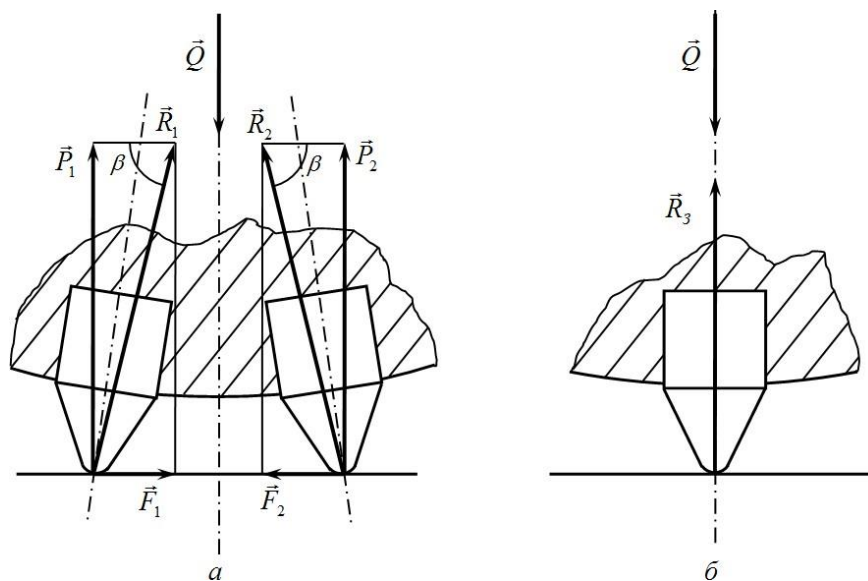
$$-R \sin \beta < 0 < +R \sin \beta,$$

можна визначити знакозмінні циклічні напруження в системі з'єднання «твердосплавний зубок – шарошка».

Число динамічних впливів породоруйнівних елементів що розташовані на вінці шарошки:

$$N = \frac{n_D r_D}{60 r_{III}}, \quad \frac{1}{c},$$

де n_D – кількість обертів долота в одиницю часу, r_D – радіус долота, r_{III} – радіус вінця шарошки.



a – контакт через два зубки, *б* – контакт через один зубок

Рисунок 2 – Розподіл сил при контакті твердосплавних зубків шарошки з породою вибою

Час контакту зубка з породою вибою за умови відсутності ковзання:

$$t_3 = \frac{60}{\pi D_{ДЗ}} = \frac{60}{i n_{ДЗ}} \frac{r_{III}}{r_D},$$

де i – передатне відношення долота до шарошки ($i \approx 1,5$).

Інтенсивність осевого навантаження на породоруйнівне оснащення шарошкового долота:

$$P_i = \frac{Q}{k_{II} r_D}$$

де Q – осеве навантаження на долото, наприклад для долота діаметром 215,9 мм, Q_{max} кН, k_{II} – коефіцієнт перекриття зубків; r_D – радіус долота,

Згідно гіпотези Лоренца, дотичні напруження в площині контакту прямо пропорційні нормальному тиску при умові

$$\frac{\tau}{P} = \omega = \text{const.}$$

Інтенсивність дотичних напружень в зоні дії вражаючої частини твердосплавних зубків (при втискуванні вражаючої частини зубка в породу), для нашого випадку згідно [6]:

$$\sigma_{a_{0i} \max}^{P_i},$$

де a_0 – ширина площадки притуплення вражаючої частини твердосплавного зубка; χ – параметр, що визначається згідно [6]: при $\mu = 0,25$, $\omega = 0,4$, параметр $\chi = 0,25$.

Діючі на зубок навантаження спричинюють виникнення в ньому і в з'єднанні «зубок-шарошка» значних як за величиною, так і за орієнтацією знакозмінних напружень. Як показує практика відпрацювання доліт це визначає втомну міцність твердосплавних зубків та надійність з'єднання «зубок-шарошка». Тому важливо знати функціональний зв'язок між напруженим станом породи і напруженням в тілі твердосплавного зубка, а також в спряжених ділянках з'єднання «зубок-шарошка». Важливим є характер зносу, пошкодження й руйнування вставного породоруйнівного оснащення.

За час роботи долота на вибої зубок може зазнавати в середньому від 2×10^5 і більше циклічних навантажень. І тут важливими є як фізико-механічні й якісні показники твердосплавних зубків так і характер напруженого стану в з'єднанні «зубок-шарошка».

Фрагменти, що відкололися від твердосплавних зубків, потрапляючи на вибій в зону контакту між породоруйнівним оснащенням і робочою поверхнею шарошки спричинюють інтенсивне руйнування, зношування елементів шарошки. У випадку зруйнування під основу одного зубка, його сусідній зубок перевантажується, і як правило, також руйнується. Процес кочення шарошки ускладнюється виникненням ударних навантажень і проковзування по поверхні вибою, зниження швидкості буріння тощо. Це спричинює подальше катастрофічне руйнування не тільки вставного породоруйнівного оснащення, а й інтенсивний знос вінців та міжвінцевих ділянок шарошки. Відбувається викришування цементованого шару, передеформація підповерхневих шарів під цементованим і загартованим шаром. Як наслідок, утворюється груба поверхня зносу у вигляді глибоких лунок, подряпин, борозен, пластичної деформації сталі робочої поверхні шарошки.

Для оцінки показників міцності вставного породоруйнівного оснащення можна користуватись показником

$$\xi = \frac{d_3}{h_B},$$

де d_3 – середнє значення діаметра хвостовика твердосплавного зубка, h_B – середнє значення вильоту уражаючої частини твердосплавного зубка.

Що вище значення ξ тим міцніше оснащення вставне породоруйнівне оснащення шарошок, тим вищий його ресурс.

Висновки. Контактний тиск на спряжені поверхні розподіляються нерівномірно: спричинені їм напруження концентруються в основному в зоні входу зубка в шарошку і в ділянці дна отвору в шарошці; середня частина з'єднання навантажена значно слабше.

Перекочування шарошки по вибою спричинює зміну орієнтації дії робочих навантажень від $+\alpha$ до $-\alpha$, де кут α визначається кутом контакту β , що залежить від геометричних розмірів долота (рис. 2). Зміна орієнтації дії робочого навантаження спричинює періодичну зміну величини напружень в зоні вильоту зубка з тіла шарошки і створення змінних напружень по всій клиновій робочій частині зубка. Наявність змінних за величиною напружень спричинює втомні пошкодження й зношування твердосплавного вставного оснащення. Тут має місце зародження тріщиноподібних дефектів, утворення й інтенсивний ріст тріщин. В цементованому шарі тріщини поширюються швидко і доходячи до в'язких шарів зупиняються. Інтенсивність цих процесів визначається величиною й характером розподілу концентрацій напружень в ділянці вильоту зубка з шарошки та в ділянці дна отвору під вставний зубок.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Yakym R. S. Improving of manufacturing method of three-cone rock bits // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2014. – № 786. – С. 70 – 73.
2. Сліпчук А. М. Покращення якості технології процесу запресовування зубків у шарошки бурових доліт / А. М. Сліпчук, Р. С. Яким // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» “Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні”. – 2017. – № 867. – С. 69–78.
3. Qin, Hu, Huan, Zhu, Hang, Ren: Research on shape parameters of circular arc disc teeth for three-cone bit. *Petroleum* 4(1), 108–114 (2018).
4. Pandey, P., Mukhopadhyay, K., Chattopadhyaya, S.: Reliability Analysis and Failure Rate Evaluation for Critical Subsystems of the Dragline. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 40(2), 1–11 (2018), doi:10.1007/s40430-018-1016-9.
5. Prakash, S., Mukhopadhyay, A.: Reliability Analysis of Tricone Roller Bits with Tungsten Carbide Insert in Blasthole Drilling. *Journal International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 34(2), 101–118 (2020), doi: 10.1080/17480930.2018.1530055

Ковалевський С.В., Репченко В.С., Тур Т.М., Мироненко М.О.

(Донбаська державна машинобудівна академія, м.м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПРОЦЕСІВ ІННОВАТИКИ В МАШИНОБУДУВАННІ

Представлено основні напрями розвитку виробничої сфери в умовах постійно зростаючого попиту на багатомономенклатурну продукцію при скороченні ресурсних джерел та інтелектуалізації виробничих систем на основі засобів штучного інтелекту.

The main directions of development of the manufacturing sector in the context of ever-increasing demand for diversified products with a reduction in resource sources and intellectualization of production systems based on artificial intelligence are presented.

Забезпечення розвитку виробничо-економічних систем різного призначення потребує врахування таких особливостей:

- потік замовлень на продукцію виробничо-економічних систем є багатомономенклатурним, малосерійним та індивідуальним і має необмежене призначення;
- обладнання майбутніх виробничо-економічних систем повинно мати необмежену операційну гнучкість одночасно з цільовим функціональним призначенням;
- завдання функціональної діагностики повинні бути спрямовані на швидкодію та отримання постійно оновлюваної інформації про сильно- та слабкоформалізовані фактори, що діють у системах.
- інформаційне забезпечення повинно базуватися на отриманні та опрацюванні великих масивів даних у реальному часі [1, 2].

Перспектива застосування мобільних інтелектуальних роботів дає змогу поглянути на умови організації виробничого процесу цеху щодо мобільності не тільки з боку гнучкості технологічних можливостей обладнання. Також з'являється можливість переміщення технологічного обладнання (мобільних інтелектуальних технологічних машин) за потребою на виробничі ділянки для виконання технологічних операцій або на збиральну ділянку для перекомпонування. Зміна номенклатури виробів призводить до зміни вимог щодо компонування дільниць цеху. Таким чином, традиційні схеми організації виробництва з устаткуванням, яке встановлено на фундаментах, є неприйнятними. Але обладнання різного призначення можна побудувати на базі рухливих механізмів паралельної структури, забезпечуючи не тільки велику апаратну гнучкість, але й функціональну адаптивність на основі багатоканального та багатоконтурного управління за допомогою систем автоматичного керування [3, 4]. Управління виконавчими

рухами технологічних машин з механізмами паралельної структури являє собою складне завдання, вирішення якого можна отримати на основі розв'язання задач кінематики та динаміки виконавчих механізмів. У результаті можуть бути створені умови для точного позиціонування робочих органів виконавчих механізмів при оптимальних швидкостях і прискореннях їхніх рухів по заданій траєкторії. При цьому виникає потреба забезпечити автоматичну діагностику внутрішнього та зовнішнього соціально-економічного оточення виробничих систем. Для цього системи управління повинні бути оснащені інформативними системами ідентифікації об'єктів [3, 6].

Усе це формує уявлення про мережевий характер побудови виробничих систем, де виробничі ділянки створюються за миттєвим замовленням. Обладнання має вигляд мобільних інтелектуальних технологічних машин, які компонуються відповідно до виробу, що потрібно виготовити. Наступне замовлення потребує реалізації циклу розкладання та складання нових конфігурацій цих машин [5, 7].

Мережевий характер компонування реконфігурованого обладнання може передбачати вільне розміщення обладнання без прив'язки до певного місця. При цьому зростає необхідність постійного вирішення завдань логістики.

Це зумовлює потребу створити системи штучного інтелекту, оскільки людина неспроможна розв'язувати складні завдання оптимального управління постійно переналагоджуваними реконфігурованими системами технологічних машин. Тому проривним вирішенням проблеми побудови виробничо-економічних систем майбутнього мають стати принципово нові апаратні та програмні засоби операційної системи штучного інтелекту у вигляді розподіленого в тотальній системі інтелектуального комп'ютера. Така концепція перспективного розвитку всіх складових економічних систем – виробничих і соціальних – передбачає повну інтеграцію елементів інтелектуального комп'ютера з елементами виробничих систем.

Один з основних чинників, які стримують ріст промислового виробництва, – це витратний принцип комплектування технологічних систем, який можна ліквідувати, створивши переналагоджувані технологічні системи на основі засобів штучного інтелекту та інтелектуальних систем управління. Оскільки зростання гнучкості систем управління технологічним обладнанням значно випереджає і надалі випереджатиме гнучкість механічної частини технологічного обладнання, слід створювати універсальну систему реконфігурованого технологічного обладнання, зокрема на основі механізмів паралельної структури і принципу конструктивної гнучкості, поступово заміщаючи ними традиційні засоби автоматизації виробничих процесів.

Таким чином, відбувається стрімке зростання складності виробів – насамперед тих, які претендують на конкурентоспроможність в рамках

глобальних ринків. Відповідно зростає і складність технологій, за допомогою яких створюються ці вироби, - але з деяким відставанням від підвищення складності самих виробів, оскільки для розвитку технологій потрібні додаткові вкладення і час. Відбувається експоненційний ріст технологій, а щоб виробляти глобально конкурентоспроможну продукцію в умовах завжди жорстко обмежених часових і фінансових ресурсів, необхідно використовувати нові технології, які вплинуть на виробництво в майбутньому: цифрове виробництво, моделювання та інтеграція, високопродуктивні обчислення, технології зберігання й аналізу великих даних, штучний інтелект, нові виробничі технології, технології сенсорики, виробництва компонентів робототехніки, технології віртуальної і доповненої реальності.

«Розумна» модель завжди формується з найкращих технологій світового рівня. Ця компетенція передбачає одночасно здатність миттєво відгукнутися на запит замовника, який сам визначає коло використовуваних технологій, і здатність розв'язати інженерно-технологічну проблему, що є викликом для замовника, якому неважливо, за допомогою яких технологій це буде зроблено.

У кожен момент часу необхідно тримати в полі зору всю систему і всі її взаємодіючі компоненти, щоб не ставалося такого, коли поліпшення характеристик одного компонента тягне за собою погіршення характеристик іншого. Це особливо важливо через те, що в кінцевому підсумку конкурентоспроможність виробу визначається його найбільш слабкими компонентами, а не тими, які спроектовані або вироблені на світовому рівні.

У рамках «розумних» моделей відбуваються десятки тисяч віртуальних випробувань кожного компонента (вузла, деталі, механізму, сполучення тощо), матеріалів і всієї системи в цілому. Це дає змогу керувати поведінкою буквально кожного кубічного міліметра конструкції та контролювати його на всіх етапах життєвого циклу.

Створення інтелектуального цифрового виробництва призведе до вдосконалення технологічних процесів і системи організації виробництва і дасть можливість об'єднати ці системи в межах мережевого простору підприємства на базі ключових параметрів таких систем. Результатами цих нововведень можуть стати поліпшення умов праці, зростання якості продукції, скорочення потреби в робочій силі і систематичне підвищення прибутку.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Kovalevskyy, S., Kovalevska, O., Dašić, P., Ješić, D., Kovač, P.: *Engineering consulting technology in production engineering intelligent mobile machines. International Journal of Industrial Engineering and Management*, 8 (4) (2017), pp. 203-208.
2. Kovalevskyy, S., Kovalevska, O., Turmanidze, R. *Acoustic Diagnostics of Lever Mechanisms with Subsequent Processing of Data on Neural Networks. Lecture Notes in Networks and*

Systems, Vol.42 (2019), pp. 202-210.

3. Kovalevskyy, S., Turmanidze, R., Kovalevska, O. *Principles of Systemization as a Basis for Designing of Combination Technological Systems. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol.76 (2020), pp. 256-264.*
4. Kovalevskyy S.V., Kovalevska O.S., Koshovii A.O. *High-voltage discharge as a factor of increasing the cutting properties of disposable inserts. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science, vol. 20, no. 3 (2018), pp. 6–17.*
5. Kovalevska O. S., Kovalevskyy S. V. *Application of acoustic analysis in control systems of robotic machine tools. Радіоелектроніка, інформатика, управління. № 2 (2018), pp. 51-59,*
6. Kovalevskyy, S.; Kovalevska, O.; Koshevoy, A. & Jevremović, V.: *Analysis of accuracy and adequacy of dynamic models of objects. Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS), Vol. 128 (2020), pp. 75-80.*
7. Ковалевський С.В., Ковалевська О.С. *Формування реконфігурованої структури ділянок у механо-складальних цехах на основі мобільних верстатів-роботів. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2017. № 1 (40). С. 69-72.*

Ковалевський С.В., Сидюк Д.М. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ МАШИНОБУДУВАННЯ НА П'ЯТОМУ ЕТАПІ ПРОМИСЛОВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ

У роботі розглядаються загальні особливості Індустрії 5.0 та можливі шляхи подолання викликів, які виникають при його впровадженні у машинобудівне виробництво. Машинобудування в Україні, на відміну від інших галузей суспільства, має повільніші темпи пристосування у різних етапах технологічної революції. На це впливає як загальний рівень технологічного оснащення сфери у країні, так і особливості виготовлюваної продукції. Проте, перехід до Індустрії 5.0 для важкого машинобудування та при виготовленні важких складнопрофільних деталей може бути полегшений, якщо розглядати його, як вирішення завдання оптимізації життєвого циклу.

Unlike other sectors of society, machine building in Ukraine has a slower pace of adaptation at different stages of the technological revolution. This is influenced by both the general level of technological equipment in the country and the specifics of the products manufactured. Nevertheless, the transition to Industry 5.0 for heavy machine building and the manufacture of heavy, complex parts can be facilitated if it is viewed as a solution to the problem of life cycle optimization.

Зміна загальних тенденцій розвитку та побудови окремих сфер суспільства різних держав має свої передумови, закони та чітку структуру, які визначаються міждержавними комісіями зі створення програм етапів промислової революції. Індустрія 5.0, як п'ята частина промислової революції, передбачає фокусування уваги на вдосконаленні існуючих систем та нівелюванні недоліків програми Індустрії 4.0.

Для Індустрії 4.0 характерне впровадження передових технологій автоматизації у виробничий процес. Це включає використання кіберфізичних систем та хмарних обчислень для створення "розумної фабрики". Метою є підвищення ефективності, зниження витрат і поліпшення якості продукції. Це призвело до розробки розумних машин, які можуть «спілкуватися» і працювати разом, що призводить до високоавтоматизованого виробничого процесу. [1]

Однією з ключових особливостей Індустрії 5.0 є акцент на людино-машинній співпраці. Хоча автоматизація є важливою, також визнається, що люди привносять у виробничий процес унікальний набір навичок і знань. У той час, коли четвертий етап зосереджувався на створенні досконалої інтелектуальної системи на основі здобутків ІТ-технологій, не враховуючи потенціалу людини та недоліків штучного інтелекту, п'ятий етап має на меті створити робоче середовище, в якому люди і машини можуть працювати разом для досягнення найкращих результатів, та наголошує на важливості

створення нового розуміння використання роботів. Загальними особливостями, характерними для Індустрії 5.0, на відміну від Індустрії 4.0, є:

- створення синергетичних зв'язків між людиною та штучним інтелектом та роботизованими системами через використання цифрових пристроїв, що дозволяє уособлювати людино-центричний підхід до використання технологій;
- цільовий фокус на розвиток сталості та конкурентоспроможності;
- залучення альтернативних режимів керування моделями, що ведуть до сталості та стійкості;
- вимагає створення системи сталої економіки з високою стійкістю ланцюгів доданої вартості та екосистем виробництва до нових потрясінь, у незалежності від їх джерела;
- розширення корпоративної відповідальності та введення індикаторів, що показують прогрес кожної екосистеми у досягненні стійкості, процвітання та сталості. [1]

Цей кейс з'явився саме тому, що Індустрія 4.0 не відповідала фактичним викликам кліматичних змін, пандемічних та інших криз, які призводили до нестабільності та викликали значні соціальні напруження. Фактична ситуація у технологічному секторі, який дає приблизно 40% до росту та розвитку ринку, далека від рівних досягнень окремих держав. Перехід на 4.0, який передбачав впровадження автоматичних ліній та безлюдного виробництва, зумовив збільшення соціальної нерівності між різними країнами, оскільки у сучасній цифровій економіці першість на окремі сегменти взяли технологічно розвинені держави та корпорації, здатні швидко переозброюватися та підлаштовуватися під вимоги ринку.

Фактична ситуація для України складається таким чином, що нема фактичного переходу на Індустрію 4.0 із загальним переходом на повну автоматизацію виробництва та фактичну заміну людини на роботів та штучний інтелект. Технологічний сектор має більшу частину характеристик 3.0 та початок часткового переходу на 4.0 через впровадження окремих її частин. Однак, це означає, що можливо здійснити більш швидкий перехід на Індустрію 5.0, оскільки не потрібно кардинально змінювати свідомість від «роботи замінюють людину» до «роботи, на відміну від людини, не здатні до креативу, але вони – ідеальні помічники».

У технологічному секторі загальні особливості Індустрії 5.0 перетворюються на ключові особливості галузі:

- виготовлення на замовлення: перехід від типових продуктів до продуктів з високим ступенем персоналізації (тобто одиничне виробництво);
- залучення роботів у співпраці з креативністю та винахідливістю людини для створення індивідуальної продукції під окремі вимоги;
- розширення можливостей людини через відведення повторюваних та монотонних операцій штучному інтелекту та роботам;

– збільшення швидкості та якості завдяки новим технологіям, впровадженню автоматичних ліній тощо;

– екологічна повага шляхом використання відновлюваних джерел енергії та використання ланцюгів виробництва з меншими витратами ресурсів. [2]

Інтеграція штучного інтелекту і машинного навчання в Індустрії 5.0 виводить автоматизацію на новий рівень, інтегруючи штучний інтелект і машинне навчання у виробничий процес. Це означає, що машини можуть навчатися та адаптуватися до нових ситуацій, що робить їх більш ефективними та результативними.

Однак, більшість ключових аспектів стосуються виробництва невеликих або середніх за габаритами та вагою деталями, для яких можна застосувати переміщення на роботизованих візках, автоматичне встановлення та вивірення. Для великогабаритних деталей не завжди можливо застосовувати технології, які забезпечують екологічні та економічні умови виробництва, високу швидкість та одночасну якість деталі, оскільки певна частина заготовок має низьку якість поверхні, що унеможливорює виконання правильного та міцного захвату роборукою на операціях попередньої обробки.

Загалом, високу складність становить інтеграції виготовлення надважких та складнопрофільних деталей на різних етапах технологічної революції, оскільки технологічна спадковість та обмежуюча вага вимагає особливого підходу. Якщо за такий план інтеграції брати повний життєвий цикл деталі, то основним завдання є оптимізація повного життєвого циклу деталі, який можна розкласти на окремі підпункти.

1. Фаза проектування. Закладає основу усього життєвого циклу не тільки деталі, але й виробництва, оскільки передбачається загальний аналіз ринку та тенденцій виробництва, у тому числі і застосування Індустрії 5.0. Проектування конфігурації та технології виготовлення відбувається з врахуванням основних особливостей програми. Однак, більша частина фактичної оптимізації полягає у застосуванні нових програм з моделювання, проектування та підготовки виробництва. [3]

2. Фаза виготовлення. Оскільки Індустрія 5.0 передбачає інтеграцію людини, штучного інтелекту, машинного навчання та роботів, то загальний перехід на новий етап революції та оптимізація нових чи існуючих технологічних процесів полягає саме у вдосконаленні виробничого процесу:

1) застосування передових ідей та концепцій побудови верстатного оснащення допомагає збільшити «моральне життя» оснащення та виконати перехід до одиничного виробництва за рахунок застосування універсальних верстатів, які не мають обмеження по габаритам чи конфігурації деталі. Яскравим прикладом є використання верстатів зі структурою паралельної кінематики різної конфігурації (триподи, гексаподи тощо) чи мобільності

(статичні верстати або невеликі верстати, які можуть працювати на окремих ділянках деталей при роботі основного статичного обладнання). [4]

2) застосування окремих методів, які дозволяють продовжити строк служби інструментального оснащення, пристосування та верстатів. До таких методів можна віднести, як ідею додаткового зміцнення ріжучих пластин за допомогою магнітної обробки, так і застосування системи активного контролю для поточного визначення стану системи ВПД та корегування заданих режимів обробки. Це дозволяє, як продовжити реальний строк служби, покращити якість деталі, так значно підвищити продуктивність виготовлення, що є однією з основних задач оптимізації.

3) розробка та застосування сучасних методів зменшення пікових навантажень у матеріалі деталі. Існуючі методи зменшення пікових навантажень заготовки та деталі після механічної обробки, загартування, такі як термічний відпуск деталі, природне старіння та віброобробка вимагають великих ресурсних затрат, а інколи зовсім не екологічні по відношенню до здоров'я людини та навколишнього середовища.

Прийнятною альтернативною можна вважати метод електромагнітної обробки деталі, який дозволяє проводити не тільки операції зниження пікових навантажень у матеріалі, але й зменшувати кількість пустот та виконувати операцію об'ємного зміцнення. [5]

3. Фаза експлуатації. Може бути оптимізована, з боку виробництва, визначенням точних умов праці. А з боку користувача – їх дотриманням, виконанням поточних тех. оглядів та використанні деталей від виробника. [6]

4. Фаза утилізації. Найменш досліджувана фаза, яка впливає на навколишнє середовище. Оптимізація виконується шляхом використання матеріалів, які розкладаються та можуть бути перероблені з найменшими викидами шкідливих речовин.

Отже, не дивлячись на відставання окремих секторів машинобудування відносно етапів технологічної революції та поточного стану найбільш розвинених країн, перехід на Індустрію 5.0 може бути проведений з найменшими ресурсними витратами, якщо розглядати це завдання, як вирішення задачі оптимізації життєвого циклу. Цей підхід, окрім спрощеної системи переходу на 5.0, здатен закласти основу до подальшої модернізації та розвитку з мінімальними затратами, оскільки отримана структура виробництва є доволі гнучкою з високим рівнем синергії людини, роботів та штучного інтелекту.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Про Індустрію 5.0 – чому це стає актуальним для України. <https://www.industry4ukraine.net/publications/pro-industriyu-5-0-chomu-cze-staye-aktualnym-dlya-ukrayiny/> (дата звернення 01.03.23).

2. Індустрія 5.0: що це таке та що воно принесе. <https://www.hwlibre.com/uk/промисловість-5-0/> (дата звернення 01.03.23).

3. Олійник Л.В. Управління інноваційним розвитком підприємства на основі формування інноваційних програм. 2017. Вип. 3(27). С. 165-172.
4. Ковалевський С.В., Ковалевська О.С. Формування реконфігурованої структури ділянок у механо-складальних цехах на основі мобільних верстатів-роботів. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2017. № 1 (40). С. 69-72.
5. Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Лупа Ю.В. Підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин на основі комбінованого впливу сильних магнітних полів. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). Т. 2. Вип. 39. 2021. С. 42-50.
6. Цибульський В.А., Рибалко І.В., Круковська А.В. Дослідження причин низької ефективності заходів по підвищенню довговічності ходових коліс мостових кранів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 205. 2019. С. 19-29.

Коваленко В.А. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОСТОВОГО КРАНУ

У статті вирішено актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування електроприводом мостового крану в перехідних режимах. Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання швидкості електроприводу, встановлення параметрів процесу керування. Розроблена математична модель електромеханічної системи ПЧ – АД. Удосконалена математична модель і алгоритм регулювання частотного регулювання швидкості електроприводу. Запропонована практична реалізація автоматизованої системи керування швидкістю обертання приводного електродвигуна.

The article solves the actual scientific and technical task of researching the process of controlling the electric drive of a bridge crane in transient modes. The study of the peculiarities of the technological process of regulating the speed of the electric drive, setting the parameters of the control process was carried out. A mathematical model of the electromechanical system of the IF-AD was developed. An improved mathematical model and algorithm for frequency regulation of the speed of the electric drive. The proposed practical implementation is an automated system for controlling the rotation speed of the drive electric motor.

Актуальність. У зв'язку з цим розробка механізмів регулювання швидкості обертання приводних електродвигунів, а також алгоритмів управління є актуальною науково-технічною задачею.

Ціль дослідження. Зниження енерговитрат та підвищення ефективності процесу переміщення габаритних вантажів завдяки впровадженню автоматизованої системи керування електроприводами мостового крану.

Об'єкт дослідження. Процес керування електроприводом в перехідних режимах пуску, зупинки і переміщення вантажу.

Структурна схема системи ПЧ-АД з зворотним зв'язком за швидкістю має вигляд, як представлено на рисунку 1.

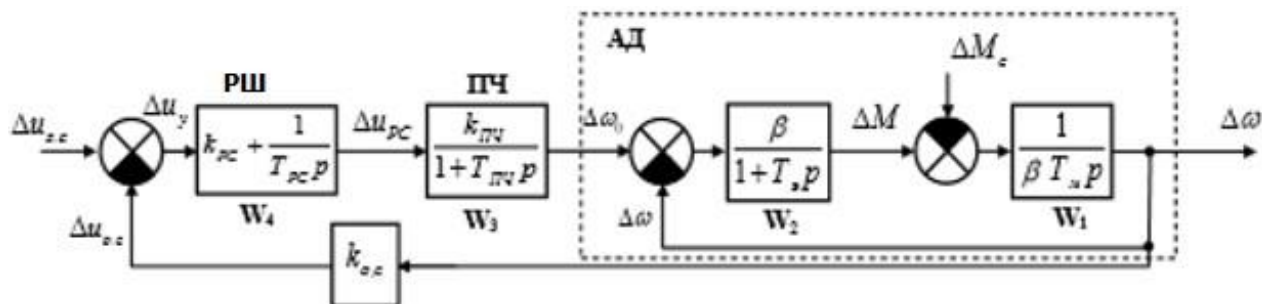


Рисунок 1 - Структурна схема системи ПЧ-АД зворотним зв'язком за

Математичний опис моделі ПЧ-АД зі зворотним зв'язком за швидкістю має вигляд [6]

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{\beta T_{Mp}} (\Delta M - \Delta M_c); \\ T_{\gamma} \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = \beta (\Delta\omega_0 - \Delta\omega); \\ T_{ПЧ} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = K_{ПЧ} \Delta U_{psc}; \\ T_{psc} \frac{d\Delta U_{psc}}{dt} = \Delta U_y - \frac{d\Delta\omega_0}{dt} K_{psc} T_{psc} - K_{psc} T_{psc} \Delta\omega; \\ T_n \frac{dz}{dt} + z = \frac{\hbar}{0} \omega^2 + b\omega. \end{array} \right. \quad (1)$$

Для синтезу передавальних функцій здійснено запис системи рівнянь у формі Коші

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{\beta T_{Mp}} (x_2 - A); \\ \frac{dx_3}{dt} = \frac{\beta}{T_{\gamma}} x_3 - \frac{1}{T_{\gamma}} x_1 - \frac{1}{T_{\gamma}} x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} = \frac{K_{ПЧ}}{T_{ПЧ}} x_4 - \frac{1}{T_{ПЧ}} x_3; \\ \frac{dx_4}{dt} = u - \frac{dx_1}{dt} K_{psc} T_{psc} - K_{psc} T_{psc} x_1; \\ \frac{dx_5}{dt} = \left(\frac{2\hbar\omega_0}{T_n} + \frac{b}{T_n} \right) x_1 + \frac{1}{T_n} x_5. \end{array} \right. \quad (2)$$

де $x_1 = \Delta\omega$; $x_2 = \Delta M$; $x_3 = \Delta\omega_0$; $x_4 = \Delta U_{psc}$; x_0 – коефіцієнт лінеаризації змінної ω^2

На основі рівнянь 2 синтезована математична модель системи ПЧ-АД-механізму підйому, яка зображена на структурній схемі рисунка 3.

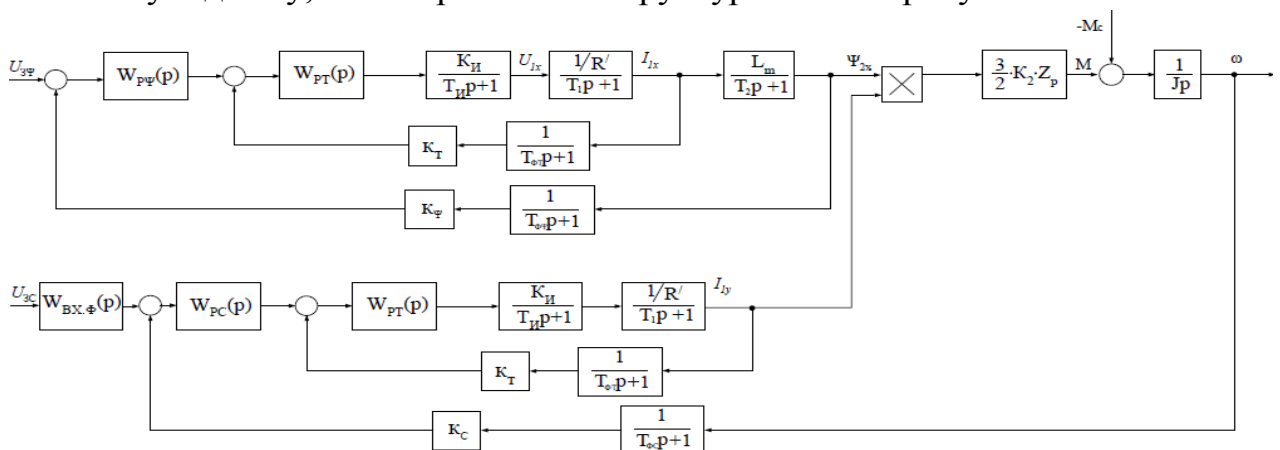


Рисунок 2 - Структурна схема математичної моделі електромеханічної системи

ПЧ-АД – механізм підйому

Проведено синтез регуляторів струму, потокозчеплення та швидкості системи управління електроприводом з використанням принципу модального оптимуму [7]. Передаточні функції синтезованих регуляторів мають вигляд

- Контур струму

$$W_{pc}(p) = K_{pc} \frac{T_{pc}p+1}{T_{pc}p}, (3)$$

де $T_{pc} = T_1$ – постійна часу регулятора струму, с; $K_{pc} = \frac{T_1 R'}{K_n K_c a_c T_{\mu c}}$ –

коефіцієнт посилення регулятора; $K_{cx} = \frac{U_{зс.мах}}{I_{ен.мах}}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по струму, В/А; a_m – коефіцієнт оптимізації контуру струму по модальному оптимуму.

- Контур потокозчеплення

$$W_{p\psi}(p) = K_{p\psi} \frac{T_{p\psi}p+1}{T_{p\psi}p}, (4)$$

де $K_{p\psi} = \frac{K_c T_2}{2K_\psi L_m T_{\mu\psi}}$ – коефіцієнт посилення регулятора потокозчеплення;

$T_{p\psi} = a_m T_{\mu m} + T_\phi$ – постійна часу регулятора потокозчеплення, с.

На вхід контуру потокозчеплення встановлюється фільтр:

$$W_{BX.\phi}(p) = \frac{1}{T_\phi p+1}, (5)$$

- Контур швидкості

$$W_{p\omega}(p) = K_{p\omega} \frac{T_{p\omega}p+1}{T_{p\omega}p}, (6)$$

де $K_{p\omega} = \frac{2K_c J_3}{6K_2 Z_p K_\omega \Psi_{2x} T_{\mu\omega}}$ – коефіцієнт посилення регулятора швидкості;

$T_{\mu\omega} = a_m T_{\mu c} + T_{\phi c}$ – постійна часу контуру швидкості. $K_{\omega} = \frac{U_{зс.макс}}{\omega_{макс}}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості; $T_{p\omega} = v_c \square a_m T_{\mu\omega}$ – постійна часу регулятора швидкості, с.

На вхід контуру швидкості встановлюється фільтр:

$$W_{BX.\phi}(p) = \frac{1}{(4T_{\mu\omega} + T_{\phi\omega})p+1}, (7)$$

На підставі математичного опису (1-7) та структурної схеми (рис.1) побудована імітаційна модель ПЧ-АД - механізм підйому, яка наведена на рисунку 3.

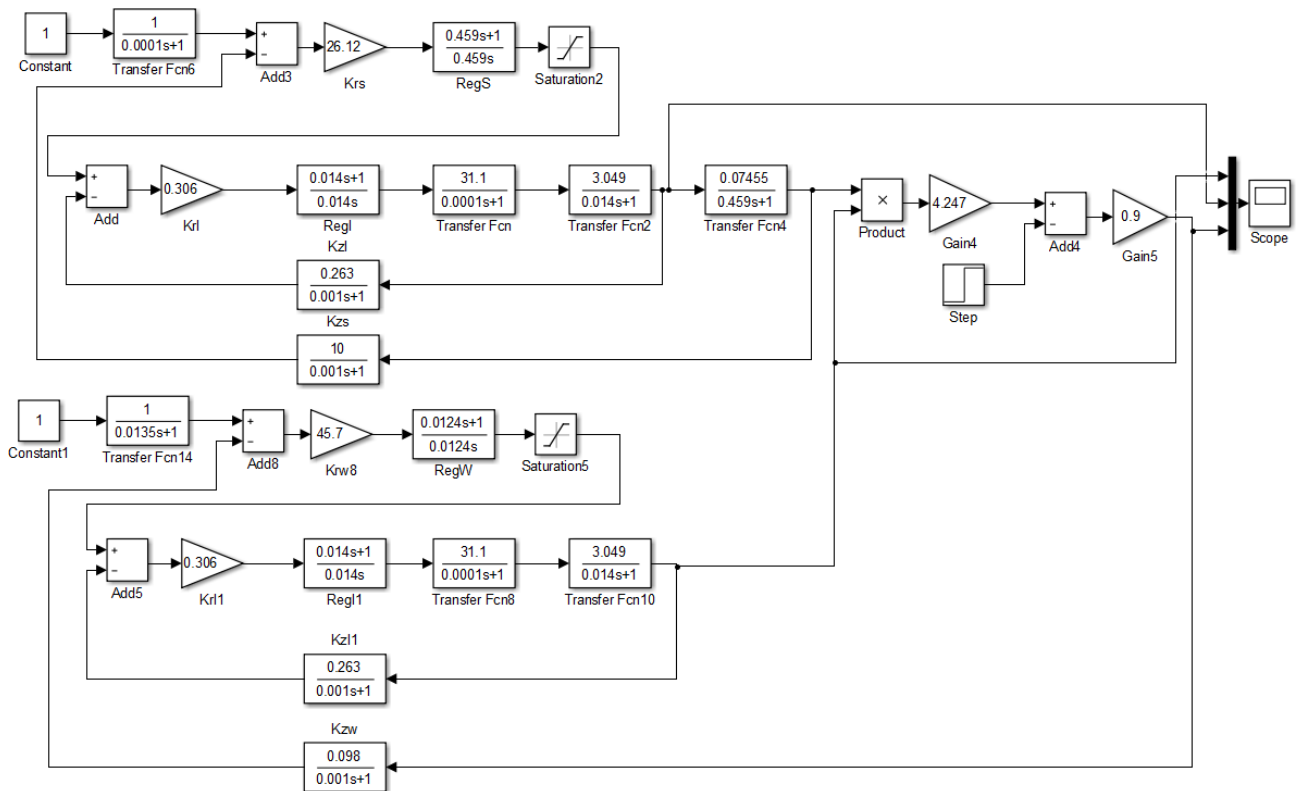


Рисунок 3 - Імітаційна модель ПЧ-АД- механізм підйому в МПП MatLab

Результати перехідних процесів при моделюванні контуру швидкості, при відпрацюванні ступеневого вхідного впливу $U_{зи} = 0,1\text{В}$, представлені у вигляді характеристики $\omega(t)$ на рисунку 4.

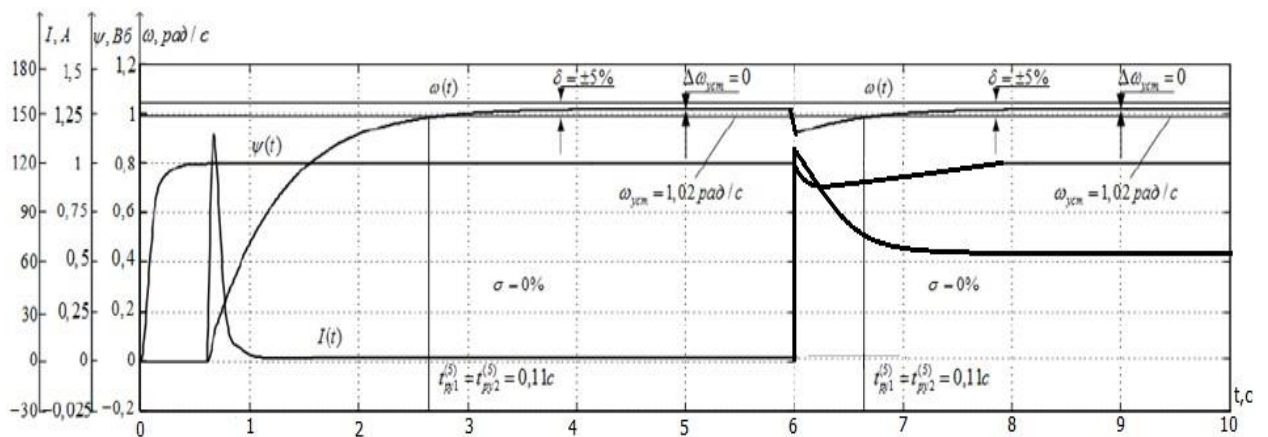


Рисунок 4 - Перехідні процеси $\Psi(t)$, $I(t)$ та $\omega(t)$ контуру швидкості при пуску на холостому ходу та накладенні навантаження

Розроблену математичну модель доцільно використовувати для адаптації алгоритму регулювання швидкості обертання сушильного барабану до заданих змінних умов експлуатації, тобто коливання моменту при завантаженні.

ВИСНОВОК

1. Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання швидкості електроприводу, встановлення параметрів процесу керування;
2. Розроблена математична модель електромеханічної системи ПЧ – АД – механізм підйому;
3. Удосконалена математична модель і алгоритм регулювання частотного регулювання швидкості електроприводу;
4. Створена автоматизована система керування швидкістю обертання електроприводу механізму підйому мостового крану;

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Коваленко О. М., Ковалевська О. С. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕФОРМАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ НА БАЗІ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

Розглянуто процес деформації матеріалу з урахуванням впливу зовнішніх сил. Використаний метод моделювання на базі імітації роботи клітинного автомату. Отримана наочна модель, що відображає вплив зовнішнього навантаження на внутрішню будову матеріалу твердого тіла. Популярність застосування клітинних автоматів зумовлена простотою їх використання для деталізації складних процесів, що і відображено у даній статті.

The paper deals with the process of material deformation under the influence of external forces. The modelling method based on the simulation of cellular automaton operation is used. A visual model is obtained that reflects the effect of an external load on the internal structure of a solid material. The popularity of using cellular automata is due to the simplicity of their use for detailing complex processes, which is reflected in this article.

Постановка проблеми. У сучасному світі наукового і технічного прогресу використання інформаційних технологій для моделювання складних фізичних процесів стає дедалі актуальнішим і доцільнішим. Поряд із проведенням низки наукових експериментів, які є досить дорогими з огляду на організацію та виконання, аналіз процесів, що цікавлять, шляхом найпростіших математичних моделей дає змогу максимально точно простежити закономірності зміни системи. У зв'язку з цим альтернативні підходи до досліджень набувають дедалі більшої популярності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорія клітинних автоматів відома з 40-х рр. XX століття. Уперше ця ідея запропонована Джоном фон Нейманом для опису процесів самовідтворення в біології й техніці. Цей метод застосовують у математиці та фізиці, а також у біології, економіці, соціології, інформатиці, тощо через свою простоту. Так, вони широко застосовуються для моделювання еволюційних, імовірнісних, газо- та гідродинамічних процесів [3].

У статті [4] описано моделювання процесу інтенсивної пластичної деформації металу в середовищі Deform. Виявлено особливості присутніх матеріалів, запропоновано випадки виявлення дефектів. Оцінено величини деформування, а також ступені враженості деформацій і відхилень. Проте, процеси деформації матеріалів являють собою зміну взаємного положення частинок тіла, пов'язану з їхнім переміщенням одна відносно одної завдяки докладанню зусилля, від якого тверде тіло спотворює свої форми. Деформація є результатом зміни міжатомних відстаней і перегрупування

блоків атомів[5]. Та саме ці зміни можна дослідити з допомогою клітинно-автоматної моделі.

Постановка задачі дослідження. Під час обробки металів тиском у заготівлі під дією зовнішніх сил виникають напруження. Зі збільшенням зовнішнього навантаження напруження в тілі зростають, що призводить до зміщення атомів із положень стійкої рівноваги на відстані, які значно перевищують міжатомні. Наочне відображення процесів деформації розглянуто в роботах [1, 2], проте застосування найпростіших гнучких імітаційних моделей дозволить більш детально заглянути вглиб матеріалу.

Метою даної роботи є розробка моделі деформації матеріалу методом рухомих клітинних автоматів (далі КА), що дозволить створити наочну схему процесу всередині металу та розглянути різноманітні умови впливу зовнішніх сил, використовуючи універсальне правило КА.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сутність моделювання процесів деформації матеріалів та твердих тіл за допомогою клітинних автоматів полягає в наступному: зразок розбивається на сукупність однакових клітин, однаковим чином з'єднаних між собою, утворюючи двомірне поле. Усі комірки утворюють так звану решітку клітинного автомата. Решітки можуть бути різної розмірності залежно від розмірності системи, що моделюється.

Клітинні автомати характеризуються:

- одночасною зміною всіх станів клітин на кожному циклі роботи;
- клітини розташовані на однорідній решітці;
- решітці можуть бути надані різні властивості, що дозволяє описати складне навколишнє середовище;
- взаємодія клітин локальна, що може впливати лише на найближче оточення;
- множина станів клітин кінцева;
- правила зміни станів клітин відносно прості та мають кінцеву кількість [2, 5].

Для запуску КА необхідно:

- Задати початковий стан клітин автомату, враховуючи універсальне правило КА.
- Для кожної клітки та кліток сусідів за вибраними правилами обчислюється наступний їх стан.

- На кожному кроці зміни параметрів однієї клітини, всі клітки змінюють свій стан одночасно.

У даному випадку маємо довільне двомірне поле (рис. 1), за межами якого вказуємо місце прикладання сил та їхні значення. Для наочності використовуємо таблиці Excel. У межах поля задаємо значення клітин, використовуючи універсальне правило елементарних двомірних клітинних автоматів з координатами (i, j).

$$\sigma_{i,j} \in \Sigma \equiv \{0,1,2 \dots k-1, k\} \quad (1)$$

		10						
0,44	1,93	2,17	1,99	0,56	0,26	0,13	0,07	0,03
0,55	1,02	1,3	1,11	0,75	0,39	0,22	0,12	0,05
0,35	0,64	0,78	0,74	0,58	0,4	0,25	0,14	0,06
0,22	0,4	0,5	0,5	0,43	0,33	0,23	0,14	0,06
0,14	0,26	0,33	0,34	0,31	0,25	0,19	0,12	0,06
0,09	0,17	0,22	0,23	0,22	0,19	0,14	0,09	0,05
0,06	0,11	0,14	0,15	0,15	0,13	0,1	0,07	0,03
0,03	0,06	0,08	0,09	0,09	0,08	0,06	0,04	0,02
0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01
0	0,01	0,01	0	0	-0	-0	-0	-0
-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0
-0	-0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0
-0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1
-0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1
-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2
-0,1	-0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-0,6	-0,4
-0,1	-0,1	-0,2	-0,4	-0,8	-1,1	-1,3	-1	-0,5
-0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-2	-2,2	-1,9	-0,4
						-10		

Рисунок 1 – Поле реалізації правил клітинних автоматів після n циклів

Використовуючи меню діаграм, перевіряємо стан напружень довільного тіла:

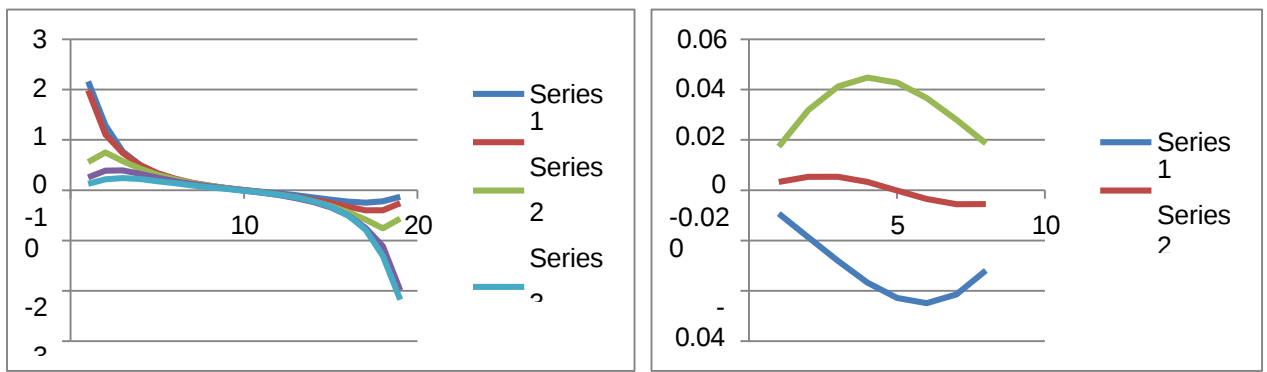


Рисунок 2 – Результати машинного експерименту щодо зустрічного руху ділянок зразку



Рисунок 3 – Фронт змін напрямків руху ділянок зразку

Таким чином, як видно на рис. 1, максимальні напруження деформації виникають у зонах (клітинах) наближених до джерела прикладання сил. Рис. 3 зображує повну картину змінення стану атомів вглибині матеріалу.

Висновки. У роботі запропоновано застосування методу двомірних КА для моделювання процесів деформації твердих тіл та побудування наочних імітаційних схем для розуміння процесів внутрішньої зміни міжатомних зв'язків. Робота у середовищі стандартних програм дає можливість створювати ситуаційні моделі високої точності з мінімальними витратами часу та ресурсів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Коваль С.С., Фідровська Н.М. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ПАРАБОЛІЧНИХ СПЛАЙНІВ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ

Метод математичного моделювання може використовуватися при вирішенні різних наукових задач теорії пружності. Застосування локальних сплайнів являється новим і досить точним методом, який дозволяє отримувати безперечно переконливі результати.

The method of mathematical modeling can be used to solve various scientific problems of the theory of elasticity. The use of local splines is a new and fairly accurate method that allows you to obtain unquestionably convincing results.

Постановка проблеми, її зв'язок з науково-практичними роботами

При намотуванні каната на барабан по кривій, яка є гвинтовою лінією виникає питання про прогин поверхні барабана, що залежить від розподілу навантаження. Проведені дослідження показали [1], що розподіл навантаження на поверхні барабана являється досить складною задачею, яка залежить від сил натягу каната T , від кроку h між сусідніми витками (крок гвинтової лінії) і від кута γ намотування (рис.1).

Аналіз літературних джерел, пов'язаних з темою статті.

В даній роботі пропонується для дослідження прогину стінки барабану використовувати параболічні сплайни, оскільки ці сплайни мають наступні властивості: кожний сплайн є згладжуючим сплайном і зберігає локальні властивості монотонності і опуклості вхідних даних (значення функції у вузлах сітки). Для цих сплайнів відома точна оцінка похибки наближення функцій з неперервною другою похідною. Обчислювальний експеримент показав, що ці сплайни можуть гарно наближувати прогин при переході від одного профілю до іншого. Але для їх побудови потрібно задавати дві сітки вузлів сплайна. Перша сітка - це вузли інтерполяції, а друга - це допоміжні вузли. Вибір цих сіток може бути довільним.

Тому, наряду з локальними сплайнами нами була також проаналізована можливість використання для опису прогину поверхні барабану також параболічних сплайнів, побудова яких проводиться за допомогою узагальнення алгоритму, описаного в монографії Литвина О.М. [2].

Постановка задачі. Вважаємо, що розподіл навантаження, не зменшуючи загальності, на інтервалі $0 \leq x \leq 2a$. Розіб'ємо цей інтервал на підінтервали наступними точками $0 = x_0 < x_1 < \dots < x_M = 2a; x_k =$

$kh, h = \frac{2a}{M}$ де M – кількість витків канату, намотаного на барабані, h - крок намотки. Крім того, для порівняння математичної моделі прогину в даній роботі вважаємо, що нам відома формула

$$f(x) = [\cos(\rho \sin \psi x) (C_1 e^{\rho \cos \psi x} + C_2 e^{-\rho \cos \psi x}) + A e^{-\eta \mu \frac{l-x}{h}^2}] \cos n \varphi \quad (1)$$

для функції прогину $w = f(x)$ в точках $x = x_m = (m - 0,5)h, m = \overline{1, M}$ (в середніх точках підінтервалів розбиття $[0, 2a]$). Задача полягає у наближеному представленні цієї функції прогину у вигляді відповідного параболічного сплайну.

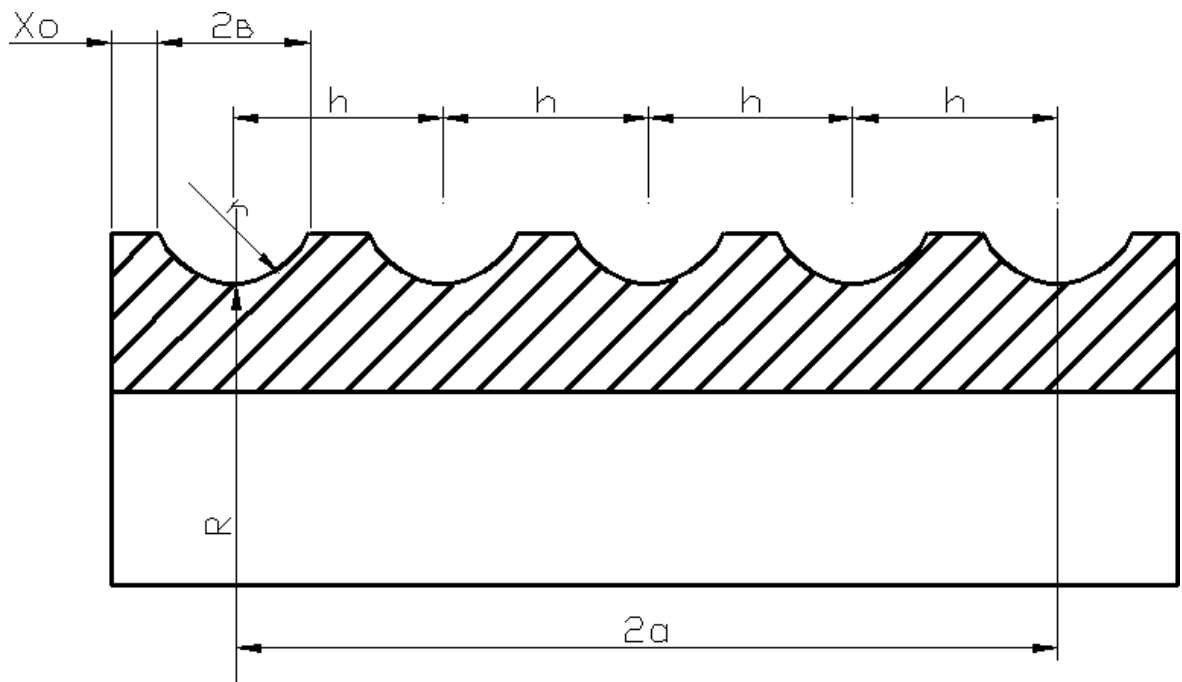


Рисунок 1 - Поверхня профільованого барабана

Основний зміст роботи. Для побудови локальних параболічних сплайнів будемо використовувати базисні квадратичні сплайни, які є узагальненням квадратичних сплайнів, що досліджувались в роботі [4] на випадок, коли для знаходження невідомих параметрів сплайна застосовується не мінімізація інтегралу від квадрату другої похідної сплайна, а сума квадратів відхилень односторонніх похідних другого порядку в кожній внутрішній точці.

Розглянемо метод побудови інтерполяційних параболічних сплайнів однієї змінної, точних на поліномах 2-го степеня. Приймаємо, що кожен з ліній на поверхні барабана можна наблизити з достатньою точністю сплайнами першого степеня. Це твердження пов'язане з тим, що кожна така

лінія на поверхні є неперервною лінією, а графік сплайна першого степеня, який інтерполює цю лінію є ломаною лінією з вузлами, які розміщені на вказаній наближуваній лінії. Але, якщо ця наближувана лінія є гладкою, то можна стверджувати, що більш ефективним апаратом для наближення таких ліній є апарат сплайнів другого та вищих степенів.

Описаний в [4] метод побудови інтерполяційних сплайнів 2-го степеня використовував для знаходження параметрів сплайна критерій, який полягає в мінімізації інтегралу від квадрату другої похідної сплайна. Нижче опишемо метод побудови інтерполяційних параболічних сплайнів, який не вимагає побудови двох систем вузлів і полягає у виборі параметрів квадратичного сплайна з умови мінімуму суми квадратів різниць других односторонніх похідних у всіх середніх точках розбиття інтервалу $[-1,1]$ на підінтервали. Цей критерій, зокрема, забезпечує таку властивість квадратичного сплайна: цей сплайн є точним на поліномах 2-го степеня.

Загальна формула для такого сплайна як і в [4] має вигляд

$$S_N(x) = S_{N,i}(x) = \frac{1}{x_{i+1} - x_i} [-(x - x_{i+1})f(x_i) + (x - x_i)f(x_{i+1})] + \frac{1}{2} M_i (x - x_i)(x - x_{i+1}), x \in [x_i, x_{i+1}], i = 1, \overline{N-1} \quad (2)$$

Невідомі сталі $M_i, i = 1, N-1$ у цій формулі знаходяться з умов (інша умова замість $J(S_N)$ досліджувалась в [4]):

$$J(S_N) = \sum_{i=1}^{N-1} (M_i - M_{i+1})^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$S'_N(x_i - 0) = S'_N(x_i + 0), i = 2, \overline{N-1}. \quad (4)$$

Як витікає з роботи [4], сталі $M_i, i = 1, \overline{N-1}$, що дають розв'язок описаної вище мінімізаційної задачі, можна обчислити за формулами

$$M_1 = \frac{2}{a_1 h_1} \sum_{i=1}^{N-2} (-1)^{i-1} (\Delta_{1,i+1} - \Delta_{1,i}) a_{i+1},$$

$$M_i = \frac{2(\Delta_{1,i} - \Delta_{1,i-1}) - M_{i-1} h_{i-1}}{h_i}, \quad i = 2, \overline{N-1}, \quad (5)$$

$$M_i = \frac{1}{h_i} \left[\sum_{k=2}^i (-1)^{k+i} 2(\Delta_{1,k} - \Delta_{1,k-1}) + (-1)^{i-1} h_1 M_1 \right],$$

Отриманий сплайн є неперервним, має неперервну першу похідну і є точним на поліномах 2-го степеня, тобто

$$S_N(x) = f(x) \forall f(x) = a + bx + cx^2, a, b, c \in R \quad (6)$$

Для розв'язання задачі наближення функції прогину була складена програма в системі комп'ютерної математики MathCad.

На графіку (рис. 2) наводиться для порівняння графіки точної функції і її наближення за допомогою запропонованих квадратичних сплайнів. Максимальна похибка при наближенні точного значення прогину при цьому не перевищила 0,02._.

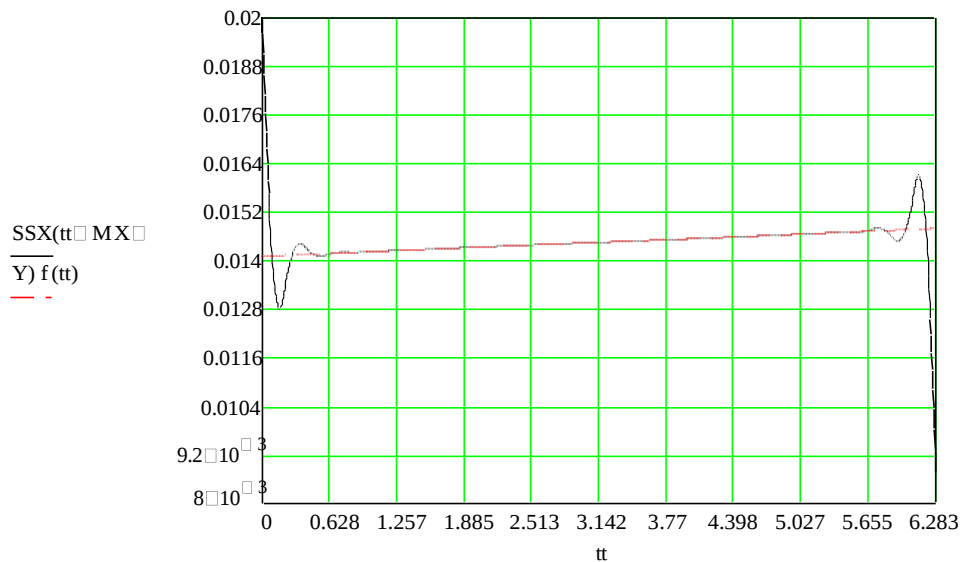


Рисунок 2 - Графічне зображення прогину $f(tt)$ та наближуючого сплайну $SSX(tt, MX, Y)$.

Висновки.

За допомогою локальних параболічних сплайнів нам вдалося побудувати функцію розподілення навантаження на оболонку канатного барабана при намотуванні на нього канату.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Литвин О.М. Інтерлінація функцій та деякі її застосування. – Х.: Основа, 2002. – 544 с.

Корецький Я.С., Кириченко І. Г. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІРТУАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРНОСТІ МОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА В AUTODESK INVENTOR

У роботі розглядається впровадження комп'ютерних технологій в процеси проектування технологічних машин, зокрема мобільних підйомників, а також створення 3D моделей в програмному комплексі Autodesk Inventor з метою проведення віртуальних досліджень маневреності.

The paper examines the implementation of computer technologies in the design processes of technological machines, in particular mobile lifts, as well as the creation of 3D models in the Autodesk Inventor software complex for the purpose of conducting virtual maneuverability studies.

Вступ

Мобільні підйомники з робочими платформами (МПП), за міжнародним стандартом Mobile Elevating Work Platform (MEWP) ISO 16368:2010 набувають все ширшого розповсюдження при виконанні різноманітних робіт на висоті в багатьох країнах, в тому числі і в Україні. МПП традиційного виконання мають систему аутригерів, що забезпечують необхідну стійкість цих машин при виконанні технологічних операцій [4, 7]. Але в останні роки з'являється все більше машин, які не облаштовані аутригерами і мають можливість пересуватися з одночасною зміною висоти підйому робочої платформи [1, 2, 6]. Основний пульт управління розташований безпосередньо на робочій платформі. Для забезпечення робочої і транспортної стійкості такі машини повинні мати механізми збільшення опорної поверхні (рис. 1).

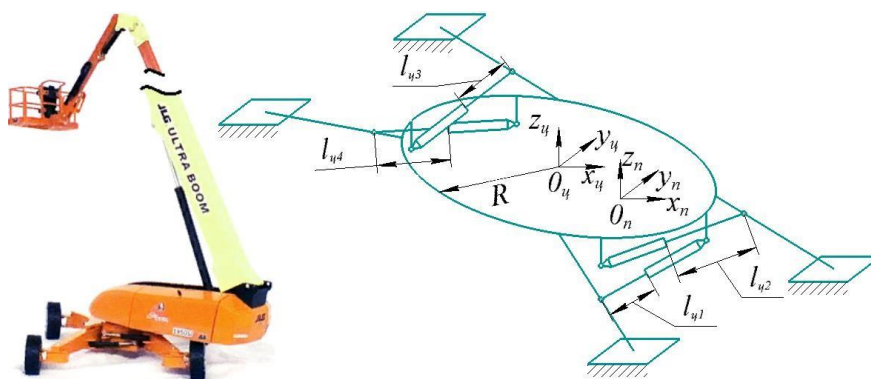


Рисунок 1 - Стріловий МПП виробництва JCB і схема опорного механізму.

Одним з комплексів програмного забезпечення для виконання проектів машинобудівних вузлів є Autodesk Inventor, що включає середовища двовимірної, тривимірної параметричної проєктування та інженерного аналізу конструкції. Також застосовуються програми Autodesk Simulation Mechanical і Autodesk Simulation CFD – для аналізу роботи виробу за його цифровим прототипом на основі кінцево-елементного аналізу конструкції (визначення навантажень і дослідження задач силового і кінематичного аналізу).

Основна частина.

Шасі МПРП складається з основної рами на якій монтується платформа з двигуном, робочим обладнанням і приводом управління. До основної рами приєднуються чотири поздовжні балки, які закріплені шарнірно і можуть повертатися на певні кути незалежно одна від іншої. Поздовжні балки моделювалися із застосуванням команди «Проекціювання геометрії». Ця опція дозволяє безпосередньо враховувати геометрію кожної окремої деталі при побудові інших, що спряжені з нею [5]. Поздовжні балки з'єднані з колесами машини, які мають можливість повороту як разом з балками, так і відносно них. Управління колесами і балками виконується за допомогою гідроциліндрів (рис.2).

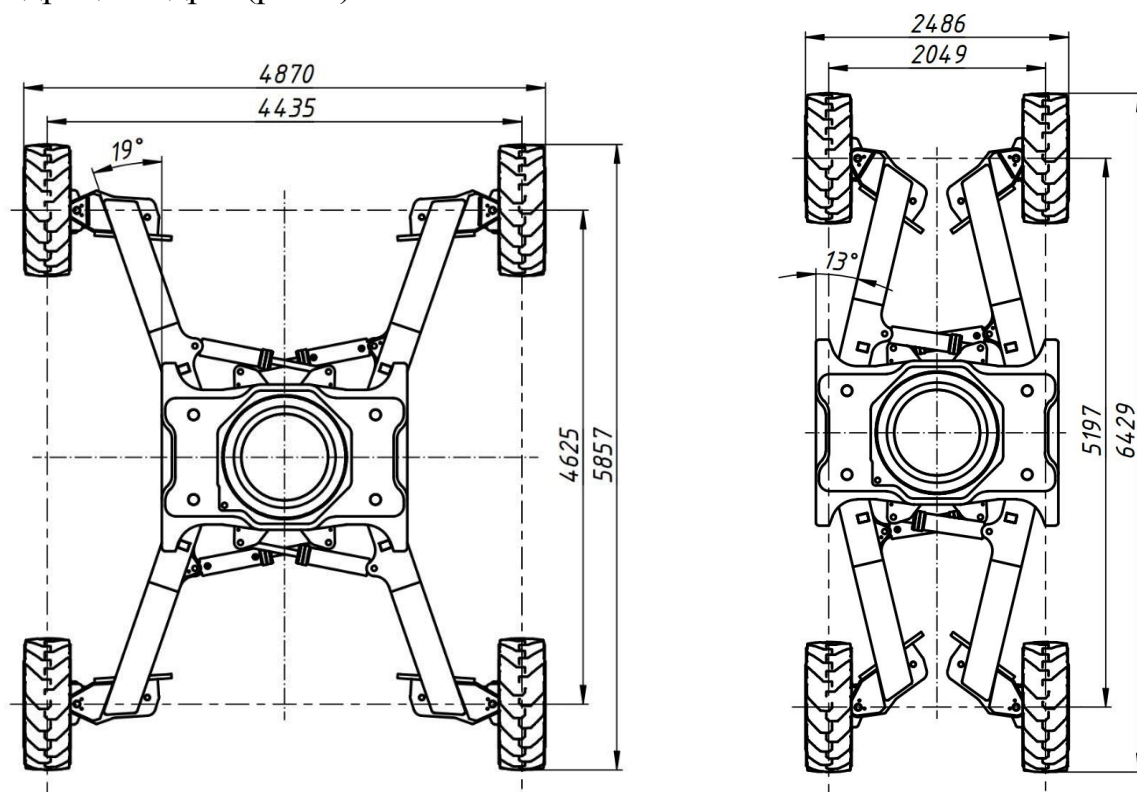


Рисунок 2 - 2D модель шасі з геометричними параметрами

Мінімальна колія машини дорівнює 2,5 м і може бути збільшена майже в 2 рази, за рахунок повороту поздовжніх балок (рис. 3). Радіуси повороту будуть залежати від розмірів колії і бази ходового обладнання, а також від

кутів повороту керованих коліс і схеми повороту. Конструкція коліс такого типу суттєво відрізняється від пневматичної шини. Пневматична складова в цьому колесі повністю відсутня, а деформація гумового елемента значно менша ніж у коліс традиційного виконання. В комп'ютерному сенсі таке колесо умовно можна назвати «абсолютно жорстким», тому контакт з опорною поверхнею моделюється лінією, а не площиною. Це припущення дозволяє суттєвим чином спростити технологію моделювання і прискорити виконання розрахунків під час проведення цифрових досліджень.

Маневреність МПРП визначалась для двох можливих механізмів повороту, коли керованими є тільки передні колеса, а також коли передні і задні колеса повертаються в протилежних напрямках на однакові кути. Радіуси повороту визначались для трьох положень поздовжніх балок, що забезпечують мінімальну, середню та максимальну колію. Крім цього, в реальній машині є можливість повороту всіх коліс в один бік, але цей варіант руху машини не розглядався.



Рисунок 3 - 3D модель самохідного шасі МПРП

На реальній машині ведучими колесами є задні, на яких встановлені гідромотори, що забезпечують безступеневе регулювання швидкості руху машини. Функції диференціалу в такому випадку виконує система управління гідроприводу [3], яка забезпечує необхідні кутові швидкості коліс, що унеможливорює процеси ковзання. На комп'ютерній моделі реалізувати такий механізм, майже не можливо.

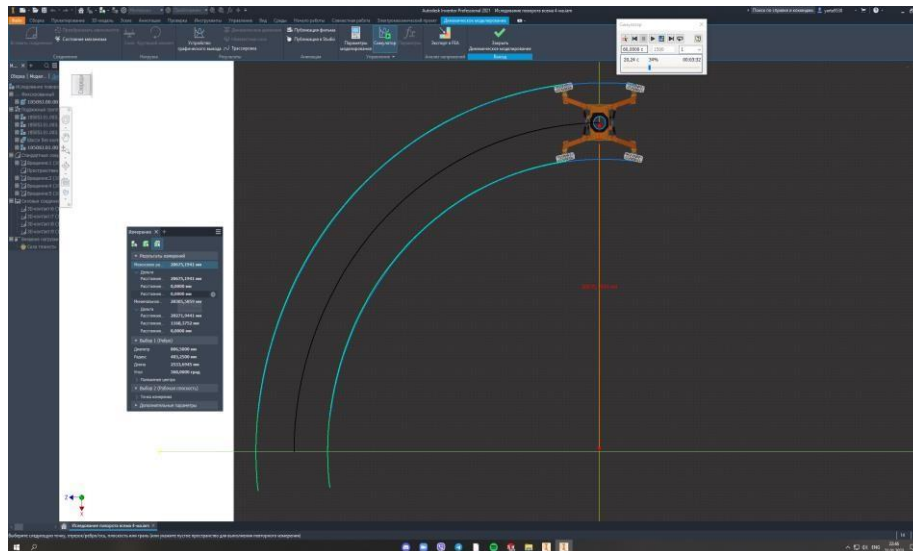


Рисунок 4 - Траєкторія руху шасі при визначенні радіусів повороту.

Тому при проведенні віртуальних дослідів з рухом постійного радіусу спостерігалось ковзання коліс по поверхні. Позбавитися цього ефекту можна, якщо передавати «умовний» крутний момент тільки на одне ведуче колесо.

Для проведення віртуальних досліджень маневреності треба було змодельовати робочий майданчик (рис.4). Цей майданчик представляв собою горизонтальну тверду поверхню, наприклад цементобетонну, без перешкод. В опції панелі управління «Динамічне моделювання» задавалася модельна швидкість руху, яка дорівнює швидкості руху реальної машини 4,3 км/год.

Експерименти дозволили визначити радіуси повороту машини, а також показали необхідність розраховувати швидкість обертання коліс у відповідності від довжини шляху, який вони мають проходити під час руху. Мінімальний радіус повороту можна отримати при розташуванні поздовжніх балок що забезпечують найменшу колію і він становить 6,8 м при 2-х керованих колесах, а 2,2 м відповідно при 4-х. Збільшення колії до максимального значення призводить до зростання радіусу повороту в 1,5 рази.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. Розроблена комп'ютерна модель шасі МПРП дозволяє досліджувати показники маневреності машини в залежності від багатьох конструктивних параметрів, таких як колія, база, кути повороту поздовжніх балок і керованих коліс.

2. В подальших дослідженнях передбачено встановити параметри маневреності з урахуванням розташування робочого обладнання в різноманітних транспортних положеннях і суттєвим чином розширити діапазон конструктивних і технологічних факторів.

3. Наступним етапом віртуальних досліджень нової моделі МПРП має бути кінематичний і силовий аналіз робочого обладнання а також

моделювання руху машини по поверхні заданого профілю при наявності перешкод, дослідження стійкості машини у транспортному і робочих режимах.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. 1850SJ Ultra Series Telescopic Boom Lift. URL: <https://www.jlg.com/en-gb/equipment/engine-powered-boom-lifts/telescopic/ultra-series/1850sj>
2. Shawna Lockhart, Daniel T. Banach & Travis Jones Autodesk Inventor 2021 Essentials Plus. SDC Publications. 2020. 534 p.
3. Кириченко І.Г., Аврунін Г.А., Самородов В.Б., Ярижко О.В. Об'ємний гідропривід в мобільних підйомниках з робочими платформами: монографія. Харків: ХНАДУ, 2018. 295 с.
4. Кириченко І.Г., Рєзніков О.О., Рукавишніков Ю. В., Книщенко А.О. Аналіз рівня технічного розвитку мобільних підйомників із робочими платформами Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: зб. наук. пр., Харків, 2021. Вип. 92, т. 1. С. 149-153.
5. Черніков О.В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: зб. наук. пр. Вип. 73. Харків, ХНАДУ, 2016. С. 239-244.
6. Кириченко І.Г., Рєзніков О.О., Розенфельд М.В., Момотов А.В., Шаламов М.А., Кохан І.Р. Метод визначення стійкості мобільних підйомників з робочими платформами в транспортному положенні Підйомно-транспортна техніка, 2021, №2 (66) С. 20-29.
7. Кириченко І.Г., Рєзніков О.О., Рукавишніков Ю.В., Книщенко А.О. Дослідження коефіцієнта збільшення площі опорної поверхні після розгортання мобільного підйомника. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: зб. наук. пр. 2021. Вип. 95. С. 26-31.

Латишев Д.В., Молчанов В.Ф. (Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ОБРОБКИ НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

Проведено аналіз керування точністю обробки на шліфувальних верстатах. Встановлена наявність у шліфованих деталей відхилень від співвісності (ексцентриситету) і радіального биття, які обумовлені похибкою заготовок, неточністю верстата, технологічною спадковістю. Запропоновано спосіб виправлення ексцентриситету і радіального биття. Застосування розробленого способу керування точністю обробки на шліфувальних верстатах дозволяє прискорити процес виправлення похибок в 2-3 рази в порівнянні із звичайним шліфуванням.

The analysis of control of processing accuracy on grinding machines was carried out. The presence of deviations from coaxiality (eccentricity) and radial runout in the polished parts, which are caused by the error of the workpieces, the inaccuracy of the machine, and technological heredity, has been established. A method of correcting eccentricity and radial runout is proposed. The use of the developed method of controlling the accuracy of processing on grinding machines allows you to speed up the process of correcting errors by 2-3 times compared to ordinary grinding.

Основними напрямками розвитку машинобудування передбачено подальше підвищення точності, надійності і довговічності виготовлених виробів [1]. Питання підвищення точності і надійності виробів вирішуються при одночасному зниженні термінів їх постановки на виробництво, автоматизації усіх виробничих процесів. Для підвищення точності і надійності виробів в машинобудуванні широко впроваджуються програмно-керовані верстати, гнучкі виробничі системи, роторні лінії, автоматичні дільниці і заводи. Для звичайних неавтоматизованих підприємств машинобудування, при забезпеченні точності, істотне значення мають робітник і наладчик, які налагоджують металорізальне устаткування і своєчасно усувають технологічні відмови. В умовах автоматизованого виробництва задана точність має бути забезпечена самою технологічною системою [2, 3]. Проблема забезпечення точності в цьому випадку є однією з найбільш складних. Для її вирішення необхідно виконати розробку спеціальних апаратурних засобів і систем керування технологічними операціями, створення нових підходів до аналізу процесів утворення поверхонь.

Метою дослідження є аналіз управління точністю обробки на шліфувальних верстатах.

Проведемо аналіз керування точністю обробки на шліфувальних верстатах. На операціях шліфування, широко поширених в

машинобудуванні, відбувається кінцеве формування параметрів на точність [4, 5].

Наявність у шліфованих деталей відхилень від співвісної (ексцентриситету) і радіального биття обумовлена такими головними причинами, як початкові похибки заготовок, похибки установки їх в пристосуванні, неточність верстата, технологічна спадковість.

Зниження радіального биття і ексцентриситету шляхом підвищення точності верстата, пристосування і зменшення початкових похибок заготовок не завжди дозволяє вирішити завдання стабільного досягнення необхідної точності обробки. Це обумовлено тим, що верстат і настановні елементи пристосування внаслідок їх зносу так чи інакше знижують свої характеристики точності. При використанні високоточного устаткування збільшуються і витрати на обробку. Такий шлях зменшення радіального биття і ексцентриситету шліфованих деталей, як підвищення жорсткості технологічної системи, не завжди ефективний. Це повинно бути обґрунтовано для конкретних умов обробки. Подібна оцінка може бути виконана на основі моделювання з використанням математичних моделей і запропонованого алгоритму для розрахунку параметрів точності деталей [6].

На рисунку 1 графічно виражена закономірність знімання металу з оброблюваної поверхні, що має початкову похибку. Якщо лінію NN представити лінією контакту при першому зіткненні з інструментом, то відрізок А і аналогічні йому виражають змінну величину знімання металу з боку максимального радіус-вектора, а відрізок В - знімання металу з боку мінімального радіус-вектора (криві FS і KLM відповідно). Відстань між цими лініями С є поточним значенням залишкової похибки $\Delta\rho_i$, яка може бути вирахована по формулі:

$$\Delta\rho_i = r_{\max i} - r_{\min i}, \quad (1)$$

або

$$\Delta\rho_i = \Delta\rho_o - \left(\sum_{i=1}^n \Delta r_{\max i} - \sum_{i=1}^n \Delta r_{\min i} \right) \quad (2)$$

де $\Delta\rho_o$ - початкове радіальне биття заготовки;

$\sum_{i=1}^n$

$\Delta r_{\max i}$ - знімання металу з боку максимального радіус-векторів;

$\sum_{i=1}^n$

$\Delta r_{\min i}$ - знімання металу з боку мінімального радіус-векторів.

Аналіз формули (2) вказує на те, що прискорити процес виправлення початкового ексцентриситету або радіального биття можна за рахунок збільшення знімання металу з боку максимального і зменшення з боку мінімального радіус-векторів заготовки. Для цього необхідно створювати при шліфуванні попереднє зміщення осі зовнішньої поверхні заготовки відносно осі обертання шпинделя передньої бабки.

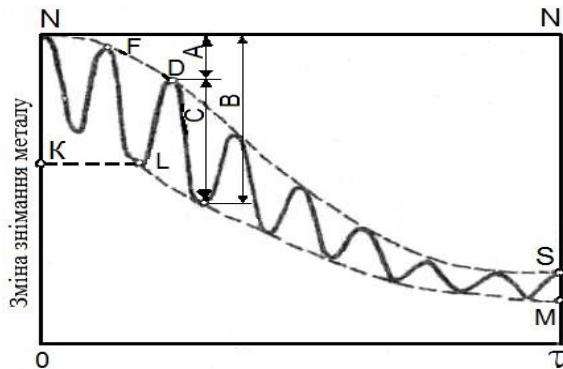


Рисунок 1 - Зміна знімання металу і вихідної похибки заготовки в процесі шліфування

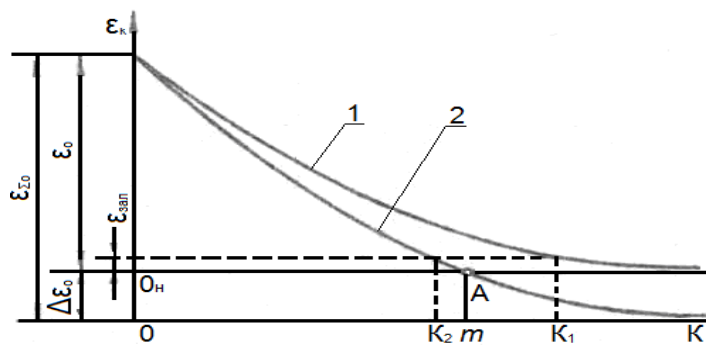


Рисунок 2- Вплив числа виконаних проходів на величину залишкового ексцентриситету:
крива 1 – без зміщення осей; крива 2 – з додатковим зміщенням осей

На рисунку 2 показано процес виправлення ексцентриситету ϵ_0 , відображений кривою лінією 1. Як видно з графіку, для виготовлення деталі з $\epsilon_{ko} = 0$ необхідно зробити нескінченно велике число обертів (проходів).

При шліфуванні запропонованим способом перед початком обробки утворюють додаткове зміщення осі зовнішньої поверхні деталі (точка O_H) відносно осі обертання шпинделя передньої бабки верстата O на величину $\Delta\epsilon_0$ (рис.2). Шліфувати при цьому необхідно до моменту досягнення ексцентриситетом $\epsilon_{\Sigma K}$ значення, рівного за величиною додатково створеному зміщенню осей $\Delta\epsilon_0$ (точка A).

З графіків видно, що для виправлення початкового ексцентриситету заготовки ϵ_0 при обробці зі зміщенням осей ($\Delta\epsilon_0 \neq 0$) потрібно менше число обертів (проходів) - точка K_2 , чим при обробці з поєднаними осями - точка K_1 ($\Delta\epsilon_0 = 0$). Прискорення процесу виправлення ексцентриситету при створенні додаткового зміщення осей обумовлене збільшенням знімання металу з боку більшого припуску за рахунок збільшення натягу в технологічній системі і зменшення знімання металу з боку меншого припуску.

Аналіз і порівняння даних показує, що застосування розробленого способу керування точністю обробки дозволяє прискорити процес виправлення похибок в 2-3 рази в порівнянні із звичайним шліфуванням. Наявність залишкового ексцентриситету деталей після обробки з додатково створеним зміщенням осей обумовлена похибками при проведенні

експериментів і виникненням похибок, що утворюються в процесі шліфування.

Результати отриманих даних експериментів підтвердили правильність вибраних розрахункових залежностей і допущень [6].

Для реалізації розробленого способу у виробничих умовах може бути рекомендоване або попереднє сортування заготовок по групах з рівним початковим ексцентриситетом і наступна обробка з постійним додатковим зміщенням осей для кожної із груп, або оснащення верстата системою адаптивного керування.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Молчанов В.Ф. Методи підвищення точності при механічній обробці / XI Міжнародна науково-практична конференція – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – Т. 1. – С. 112.
2. Молчанов В.Ф. Методи забезпечення точності для умов автоматизованого виробництва / «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». Матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції 01 - 04 червня 2021 року: – Краматорськ: ДДМА, 2021. – С.103-104.
3. Молчанов В.Ф. Аналіз основних напрямів забезпечення точності в автоматизованому виробництві / XII Міжнародна науково-практична конференція – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – Т. 1. – С. 64-65.
4. Molchanov, V.F. (2022). Ensuring accuracy in conditions automated production. The Second Special Humanitarian Issue of Ukrainian Scientists. European Scientific e-Journal, 3 (18), _____. Ostrava: Tuculart Edition. DOI: 10.47451/inn2022-04-03.

Левенчук Д.В., Бондаренко О.В. *(Відокремлений структурний підрозділ «Краматорський фаховий коледж промисловості, інформаційних технологій та бізнесу Донбаської державної машинобудівної академії» м. Краматорськ, Україна)*

ДУАЛЬНЕ НАВЧАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

Надано аналіз того, що система дуальної освіти може стати справді перспективною в Україні. Вона допоможе не лише покращити якість освіти, а й збільшити шанси молодих людей на ринку праці, а також сприятиме розвитку економіки країни.

An analysis of the fact that the system of dual education can become truly promising in Ukraine is provided. It will help not only to improve the quality of education, but also to increase the chances of young people in the labor market, as well as contribute to the development of the country's economy.

Дуальна освіта - це форма освіти, яка поєднує теоретичний курс навчання і практичний досвід роботи на робочому місці. Вона дозволяє студентам здобути освіту, що відповідає вимогам ринку праці, і дозволяє їм отримати досвід роботи, який може бути важливим для їхньої майбутньої кар'єри. Мета дослідження: виявити перспективи реалізації дуального навчання студентів.

У Німеччині дуальна освіта є однією з найпопулярніших форм освіти. Воно надається як для школярів, так і для дорослих і охоплює широкий спектр галузей, від виробництва до охорони здоров'я. [2]

Система дуальної освіти в Німеччині побудована на тісній співпраці між компаніями та навчальними закладами. Компанії надають студентам робочі місця на виконання практичних завдань, а навчальні заклади надають теоретичну підготовку. Це дозволяє студентам отримати досвід роботи та одночасно вчитися, що є ключовою перевагою дуальної освіти.

В Україні впровадження дуальної освіти розпочалось у 2015 році. Нині воно є одним із пріоритетів освітньої політики країни. У рамках дуальної освіти студенти можуть отримати досвід роботи у великих компаніях, та отримати високоякісну освіту, що відповідає потребам ринку праці. [1]

Однак, незважаючи на те, що дуальна освіта починає розвиватися в Україні, ще багато потрібно зробити для того, щоб вона стала широко поширеною. Наприклад, необхідне створення партнерств між компаніями та навчальними закладами, а також створення якісних програм дуальної освіти, які відповідатимуть потребам ринку праці.

Також важливо зважати на те, що кожна країна має свої особливості, і те, що працює в одній країні, може не підходити для іншої. Наприклад, у Німеччині система дуальної освіти значною мірою спирається на довгу

історію культури освіти, яка розпочалася понад 100 років тому, та на культуру кваліфікаційного навчання. В інших країнах, включаючи Україну, можуть бути інші підходи та виклики, які слід враховувати при впровадженні системи дуальної освіти. [5]

Проте, дуальна освіта має низку переваг у порівнянні з іншими формами освіти. Наприклад, вона допомагає студентам отримати практичний досвід роботи на ранніх етапах своєї кар'єри, що може підвищити їхню конкурентоспроможність на ринку праці. Крім того, дуальна освіта може бути дешевшою і доступнішою для студентів, ніж традиційна вища освіта, і може сприяти зменшенню безробіття. [7]

Також важливим чинником успішної реалізації дуальної освіти є якість викладання та наставництва. Викладачі та наставники повинні бути досвідченими та добре підготовленими, щоб передати свій досвід та знання студентам, а також допомогти їм розвиватися та рости професійно. Необхідно також забезпечити належне обладнання та умови для навчання, щоб студенти могли отримувати практичний досвід у реалістичному робочому середовищі. [4]

Однією з основних переваг німецької системи дуальної освіти є те, що вона інтегрована в економіку країни та активно підтримується компаніями та урядом. Компанії можуть допомогти у розробці навчальних програм, наданні стажувань та наставництві для студентів, що дозволяє навчатися на практиці у реальному професійному середовищі. Також компанії можуть використовувати дуальну освіту для підготовки своїх майбутніх працівників, що забезпечує їм доступ до висококваліфікованих та мотивованих кадрів.

Однак для успішної реалізації дуальної освіти в Україні необхідно враховувати специфіку місцевої економіки та освіти. Необхідно встановити партнерські відносини між компаніями та навчальними закладами, а також забезпечити якісну підготовку викладачів та наставників. Також потрібно створити якісні програми навчання, які відповідатимуть запитам ринку праці та враховуватимуть потреби студентів. [8]

Загалом, дуальна освіта – це ефективна форма навчання, яка дозволяє студентам отримати практичний досвід роботи та покращити свої шанси на ринку праці. Німецька система дуальної освіти є однією з найуспішніших у світі, і Україна починає її активно впроваджувати. Однак, для успішної реалізації цієї системи в Україні необхідно зробити ще багато роботи, включаючи встановлення партнерських відносин між компаніями та навчальними закладами, створення якісних програм навчання, забезпечення якісної підготовки викладачів та наставників, та тісна взаємодія між урядом, компаніями та навчальними закладами. [3]

Одним із прикладів успішної реалізації дуальної освіти в Україні є проект "Бізнес-освіта" (Business-Education), який був запущений у 2016 році за підтримки Німецького товариства міжнародного співробітництва (GIZ) та Міністерства освіти та науки України. Мета проекту полягає в тому, щоб

розвивати дуальну освіту в Україні, навчаючи українських студентів та молодих спеціалістів навичкам, необхідним для роботи в сучасних компаніях. [4]

В рамках проекту "Бізнес-освіта" компанії можуть надавати стажування для українських студентів, а також брати участь у розробці навчальних програм, щоб вони відповідали вимогам ринку праці. Наразі проект працює у п'яти областях України, і його мета – розширення дуальної освіти на всю країну.

Система дуальної освіти може відіграти важливу роль у відновленні економіки України після війни. Вона може допомогти збільшити кваліфіковану робочу силу та створити більше робочих місць у країні. [6]

За підрахунками Київської школи економіки, вже на 80-й день війни в Україні зруйновано понад 35 млн кв. метрів житла. Аби було зрозуміло: це приблизно півмільйона невеликих двокімнатних квартир. І це лише те, що вдалося порахувати, і лише житловий фонд. А скільки ще зруйнованих заводів, підприємств, цивільних установ та будинків на територіях, де точаться активні бойові дії! Все це вимагатиме відновлення, яке, згідно з досвідом Другої світової війни, розтягується на 10–15 років, як у Будапешті чи Мюнхені, і на 40 років, як це було з Дрезденом. [1]

По-перше, дуальна освіта дозволяє студентам здобувати практичний досвід роботи в компаніях, що підвищує їхню кваліфікацію та готує їх до роботи в реальній економіці. Це може суттєво підвищити конкурентоспроможність молодих людей на ринку праці та допомогти їм швидше знайти роботу.

По-друге, компанії, що беруть участь у дуальній системі освіти, можуть робити свій внесок у навчання та формування кваліфікації майбутніх працівників. Вони можуть навчати студентів практичним навичкам, знайомити їх із новими технологіями та процесами, а також враховувати їхні потреби при створенні програм навчання.

По-третє, дуальна освіта може стимулювати розвиток галузей економіки, у яких є потреба у кваліфікованих працівниках. Наприклад, якщо в країні є дефіцит робочої сили у певній галузі, то компанії можуть брати участь у створенні відповідних освітніх програм та готувати необхідні кадри. [1]

Насамкінець, можна сказати, що дуальна освіта - це ефективна форма навчання, яка дозволяє студентам отримати практичний досвід роботи та покращити свої шанси на ринку праці. Німецька система дуальної освіти є однією з найуспішніших у світі, і Україна починає активно впроваджувати цю систему. Однак для успішної реалізації дуальної освіти в Україні необхідно враховувати специфіку місцевої економіки та освіти та проводити масштабну роботу щодо встановлення партнерських відносин між компаніями та навчальними закладами, створення якісних програм навчання,

забезпечення якісної підготовки викладачів та наставників, та тісної взаємодії між урядом, компаніями та навчальними закладами.

Україна починає активно впроваджувати систему дуальної освіти, і є певні успіхи у цьому напрямі. Однак, для того, щоб система дуальної освіти в Україні стала ефективною та успішною, необхідно провести масштабну роботу щодо встановлення партнерських відносин між компаніями та навчальними закладами, створення якісних програм навчання, забезпечення якісної підготовки викладачів та наставників та тісної взаємодії між урядом, компаніями та навчальними закладами.

Реалізація системи дуальної освіти в Україні дозволить не лише покращити якість освіти, а й збільшити шанси молодих людей на ринку праці та сприяти розвитку економіки країни.

Дуальна освіта має перспективу в Україні. Україна вже почала впроваджувати систему дуальної освіти і є деякі позитивні результати. Наприклад, у 2019 році в Україні було понад 18 тисяч студентів, які навчалися за дуальною системою, а кількість навчальних закладів, які пропонують таку форму навчання, невпинно зростає.

При цьому, щоб система дуальної освіти стала ефективною та успішною, необхідно провести додаткову роботу. Необхідно встановити партнерські відносини між компаніями та навчальними закладами, створити якісні програми навчання, забезпечити якісну підготовку викладачів та наставників та тісно взаємодіяти між урядом, компаніями та навчальними закладами. Також потрібно вирішити низку організаційних питань, пов'язаних із фінансуванням, атестацією та сертифікацією студентів.

Однак, якщо всі ці питання будуть вирішені, то система дуальної освіти може стати справді перспективною в Україні. Вона допоможе не лише покращити якість освіти, а й збільшити шанси молодих людей на ринку праці, а також сприятиме розвитку економіки країни.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0193-20#Text>
2. <https://www.erasmustrainingcourses.com/dual-education-and-work-based-learning.html>
3. <https://www.igi-global.com/dictionary/dual-system-of-vocational-education-and-training/65689>
4. <https://khai.edu.ua/university/normativna-baza/polozheniya1/polozhennya-yaki-regulyuyut-poryadok-zdiysnennya-osvitnogo-procesu/polozhennya-pro-dualnu-formu-zdobuttya-osviti/>
5. <https://mon.gov.ua/ua/osvita/profesijno-tehnichna-osvita/reforma-profesijnoyi-osviti/derzhavno-privatne-partnerstvo-ta-dualna-osvita/dualna-osvita>
6. <https://it-kharkiv.com/dualna-osvita-yak-tse-i-dlya-kogo/>
7. <https://nmc-pto.vn.ua/дуальна-форма-навчання/>

Майстренко М.А., Медведєв В.В. (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м.Київ, Україна)

ПОРІВНЯННЯ ВАРТОСТІ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ ТА ЗАГАРТОВУВАННЯ ТВЧ

У статті досліджено можливості магнітно-імпульсної обробки деталей. Виявлені основні переваги такої обробки. Проаналізовані літературні джерела про вплив обробки на структуру матеріалу, порівняно з загартовуванням токами високої частоти. Проаналізовані глибина дії магнітно-імпульсної обробки, нагрів та деформації які відбуваються під час обробки обидвома способами. Виконаний розрахунок порівняння питомої вартості енергоносіїв при обробці великогабаритних деталей зубчастої рейки механізму горизонтального наведення танку.

The article examines the possibilities of magnetic pulse processing of parts. The main advantages of such processing have been revealed. Literary sources on the effect of processing on the structure of the material compared to quenching with high-frequency currents were analyzed. The depth of action of magnetic pulse processing, heating and deformations that occur during mortification by both methods were analyzed. The calculation of the comparison of the specific cost of energy carriers during the processing of large-sized parts of the gear rack of the horizontal guidance mechanism of the tank was carried out.

У зв'язку з подорожчанням електроенергії та наступним за цим збільшенням виробничих витрат, також у зв'язку з поступовим введенням у виробництво методів зміцнення за рахунок імпульсної обробки (в подальшому МІО) як альтернативу для загартовування токами високої частоти (в подальшому ТВЧ), нарізла необхідність переглянути деякі технологічні процеси з точки зору вартості, звернути увагу на можливості та обмеження пов'язані з МІО.

Аналіз виявив досить обмежену кількість робіт, які порівнюють економічний аспект МІО з іншими типами обробки. Що означає, що темі виділено мало уваги, і це висловлює необхідність обстежити різницю в цих методах з точки зору енергоефективності. Також пошук не виявив методологію порівняння саме цих методів.

Однак існують публікації, які досліджують вплив магнітно-імпульсної обробки металу. Ось деякі з них:

- У статті [1] повідомляється, що імпульсна магнітна обробка впливає на твердість сталі 20Cr2Ni4A та робить її структуру більш однорідною.
- У дослідженні [2], наведено результати випробувань на втому зразків з алюмінієвого сплаву Д16Т, оброблених магнітно-імпульсним зміцненням.

- У статті [3], повідомляється про значне зниження залишкової напруги шляхом комбінованої обробки імпульсним магнітним полем та імпульсним струмом на зразках сталі.
- У дослідженні [4] імпульсне магнітне поле високої інтенсивності було застосовано для зміни мікроструктури та механічних властивостей загартованої підшипникової сталі 8Cr4Mo4V у криогенному середовищі.
- В дослідженні [5] була зроблена спроба імпульсної магнітної обробки для покращення продуктивності різання пластин з цементованого карбїду та впливу сили імпульсного магнітного поля на сили різання, знос інструменту, оброблену поверхню.
- У дослідженні [6] показано, що обробка магнітним полем може продовжити термін служби ріжучих інструментів із титанового сплаву, особливо у вологих умовах.

Впровадження методу зміцнення МІО в виробництво відбувається повільними темпами в зв'язку з відсутністю промислових установок що приводить до незрозумілості економічної доцільності перебудови технологічних ланок. Тобто для початку необхідно дослідити різницю вартості між методом зміцнення ТВЧ, як одного з найбільш поширених, та МІО.

Метою роботи є огляд деяких технологічних процесів з точки зору вартості, звернути увагу на можливості та обмеження пов'язані з МІО та ТВЧ.

МІО та ТВЧ це методи, які застосовуються для покращення механічних властивостей металів, які мають значні відмінності.

Зміцнення металу магнітними імпульсами - це процес збільшення міцності металу шляхом дії на нього магнітного поля з високими амплітудами і короткими імпульсами. Тоді як гартування металу струмами високої частоти ґрунтується на пропусканні змінного струму високої частоти через металеву деталь. Це призводить до індукційного нагрівання поверхневих шарів металу, які потім швидко охолоджуються. Цей процес призводить до загартовування поверхневих шарів металу, що підвищує його твердість та зносостійкість.

Глибина дії МІО. МІО впливає на поверхневий шар металу до глибини кількох міліметрів, ТВЧ впливає на більш глибокі шари металу, до кількох сантиметрів залежно від конкретних параметрів обробки, що може бути корисно за вимоги зміцнення внутрішніх частин металу. Однак, якщо потрібне зміцнення тільки поверхні, то МІО може бути ефективнішим методом, оскільки воно впливає тільки на поверхневі шари металу.

Нагрів та деформації. ТВЧ може призводити до значного нагрівання металу, що може спричинити деформації та зміни розмірів. МІО не призводить до значного нагрівання металу, тож цих проблем немає.

Ефективність. МІО - це швидший процес, ніж ТВЧ. МІО може займати лише кілька мілісекунд, тоді як ТВЧ має тривати кілька секунд. Ефективність магнітно-імпульсного зміцнення металу та загартовування металу струмами високої частоти залежить від багатьох факторів, таких як матеріал металу, конкретні параметри обробки та необхідні механічні властивості. Експериментальні дослідження свідчать, що з використання МІО можна досягти підвищення міцності металу на 10-30% проти необробленого матеріалу. Однак, кінцевий результат залежить від багатьох факторів, і міцність, яку можна досягти, може змінюватись у широкому діапазоні.

Для приблизного розрахунку витрат на обробку шестірні необхідно ввести значні спрощення та припущення, які призведуть до вкрай приблизного результату, проте він дозволить оцінити порядок різниці витрат.

Для прорахунку була обрана зубчата рейка механізму горизонтального наведення танку Т-64. Дана зубчата рейка ймовірно має наступні характеристики:

Дільний діаметр (діаметр погону башти) 1860мм., модуль 6, число зубів, висота зуба 13.5мм., діаметр кола виступів 1845мм., діаметр кола западин 1872мм., товщина зуба по дузі дільного кола 9.424778, кут нахилу зуба 20 градусів, ширина рейки 35 мм. Варто зазначити, що точні значення зубчастої рейки не доступні та можуть відрізнятись в залежності від конкретної модифікації.

Для подальшого розрахунку необхідно визначити площу оброблюваної поверхні, для чого була побудована відповідна 3D-модель з вказаними вище характеристиками.

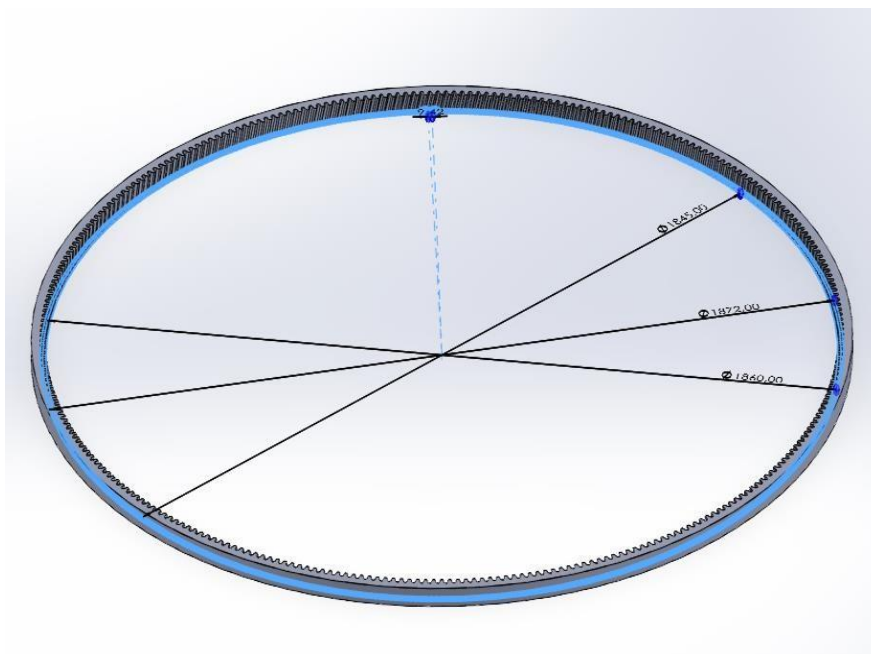


Рисунок 1 - Зубчата рейка механізму горизонтального наведення танку Т-64

В програмі, що представлена на рисунку 2, отримане значення площі оброблюваної поверхні, що дорівнює 3056 см².

Для ТВЧ загартування шестерні необхідно мати, в середньому, питому потужність 0,1 кВт/см² швидкість нагріву в області температур фазових перетворень становить 6 °С/сек, час нагрівання 60 с, частота струму 6250 Гц.

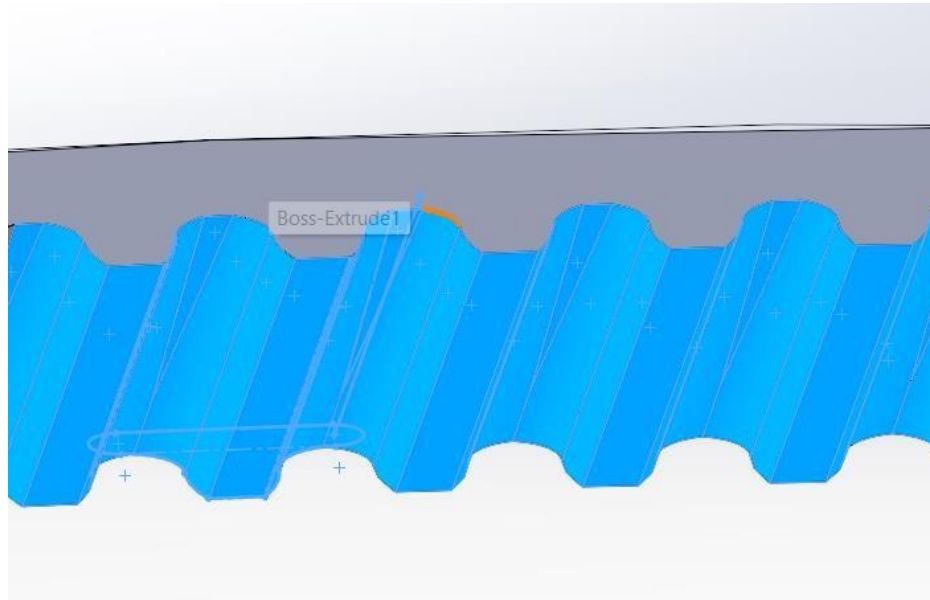


Рисунок 2 – Поверхня що буде оброблюватись

Витрати на обробку за допомогою ТВЧ:

$$W_{\Gamma} = W * S * t = 0,1 * 3056 * 60 = 305,6 \frac{\text{кВт}}{\text{хв}} = 18336 \frac{\text{кВт}}{\text{год}};$$

W_{Γ} – кількість енергії

W – питома потужність ($W = 0,1 \text{ кВт/см}^2$)

S – площа оброблюваної поверхні ($S = 3056 \text{ см}^2$)

t – час нагрівання ($t = 60 \text{ с}$)

$$Z_{\text{ТВЧ}} = \frac{W_{\Gamma} * Z_e}{60} = \frac{18336 * 5}{60} = 1528 \text{ грн/хв};$$

Z_e – вартість електроенергії ($Z_e = 5 \text{ грн за } 1 \text{ кВт*г години}$)

Витрати на обробку одного колеса за допомогою МІО:

$$Z_{\text{МІО}} = \frac{n_3(t*n)}{60} * Z_e = \frac{310(0,4*3)}{60} * 5 = 6,2 \text{ грн/хв};$$

де n_3 - кількість зубів ($n_3 = 310$);

t – тривалість одного імпульсу з урахуванням наведення зарядного пристрою ($t = 0,4$ с);

n – кількість імпульсів ($n = 3$);

Варто зазначити, що в розрахунку обчислюється саме час безпосередньої обробки.

Різниця між ТВЧ та МІО значна, що не дає можливості порівнювати їхню вартість на пряму. Однак спрощений розрахунок дає різницю в затратах енергії на три порядки, що дає можливість стверджувати, що МІО вимагає меншої кількості енергії, ніж ТВЧ. Це пов'язано з тим, що МІО впливає на поверхневі шари металу, тоді як ТВЧ впливає на більш глибокі шари, що потребує більшої кількості енергії. Крім того, МІО – це швидший процес, ніж ТВЧ, тому його споживання енергії на одиницю часу нижче. Загалом вибір між МІО і ТВЧ залежить від конкретних вимог і характеристик металу, що обробляється. Кожен метод має свої переваги та обмеження. Їхня область застосування різна. МІО може бути використане для зміцнення більшості металевих матеріалів, включаючи сталь, алюміній, мідь та титан. ТВЧ більш ефективна для зміцнення матеріалів з високою електропровідністю, таких як сталь та мідь. Обидва методи дозволяють зміцнювати метал, але МІО найчастіше застосовується для збільшення втомної міцності та зниження зносу поверхні металу, а ТВЧ – для збільшення твердості та зносостійкості поверхневих шарів металу.

Також необхідно враховувати залежність від інфраструктури та обладнання, доступних на виробництві, заміна котрого не завжди може бути окуплена за рахунок електроспоживання. Якщо врахувати, що обробка МІО ще не має розповсюдження в промисловому обладнанні та готових, перевірених часом, рішень то вибір між цими методами не є тривіальною задачею.

Список посилань

1. *Effect of pulse magnetic field treatment on the hardness of 20Cr2Ni4A steel* – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304885321005242>
2. *Increasing the fatigue resistance of aircraft parts magnetically impulse hardening* – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214652200432X>
3. *Residual stress reduction by combined treatment of pulsed magnetic field and pulsed current* – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509311005211>
4. *Effect of pulsed magnetic field on retained austenite of quenched 8Cr4Mo4V steel under cryogenic condition* – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785423003435>
5. *Modification effects of the pulsed magnetic field on the coated cemented carbides tool for enhanced mechanical and cutting performances* – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263436822003171>
6. *Enhancing the wear performance of WC-6Co tool by pulsed magnetic field in Ti-6Al-4V machining* – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1526612522004376>

Малій О.Г. , Левченко В.М., Алієв І.С. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ КОНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

Метою роботи є визначення можливостей способу комбінованого видавлювання конічних деталей. МСЕ моделюванням встановлено, що зміна сили видавлювання по ходу процесу відбувається в три основні стадії. На першій стадії відбувається різке збільшення сили видавлювання при розпресуванні заготовки. На другій стадії процес можна вважати сталим, а для третьої стадії невільного видавлювання характерно різке зростання силових параметрів. Встановлено, що характерними дефектами деталей, отриманих комбінованим видавлюванням, є незаповнення кутових зон деталі і поява зазорів між торцем пуансону і дном порожнини.

The aim of the work is to determine the possibilities of the method of combined extrusion of conical parts. FEM modeling has established that the change in the extrusion force during the process occurs in three main stages. At the first stage, there is a sharp increase in the extrusion force when the workpieces is pressed out. At the second stage, the process can be considered constant, and the third stage of non-free extrusion is characterized by a sharp increase in power parameters. It has been established that the characteristic defects of the parts obtained by combined extrusion are the non-filling of the corner zones of the part and the appearance of gaps between the end face of the punch and the bottom of the cavity.

Порожнисті деталі типу циліндричних і конічних стаканів і гільз є дуже поширеними у галузях приладобудування та машинобудування. Для виготовлення таких виробів ефективними є процеси холодного та гарячого видавлювання [1–3]. В останні роки ці процеси демонструють стійку тенденцію до збільшення обсягів виробництва, розширення номенклатури деталей і матеріалів та створення нових способів формоутворення [4–6].

Фактором, що обмежує технологічні можливості видавлювання, є високий рівень сил (і тисків) деформування металу [2, 5–8].

Комбінування традиційних способів поздовжнього (зворотного та прямого) з новими схемами поперечного (радіального та бокового) видавлювання при виготовленні порожнистих деталей підвищує ефективність процесів штампування за рахунок меншого числа технологічних переходів, зниження енергоємності та підвищення продуктивності виробництва. Комбіноване видавлювання з роздачею знижує енергоємність процесу деформування за рахунок зменшення жорсткості напруженого стану в осередку деформації [1, 5, 9]. Комбіноване радіально-пряме видавлювання ефективно для отримання глибоких гільз саме через перебіг в оптимальному силовому режимі [5, 7, 10].

Ці нові способи деформування з комбінованою течією привертають дедалі більше увагу дослідників. У роботі Лі Я. С. (Y.S. Lee) [11] представлені силові характеристики процесу комбінованого послідовного

видавлювання в залежності від таких параметрів, як діаметр оправки, радіус матриці і коефіцієнт тертя.

Аналізу дефектоутворення, напружено-деформованого стану (НДС) та тепловиділення у процесах видавлювання присвячені роботи, виконані із залученням методів верхньої оцінки та скінченних елементів [6, 9–12]. У роботі [9] розглянуто можливості прогнозування процесу виникнення дефектів у вигляді утяжин у донній частині стакану енергетичним методом верхньої оцінки.

Що стосується видавлювання конічних деталей, то спосіб зворотного видавлювання (рис.1, а) є найбільш енергоємним процесом, що обумовлено інтенсивною односпрямованою течією металу в умовах всебічного стиснення і значного тертя [2, 13]. У цьому процесі стійкість заготовки недостатня, що зумовлює появу різностінності деталей.

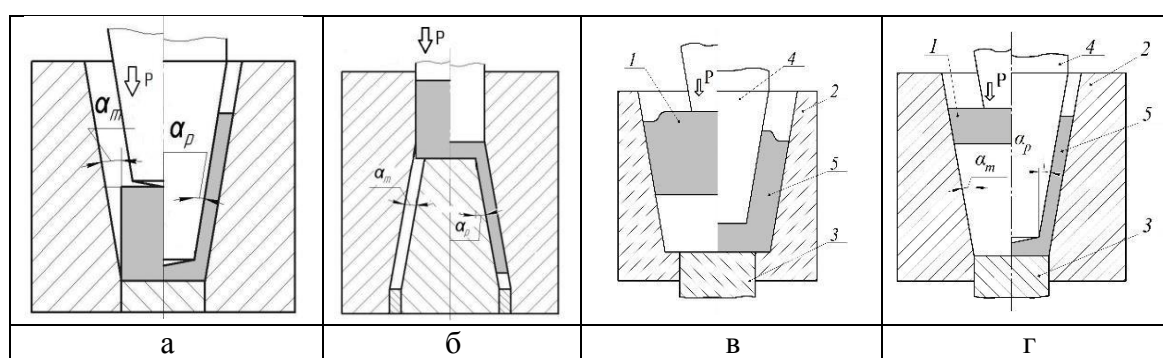


Рисунок 1 - Схеми видавлювання порожнистих деталей типу «конічний стакан»

Пряме видавлювання з роздачею конічних деталей (рис.1, б) через різнойменну схему напруженого стану вимагає менших сил деформування [2, 14]. Тому і деформованість заготовок може бути низькою через те, що на кромці деталі діє окружне напруження розтягу.

Перспективним методом штампування конічних деталей може бути комбіноване зворотно-пряме видавлювання, що дозволяє помітно знизити енергосилові витрати на процес деформування, досягти найбільш точних розмірів та покращити якість виробів, що отримуються [13, 15, 16]. Для схеми (рис.1, в) характерне використання фасонної заготовки, що розміщується у верхній частині порожнини матриці. При деформуванні такої заготовки верхній торець деталі формується за рахунок роздачі, що унеможливує подальше калібрування [13].

Для нової схеми комбінованого видавлювання характерно розміщення вихідної конічної заготовки також у верхній частині порожнини матриці (рис.1, г) [17]. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2, в якій розміщений виштовхувач 3. Деформування з докладанням зусилля виконується пуансоном 4. В результаті впливу пуансона 4 отримують виріб 5. При цьому

сили тертя, що виникають між пуансоном і заготовкою, сприяють прямому видавлюванню, а сили тертя між матрицею та заготовкою – зворотному.

Метою роботи є визначення за допомогою методу скінченних елементів параметрів процесу комбінованого прямо-зворотного видавлювання конічного порожнистого стакану.

Для теоретичного аналізу поставленого завдання використано метод скінченних елементів, який реалізовано у програмному комплексі QForm 2D. Граничні умови для скінченно-елементного аналізу: матеріал заготовки – АД1; модуль Юнга – 69000 МПа; коефіцієнт Пуассона – 0,34; початкова температура заготовки – 20°C. Розміри заготовки: більший діаметр конічної заготовки $d1 = 56$ мм; висота заготовки $h1 = 30$ мм; кут нахилу конуса $\alpha = 10^\circ$. Розміри отриманої деталі: товщина дна $h2 = 17$ мм; товщина стінки $s = 7$ мм; загальна висота деталі $H = 73$ мм.

Для опису поведінки заготовки у процесі деформування використовується в'язкопластичне середовище. Умови контактного тертя задані згідно із законом Зібеля. За базовий варіант технологічного процесу прийнятий варіант з розташуванням заготовки у верхній частині матриці (див. рис. 1, г) та коефіцієнти тертя на поверхнях матриці та пуансону, рівні $\mu_s = \mu_n = 0,08$ (рис. 2).

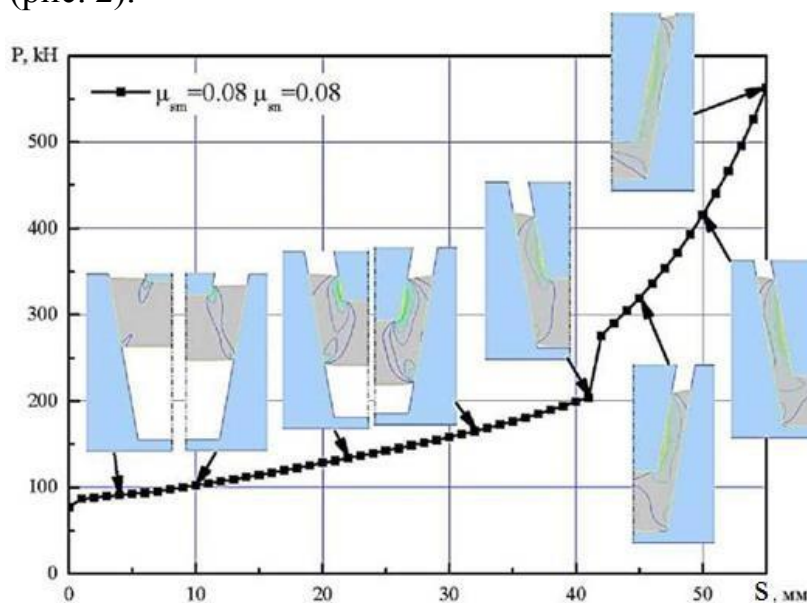


Рисунок 2 - Характер зміни сили видавлювання P по ходу процесу S

У ході досліджень процесу комбінованого зворотно-прямого видавлювання було встановлено, що зміна сили видавлювання нерівномірною і на діаграмі "Сила P – Шлях S " можна виділити три стадії процесу видавлювання. На першій нестационарній стадії етапу (з ходом пуансону $S=30\%$ від загальної величини ходу) відбувається розпресування заготовки та інтенсивне зростання сили видавлювання. На другій стадії (з ходом пуансону S

= 65%) процес вважатиметься псевдо стаціонарним, так як збільшення сили видавлювання відбувається плавно. Третя стадія процесу настає, коли нижній торець напівфабрикату починає контактувати з торцем контрпуансона і характеризується різким стрибком силових параметрів за рахунок переходу від комбінованої течії до етапу зворотного видавлювання.

Формування осередка деформації (рис. 3) при значеннях коефіцієнтів тертя на матриці 0,36 і 0,08 на пуансоні значною мірою аналогічно осередку деформації у процесі впровадження, описаного в роботі [16]. Формування стінки стакану та дна деталі відбувається одночасно протягом усього процесу. Висота стінки поступово збільшується при різних утворюючих кутах, проте після переходу до стадії зворотного видавлювання при кутах менше 150 градусів відбувається різке збільшення висоти стінки стакану. При збільшенні кутів нахилу твірних спостерігається зменшення товщини донної частини деталі протягом всього процесу деформування.

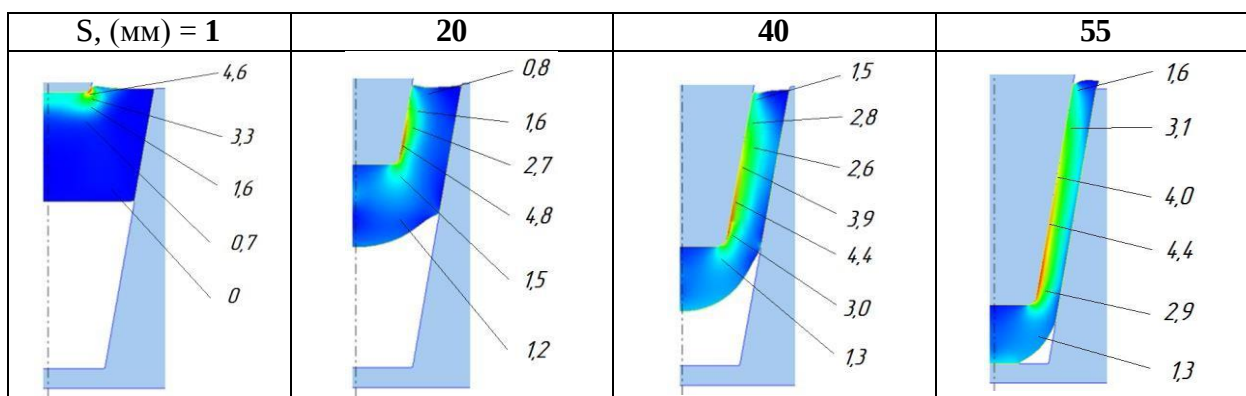


Рисунок 3 - Постадійное формоутворення конічної деталі в процесі зворотно-прямого видавлювання та розподіл інтенсивності деформації

На початковій стадії процесу зона інтенсивної деформації примикає до кромки пуансона і найбільш zdeформовані шари металу розподіляються вздовж бічної поверхні пуансона, де максимальне значення логарифмічного ступеня деформації досягає 4, 6, а мінімальне 0,75. На даному етапі переважаючими деформаціями в об'ємі напівфабрикату виступають деформації зі ступенем, що дорівнює 1,3. На наступній стадії зона розподілу інтенсивності деформацій, як і раніше, спостерігається вздовж бічної поверхні пуансону, і дорівнюють 1,3. На кінцевій стадії ($S = 55$ мм) нерівномірний характер розподілу ступеня деформації зберігається і переважна деформація має величину 3,1. Як і очікувалося, найбільш пропрацьованою є стінка деталі, а зона під торцем пуансона практично не деформована.

При малих значеннях коефіцієнтів тертя на матриці та пуансоні течія металу відбувається переважно у прямому напрямку, і при цьому можливе збільшення товщини дна порівняно з товщиною конічної вихідної заготовки,

розміщеної в середній частині порожнини матриці. Збільшення довжини похилої твірної на матриці також впливає на перебіг процесу. Чим менше довжина лінії контакту заготовки з твірною матриці, тим більше процес видавлювання стає схожим на процес штампування, який характеризується втягуванням заготовки в порожнину матриці без зменшення товщини дна заготовки. У всіх випадках більш опрацьованою частиною деталі є стінка стакану з характерною нерівномірністю деформації та максимумом ступеня обробки у шарах прилеглих до пуансону.

Аналіз формозміни заготовки також показав, що деформування металів за таким варіантом, коли комбінована течія металу зберігається до завершення формоутворення порожнистої деталі цілком можливо. В процесі деформування видно, як при збільшенні сил тертя металу з матрицею зовнішня бічна поверхня напівфабрикату залипає на стінці матриці, внаслідок чого нижній торець деталі набуває округлих форм і з'являється дефект у вигляді незаповнення кута порожнини матриці (рис. 4).

Вплив на формозміну заготовки умов контактного тертя пов'язано також з таким параметром як відношення радіуса пуансона торця до радіусу дна порожнини матриці. При значеннях цього параметра в діапазоні від 0,4 до 0,8 збільшення значення коефіцієнта тертя на пуансоні більшою мірою впливає на рівень силових характеристик процесу видавлювання, а при значеннях, що не входять в даний діапазон - на особливості формозміни заготовки.

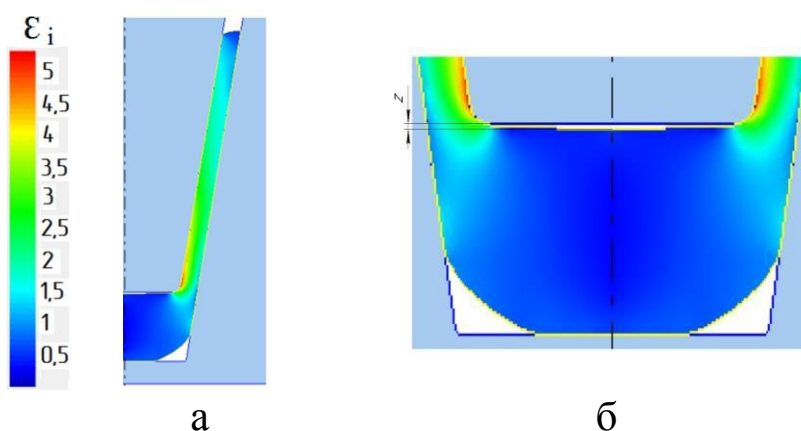


Рисунок 4 - Дефекти у вигляді незаповнення кутових зон (а) та випередження металу з появою зазору (утяжин) перед торцем пуансону (б)

Збільшені значення відношення радіусів (і ступеня деформації) більше 0,8 сприяють інтенсивній течії металу зі стінки стакану у прямому напрямку. Відношення радіуса пуансона до радіуса матриці було збільшено до 0,9, при цьому кут нахилу матриці дорівнював куту нахилу пуансона $\alpha = 10^\circ$. Товщина заготовки була прийнята рівною товщині дна готової деталі. У досліджуваному варіанті, коли значення коефіцієнтів тертя на матриці і пуансоні сприяють більш інтенсивній течії металу в прямому напрямку,

тобто є мінімальними, протягом процесу видавлювання лінія розділу течії металу зміщуються вище по стінці напівфабрикату. Це призводить до появи дефекту у вигляді зазору z між дном деталі та робочим торцем пуансону (див. рис. 4, б). Можливість появи такого роду дефекту при комбінованому видавлюванні через випереджаюче видавлювання металу у прямому напрямку зазначено раніше й іншими дослідниками [15].

Для підтвердження результатів, отриманих методом МСЕ, був проведений експеримент (рис. 5) видавлювання конічних стаканів при кутах інструментів, рівних 10° . Заготовки були виготовлені з алюмінієвого сплаву АД31 у формі зрізаного конуса з наміткою під пуансон.

По ходу процесу відбувається втягування металу в дно за рахунок помітно активної течії металу у прямому напрямку. Це призводить до того, що на проміжній стадії відбувається незначне збільшення товщини дна деталі, що формується. При контакті заготовки з торцем проти пуансону та переході до стадії зворотного видавлювання спостерігається зменшення товщини дна деталі та різке збільшення висоти стінки стакану (рис. 5).

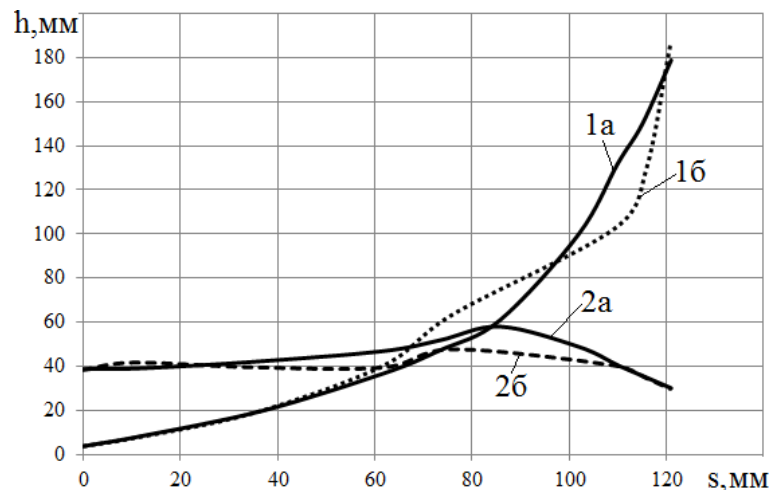


Рисунок 5 - Графік зміни висоти стінки (1a - МСЕ, 1б - експеримент) та товщини дна стакану (2a - МСЕ, 2б - експеримент) порожнистої конічної деталі

У цілому характер формозміни заготовки, прогнозованої моделлю, підтверджується дослідженнями умов контактного тертя.

Висновки. В результаті аналізу процесу комбінованого зворотно-прямого видавлювання конічних стаканів встановлено, що реалізація процесу комбінованого зворотно-прямого видавлювання можлива без кінцевої стадії зворотного видавлювання при збільшеному коефіцієнті контактного тертя на матриці. Основними параметрами впливу в даному процесі є кути нахилу твірних матриці та пуансона, умови контактного тертя, а також форма та розміри заготовки, що визначають її вихідне положення у порожнині матриці.

Встановлено, що при формоутворенні порожнистих конічних деталей спостерігається утворення дефектів у вигляді незаповнення кутів порожнини та контуру деталі, а також у вигляді появи зазору між торцем пуансона та дном деталі внаслідок випереджальної течії металу у прямому напрямку із стінки напівфабрикату.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. *Моделювання та розробка процесів точного об'ємного штампування видавлюванням: монографія*. Краматорськ : ДДМА. 2021. 208 с. ISBN 978-617-7889-08-2
2. Aliev I.S. *Radial extrusion process. Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo)*. Part 3, pp. 54–61, 1988,... ISSN: 0891-334x.
3. Алієв І.С. *Методи пошуку нових технологічних способів видавлювання. Теорія та практика обробки матеріалів тиском. Колективна монографія*. Запоріжжя: Мотор-Січ. 2016. С. 364–485. ISBN 978-966-2906-60-8.
4. Kalyuzhnyi V. L., Aliieva L. I., Kartamyshev D. A., Savchinskii I. G. *Simulation of cold extrusion of hollow parts*. *Metallurgist*. 2017. Vol. 61, I. 5-6, pp. 359–365. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0501-1>.
5. Aliieva L., Kartamyshev D. *Combined radial-forward extrusion of hollow parts like cups. XVIII International Scientific Conference 'New Technologies and Achievements in Metallurgy, Material Engineering, Production Engineering and Physics'. Series: Monografie*. Częstochowa, 2017. No 68, pp. 108–113/
6. Alieva L., Zhbakov Y. *Radial-forward extrusion with a movable mandrel*. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. No 11. pp. 175–183.
7. Aliiev I., Aliieva L., Grudkina N., Zhbakov Ya. *Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion*. *Metallurgical and Mining Industry*. 2011. 3(7), pp. 17–22. <https://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/17Aliiev.pdf>
8. Jafarzadeh H., Zadshakoyan M., Abdi Sobbouhi E. *Numerical Studies of Some Important Design Factors in Radial-forward Extrusion Process*. *Materials and Manufacturing Processes*. 2010. 25, pp. 857–863.
9. Lee Y. S., Hwang S. K., Chang Y. S., & Hwang B. B. *The Forming Characteristics of Radial-Forward Extrusion*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2001. 113, pp. 136–140.
10. Farhoumand A., Ebrahimi R. *Analysis of forward-backward-radial extrusion process*. *Materials and Design*. 2009. 30. 6, pp. 2152–2157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.08.025>

11. Aliiev I.S., Gnezdilov P.V. *Comparative analysis of methods for extrusion of hollow conical parts. XVII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering»: Series: Monografie. No 56. Czestochowa. 2016, pp. 179–182.*

12. Пат. 141858 Україна. Спосіб виготовлення деталей типу гільз. Алієва Л.І., Калюжний В.Л., Корденко М.Ю., Кузенко О.А., Самоглядов А.Д.. № u201911074; заявл. 11.11.19; опубл. 27.04.20, Бюл. № 8.

Матющенко О.Г., Мирюгін В.І., Шулежко А.В. (Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, Україна)

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВО БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

В останні роки, в Україні виникла гостра потреба у збільшенні потенціалу сектору безпеки і оборони держави, суттєво зростає потреба в нових зразках озброєння та військової техніки, підвищуються вимоги до якості розробки та виробництва. У даній статті розглянуто переваги та недоліки використання технологій адитивного виробництва та штучного інтелекту у розробці та виробництві безпілотних літальних апаратів, сформувано відповідні висновки за результатом аналізу процесу виробництва безпілотних літальних апаратів, визначено перспективний напрямок проведення подальших досліджень.

In recent years, in Ukraine, there has been an urgent need to increase the potential of the security and defense sector of the state, the need for new types of weapons and military equipment is growing significantly, and the requirements for the quality of development and production are increasing. This article examines the advantages and disadvantages of using technologies of additive manufacturing and artificial intelligence in the development and production of unmanned aerial vehicles, draws relevant conclusions based on the results of the analysis of the production process of unmanned aerial vehicles, and determines the prospective direction of further research.

Вступ. Збройна агресія російської федерації проти України зумовила вплив на оборонно-промисловий комплекс (ОПК) України. З одного боку здійснюється руйнування об'єктів ОПК під впливом масованих ракетних ударів противника, а отже спостерігається зниження продуктивності ОПК та рівня інвестицій. З іншого боку очевидно стала важливість функціонування ОПК для забезпечення та підтримки обороноздатності країни на належному рівні. Унікальний досвід України в протистоянні більш економічно розвиненій країні прикував увагу світу до моделі спротиву, розвитку (підтримки) економіки в умовах війни, стали зрозумілими недоліки ОПК та важливість інвестицій в дану галузь. Одночасно з тим, постачання новітніх зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) від країн-партнерів в рамках військової допомоги, вимагає переорієнтацію роботи ОПК, що передбачає поступовий перехід виробничих потужностей на розробку та виробництво сучасних високоточних зразків ОВТ та їх складових частин.

Протистояння України збройній агресії російської федерації дозволило виявити недоліки в оснащенні Збройних Сил України, зокрема безпілотними літальними апаратами (БпЛА). На сучасному полі бою жодна військова операція не проводиться без застосування БпЛА, які використовуються для виконання наступних завдань: коригування артилерії, розвідка та дорозвідка,

ураження до розробки БПЛА висувають ряд тактико-технічних вимог таких, як: завадозахищеність, всепогодність, вантажопід'ємність, простота керування, зльоту та посадки, дальність застосування та час перебування у польоті, дальність зв'язку, тощо. Водночас, зі зростанням потреби у БПЛА, зумовленої конфліктом, посилились вимоги до виробництва: відповідність потребам споживачів, високі темпи розробки та виробництва, конкуренція, попит, обмеженість ресурсів та вартості готового продукту. Враховуючи, що держава сфокусується на системному стимулюванні розвитку виробництва БПЛА в Україні у найближчі роки [1], імплементація новітніх технологій у виробництво БПЛА є не просто потребою, а вимогою сьогодення. Одним із варіантів удосконалення виробництва БПЛА є запровадження технологій штучного інтелекту (ШІ) на різних етапах життєвого циклу продукції та адитивних технологій. Запорукою успішності імплементації сучасних методів та технологій до промисловості, є досвід країн Європейського Союзу та технологічно розвиненої Китайської Народної Республіки. Слід відмітити, що даний напрямок підтримується з боку держави, так у 2020 році Кабінет Міністрів України затвердив концепцію розвитку штучного інтелекту до 2030 року [2], як наслідок підтримка виробників БПЛА з боку держави є гарантованою.

Аналіз останніх публікацій. Новітні технології, зокрема ШІ та 3D друк активно інтегровані до структури виробництва різних галузей людської діяльності: машинобудуванні, аграрної промисловості, сільському господарстві, медицині, військовій секторі та ін.

У роботі [3] проаналізовано тенденції технологічної трансформації сфери машинобудування. Досліджені інноваційні процеси виробництва та прогнозу обслуговування які є перспективними у машинобудуванні. Досліджено роль цифрових технологій при запобіганні ризикам втрати актуальності продукції на ринку.

У роботі [4] досліджені причини швидкого розвитку процесів роботизації в індустріально-розвинених країнах у багатьох галузях і сферах виробництва, здатність роботів замінювати робітників і офісних працівників. Визначені спеціальності, які найбільш успішно замінені ШІ.

У роботі [5] розглянута можливість підвищення ефективності бізнес-процесів підприємства із застосуванням ШІ, його методів роботи та інструментів. Проаналізовано нові підходи до прогнозування бізнес-процесів підприємства.

Робота [6] присвячена дослідженню ролі штучного інтелекту та хмарних обчислень у бізнесі та виробництві. Доведена перспективність їх використання, визначені недоліки та ризики.

Метою роботи є: визначення ролі адитивного виробництва та штучного інтелекту в удосконаленні процесу виробництва безпілотних літальних апаратів.

Основна частина. Одним із основних завдань росії, перед початком війни, було знищення військово-промислового потенціалу України, внаслідок чого противник систематично здійснює удари по військовим об'єктам та об'єктам ОПК. Як наслідок, спостерігається зниження виробничих потужностей, розрив логістичних ланцюжків. Поряд із тим виникла необхідність у ремонті великої кількості зразків ОВТ як вітчизняного, так і іноземного виробництва, при відсутності технологічної спроможності виробництва та низького рівня автоматизації й цифровізації виробничих та управлінських процесів.

ОПК має поновити виробничу базу відповідно до світових стандартів для підтримки зв'язків із закордонними партнерами та орієнтуватись на потреби Збройних Сил України. Вважається, що головним недоліком ОПК є відсутність технологій, а саме переважання у військово-промисловому виробництві технологій третього і четвертого технологічних укладів [7]. Перехід до п'ятого укладу є вищим рівнем технології, коли інформація і знання стали новим фактором виробництва. З огляду на зазначене, доцільне впровадження та поширення новітніх технологій, зокрема ІІІ.

ІІІ використовується для оптимізації процесів проектування та виробництва, моделювання поведінки систем і прогнозування їх роботи в різних умовах, здійснення аналізу великого об'єму даних та формування нових технічних рішень та концепцій, моделює процеси людського інтелекту, а отже має бути інтегрований до виробництва на різних рівнях.

ІІІ інтегрується в різні системи, в тому числі в систему розробки та виробництва ОВТ, виробляє рішення та створює алгоритми, достатні для виконання завдань, що зазвичай вимагають людського інтелекту. Машини, звісно, діють швидше та без помилок, притаманних людському фактору. Крім того, такі машини здатні навчатися шляхом майже миттєвої обробки надзвичайно великого обсягу інформації.

Визначимо можливі варіанти інтеграції ІІІ до виробництва БПЛА:

- підтримка прийняття рішення, на основі аналізу попиту та тенденцій ринку, пошук оптимальних технологічних та програмних рішень;
- оптимізація витрат виробництва;
- пошук несправностей обладнання виробництва та БПЛА зокрема;
- навчання персоналу підприємства;
- оптимізація процесу виробництва (логістика, контроль якості).

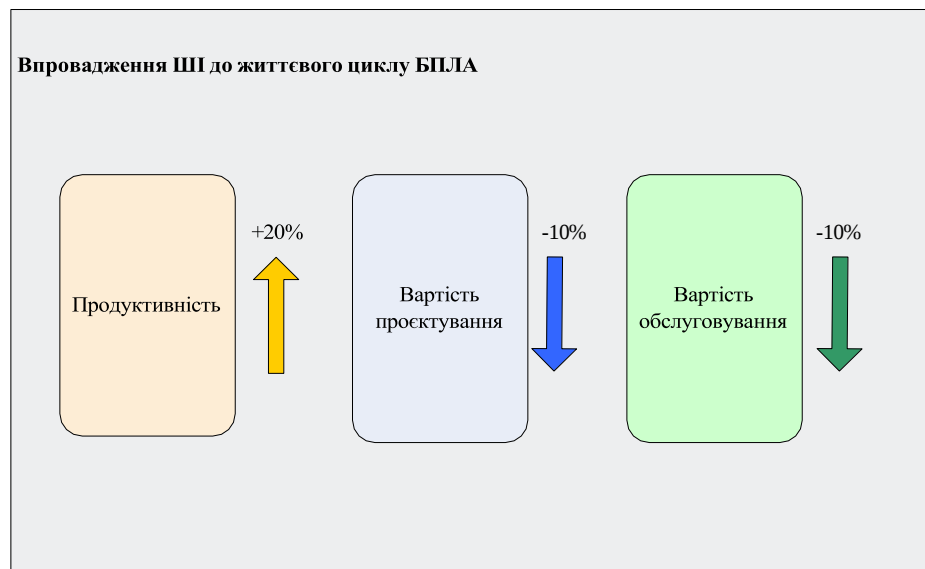


Рисунок 1 - Очікувані результати процесу виробництва БПЛА після впровадження ІІІ [8]

Розглянемо приклад розробки та введення в експлуатацію БПЛА Сокіл-300. Термін необхідний для здійснення розробки та всіх етапів випробувань БПЛА Сокіл-300 складає 18 місяців, при чому дослідний зразок БПЛА буде готовий через 9 місяців після старту робіт [9]. Враховуючи показники, що наведені в роботі [8] час на етап розробки та проведення випробувань скоротиться до 14 місяців, а виробництво дослідного зразка до 7 місяців.

Поряд із впровадженням ІІІ окремо варто розглянути можливість впровадження технології 3D друку на етапі виготовлення складових часин БПЛА.

Перевагами застосування технології 3D друку складових часин БПЛА є:

- зниження витрат часу на вироблення деталей;
- можливість налагодження виробництва будь де, зокрема наближено до лінії фронту;
- швидка переорієнтація виготовлення (можливість виготовлення різних деталей на одному обладнанні);
- можливість налагодження цілодобового виробництва;
- мінімізація залучення людини у процес виготовлення;
- доступність матеріалів 3D друку;
- невелика вага деталей, що впливає на тривалість польоту.

До недоліків 3D друку складових часин БПЛА слід віднести:

- обмеженість матеріалів виробництва та їх міцності;
- вартість обладнання;
- навчання роботи на 3D принтері;
- обмеженість розмірів деталей.

Існує ряд недоліків використання адитивного виробництва та ІІІ в галузі розробки та виробництва ОВТ, зокрема БПЛА :

1) висока вартість обладнання. Введення новітніх технологій у розробку та виробництво ОВТ вимагає значних витрат на обладнання та розробку програмного забезпечення;

2) втрата робочих місць. Впровадження адитивного виробництва та ІІІ у розробку та виробництво ОВТ може призвести до втрати робочих місць для працівників. У багатьох випадках роботи, які раніше виконували люди, будуть замінені роботизованими системами, що може призвести до соціально-економічних проблем.

3) збільшення залежності від постачальників. Використання різноманітних технологій, компонентів, програмного забезпечення вузькоспеціалізоване. Як наслідок виникає залежність від постачальників (особливо від іноземних). У разі війни або конфлікту залежність від іноземних постачальників може стати проблемою для виробництва.

4) помилки в програмному забезпеченні. Помилки в програмному забезпеченні можуть призвести до непередбачуваних збоїв у системі та некоректної роботи обладнання, що, як наслідок, призведе до виробничого браку (дефектів) виробів та призупинення виробничого процесу. Це завдасть економічних збитків виробнику у зв'язку з необхідністю проведення повторних виробничих циклів або відкликанням вже виробленої продукції для усунення виявлених недоліків;

5) підготовка персоналу. Введення, як адитивного виробництва так і ІІІ потребує перенавчання персоналу, введення додаткових спеціалістів. Як наслідок, постає питання підбору або перенавчання персоналу, реорганізація структури виробництва, залучення додаткових коштів.

Висновки. Очевидною є перспективність впровадження сучасних технологій до ОПК, зокрема до виробництва БПЛА. Головними напрямками розвитку галузі розробки БПЛА слід вважати ІІІ на етапі аналізу даних та пошуку нових рішень та адитивних технологій на етапі виробництва. Імплементация сучасних технологій дозволить скоротити цикл розробки та виробництва новітніх БПЛА, що знизить ризики втрати актуальності продукції на ринку. Як наслідок, поєднання новітніх технологій на підприємстві здатні підтримати обороноздатність країни, забезпечивши потреби Збройних Сил України, при цьому зберегти інвестиційну привабливість.

Подальшим напрямком досліджень за даною темою є розробка, виробництво та вдосконалення роботизованих та автоматизованих систем ОВТ та їх складових частин з використанням ІІІ.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Держава стимулюватиме розвиток виробництва БПЛА в Україні на системній основі. URL: [https://www.me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=b11bedb4-50f2-4147-869e-0d7e62e1df8d&title=DerzhavaStimuliuvatime_\(data звернення 18.03.2023\)](https://www.me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=b11bedb4-50f2-4147-869e-0d7e62e1df8d&title=DerzhavaStimuliuvatime_(data%20zverнення%2018.03.2023)).

2. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні від 02.12.2020 р. 1556-2020 р. Дата оновлення: 29.12.2021 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text> (дата звернення 17.03.2023).
3. Ryvak N. Світові тренди технологічної трансформації машинобудівної галузі. *Economic journal of Lesya Ukrainka Volyn National University*. 2022. Vol 1, No 29. P. 76–86.
4. Чудаєва І., Дмитрук Б. Впровадження досягнень штучного інтелекту – безальтернативна передумова трансформації ринку праці. *Соціальна економіка*. 2022. № 64.
5. Легомінова С., Голобородько А. Інтегрування штучного інтелекту до бізнес-процесів підприємства як ефективного інструменту його розвитку. *Економічний форум*. 2022. Т.1, № 4. С. 99–107. <https://doi.org/10.36910/6775-2308-8559-2022-4-12>.
6. Tunguturi M. Artificial intelligence and machine learning in the enterprise. *Transactions on Latest Trends in Health Sector*. 2010. Vol 2, No 2.
7. Проєкт Плану відновлення України URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/development-of-the-military-industrial%20complex.pdf> (дата звернення 16.03.2023).
8. Adoption of Artificial Intelligence in Industrial Machinery URL: <https://www.futurebridge.com/blog/artificial-intelligence-in-industrial-machinery/> (дата звернення 18.03.2023).
9. БПЛА Сокіл-300. URL: <https://mil.in.ua/uk/articles/bpla-sokil-300/> (дата звернення 15.03.2023).

П'янов Д.О., Тулупов В.І. (Донбаська державна машинобудівна академія, м.м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ЗМІЦНЮВАЛЬНА ОБРОБКА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Проведено аналіз технологічних методів поверхневого зміцнення зубчастих коліс у важкому машинобудуванні. Представлено можливість застосування High-Velocity Oxygen Fuel для зміцнення зубчастих поверхонь коліс.

An analysis of technological methods of surface strengthening of gear wheels in heavy engineering was carried out. The possibility of using High-Velocity Oxygen Fuel to strengthen toothed surfaces of wheels is presented.

Зміцнювальна обробка зубчастих коліс є важливою для забезпечення стійкості та тривалої експлуатації механізмів, у яких вони використовуються. Існує кілька технологічних методів зміцнювальної обробки зубчастих коліс, таких як термічна обробка, нарощування металу, наплавлення, хімічне зміцнення та вакуумне напилення. Розглянемо кожен метод детальніше.

1. Термічна обробка. Термічна обробка зубчастих коліс включає нагрівання деталі до високої температури та її повільне охолодження з метою зміни структури матеріалу та підвищення його міцності. Такі методи як гартування, відпуск та нормалізація можуть бути застосовані для досягнення різних властивостей матеріалу. Однак, термічна обробка може бути недостатньо ефективною для деталей з високою точністю, оскільки може впливати на форму та розміри зубів. Методи термічної обробки можуть мати свої недоліки. Наприклад, недостатнє або надмірне нагрівання може призвести до деформації та зміни форми зубчастих коліс. Крім того, після термічної обробки може виникати необхідність в додатковій механічній обробці для досягнення необхідних розмірів та форми зубчастих коліс.

2. Нарощування металу. Нарощування металу полягає в напиленні металевого покриття на поверхню зубів зубчастих коліс. Цей метод може бути ефективним для зміцнення поверхні деталі, підвищення її міцності та зносостійкості. Однак, нарощування металу може бути досить дорогим та складним процесом, а також може впливати на геометрію зубів.

3. Наплавлення полягає в напиленні металевого матеріалу на поверхню зубів зубчастих коліс за допомогою електричної дуги або газового полум'я. Цей метод може бути ефективним.

Щодо методу насичення поверхні, слід зазначити, що його застосування вимагає спеціального обладнання, тому воно може бути досить дорогим. Крім того, насичення поверхні здійснюється за допомогою хімічних реакцій, що може викликати проблеми з безпекою та екологією.

Якщо розглядати процес зміцнювальної обробки зубчастих коліс, то одним із методів є напилення металу, яке може виконуватися за допомогою різних технологій, таких як плазмове напилення, напилення з використанням HVOF (High-Velocity Oxygen Fuel) або електричного дугового напилення.

HVOF (High-Velocity Oxygen Fuel) - це одна з технологій напилення металу, яка використовує високошвидкісний потік газів та палючу суміш палива та кисню для розпилення металевих частинок. Ця технологія дозволяє досягати високої якості напилення та забезпечує зміцнення поверхні зубчастих коліс [1, 2].

Процес зміцнення зубчастих коліс з використанням HVOF складається з наступних етапів:

1. Підготовка поверхні. Поверхня зубчастих коліс піддається попередньому очищенню та обробці, щоб забезпечити максимальну адгезію напилюваного матеріалу.

2. Нагрівання палива та кисню. У вогнепальному газовому пальнику паливо та кисень змішуються та підвищуються до високої температури.

3. Розпилювання металевих частинок. Змішана суміш палива та кисню підвищує швидкість металевих частинок, які розпилюються на поверхню зубчастих коліс. Це дозволяє створити щільне та однорідне напилення, яке зміцнює поверхню коліс.

4. Охолодження. Після завершення напилювання, поверхня зубчастих коліс охолоджується, щоб забезпечити максимальну міцність та зносостійкість напиленої плівки.

Перевагами використання HVOF для зміцнення зубчастих коліс є висока якість напилення та забезпечення однорідності напилення на всій поверхні коліс. Крім того, цей процес дозволяє досягти високого рівня адгезії між напилюваним матеріалом та поверхнею зубчастих коліс.

Після нанесення покриття HVOF на зубчасті колеса можуть бути застосовані такі додаткові операції зміцнювальної обробки, як:

1. Процес нанесення на зубчасті колеса за допомогою термічного способу карбідів вольфраму, що збільшує їх твердість та міцність. Карбід вольфраму є одним з найтвердіших матеріалів, тому він забезпечує довговічність зубчастих коліс.

2. Обробка іонними пучками, що забезпечить підвищення твердості та міцності покриття HVOF шляхом зміни його мікроструктури за допомогою потоку іонів.

3. Термохімічна обробка, що забезпечить формування на поверхні покриття оксидних шарів, які збільшують його корозійну стійкість та зносостійкість.

ВИСНОВКИ

Оглядаючи всі технологічні методи зміцнювальної обробки зубчастих коліс, можна зробити висновок, що кожен метод має свої переваги та недоліки, і їх вибір залежить від вимог до якості та характеристик зубчастих коліс, а також від технічних можливостей та обмежень оброблювального обладнання.

В цілому, зміцнювальна обробка зубчастих коліс з використанням HVOF дозволяє значно збільшити їх твердість та міцність, що підвищує їх довговічність та зменшує частоту їх заміни. Однак, такі процеси можуть бути витратними, тому вони частіше використовуються в виробництві зубчастих коліс, що працюють у важких умовах та підвищеного навантаження.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Лузан С.О. *Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей.*/ С.О. Лузан, О.І. Сідашенко, С.О. Лузан. – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 127 с.
2. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/high-velocity-oxygen-fuel-coating>

Панібратченко Ю. А., Чучин О. В. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ З ЗАСТОСУВАННЯМ СХЕМ ПОЗДОВЖНЬОГО ЗВОРотно-ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

В роботі розглянуто процеси виготовлення порожнистої деталі типу стакан в два етапи та деталі з двома порожнинами з застосуванням поздовжнього зворотно-прямого видавлювання. Досліджено на основі методу скінченних елементів в програмі QForm 2D формозміну заготовки в цих процесах, розподіл інтенсивності деформації та напружень в об'ємі заготовки, яка деформується.

The paper considers the processes of manufacturing a hollow cup-type part in two stages and parts with two cavities using longitudinal reverse-direct extrusion. Based on the method of finite elements in the QForm 2D program, the shape change of the workpiece in these processes, the distribution of the intensity of deformation and stresses in the volume of the workpiece that is being deformed, were studied.

У сучасній промисловості широко використовуються корпусні вісесиметричні деталі (штуцери, корпуси зарядів, перехідники, сопла і т. д.) циліндричної або конічної форми з різними потовщеннями або фланцями, з постійною або змінною товщиною стінки. Холодне об'ємне штампування (ХОШ) видавлюванням є ефективним методом виготовлення деталей такої форми зі сплавів з високою пластичністю та низьким опором деформуванню [1].

Перспективним напрямком розвитку технології є пошук і вивчення нових схем штампування, що забезпечують оптимізацію силового режиму і розширення можливостей процесів холодного деформування [2, 3]. З точки зору зниження робочих навантажень на інструмент найбільш перспективним способом одержання порожнистих циліндричних та конічних деталей є комбіноване та суміщене видавлювання.

Способи поздовжнього зворотно-прямого видавлювання є в даний час найбільш дослідженими і поширеними методами отримання деталей типу стаканів і гільз з зовнішнім вісьовим відростком (рис. 1, схема а) та деталей з двома порожнинами (рис. 1, схема б) [1–3]. Однак, і для їх вдосконалення запропоновані нові оригінальні методи, такі як видавлювання з активним тертям, крученням, з рідинним тертям та ін. [2, 3].

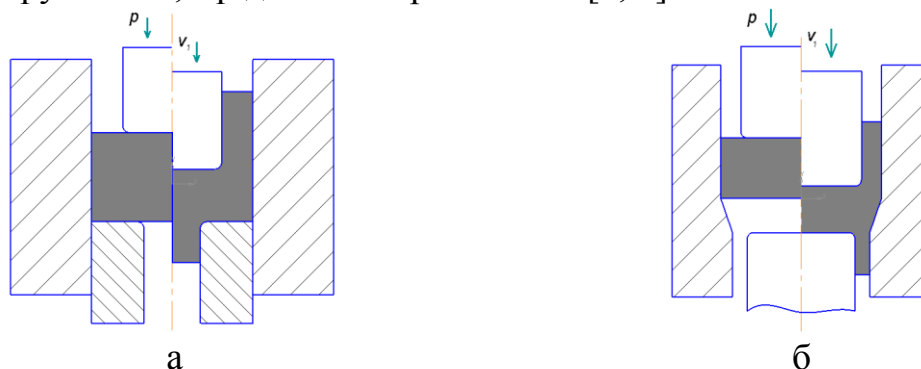


Рисунок 1 - Схеми комбінованого видавлювання порожнистих деталей

Метою цієї статті є дослідження формозміни заготовки з алюмінієвого сплаву АД1, розподілу інтенсивності деформації та напружень в заготовці на основі методу скінчених елементів (МСЕ) у програмі QForm 2D в процесі виготовлення порожнистої деталі типу стакану в два етапи та деталі з двома порожнинами з застосуванням поздовжнього зворотно-прямого видавлювання.

Перший спосіб виготовлення порожнистої деталі забезпечує зниження нерівномірності деформації за рахунок того, що деформування відбувається в два етапи. На першому етапі одночасно виконують зворотне видавлювання стінки стакану і пряме видавлювання з утворенням технологічного відростка в донній частині стакану, а на другому етапі відбувається витіснення в зворотному напрямку (на зразок радіального видавлювання) металу з відростка в донну частину стакану (рис. 2) [4].

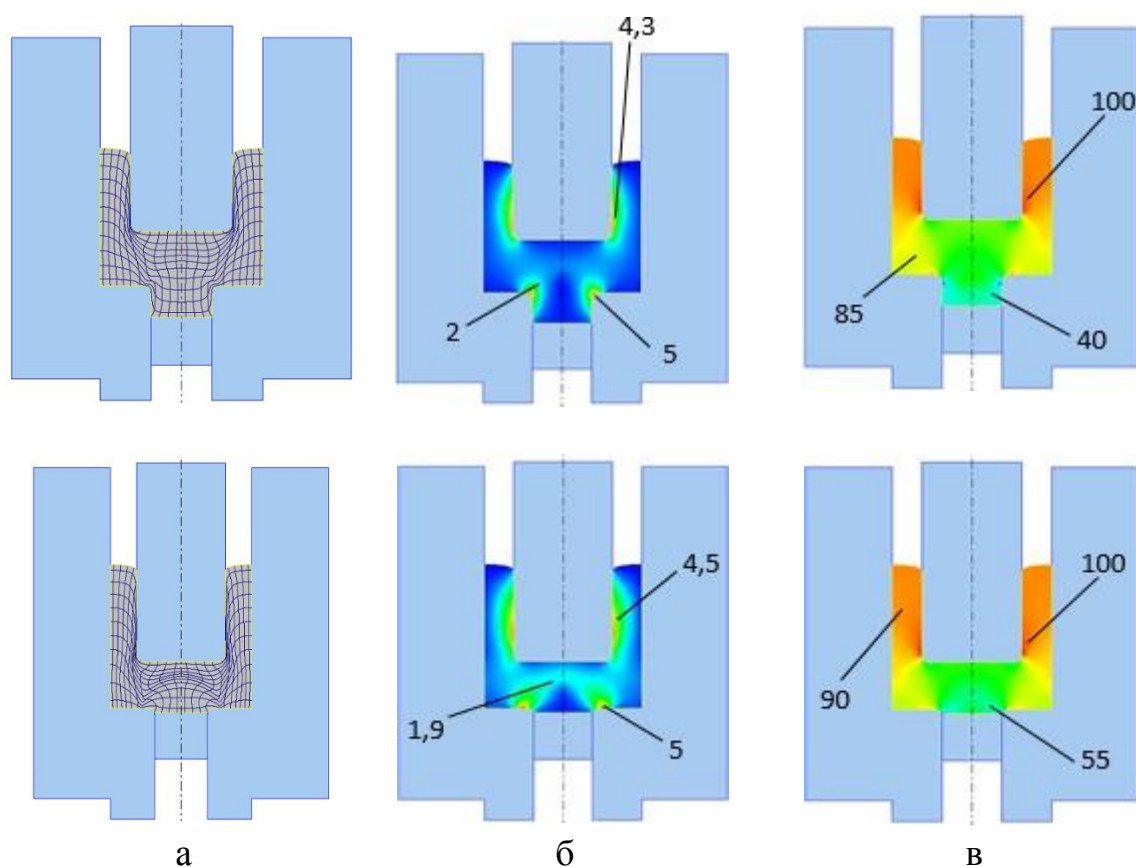


Рисунок 2 - Спотворення ділильної сітки (а), розподіл інтенсивності деформації ϵ_i (б) та розподіл інтенсивності напруження σ_i МПа (в) для початкового етапу (верхній рядок) і кінцевого етапу (нижній рядок)

В розрахунках використовувались наступні геометричні параметри: L – висота заготовки ($L = 80$ мм), h – висота відростка ($h = 7,5$ мм), R – радіус заготовки ($R = 15$ мм), R_1 – радіус стінки заготовки ($R_1 = 5$ мм), R_0 – радіус

відростка ($R_0 = 5$ мм), r – радіус заокруглення ($r = 2$ мм). Хід верхнього пуансона $S_1 = 50$ мм, а нижнього – $S_2 = 7$ мм.

Були отримані і проаналізовані поля розподілу інтенсивності деформацій після одночасного видавлювання стакану з відростком (див. рис. 2 б, в, для початкового етапу) і після зворотного переміщення металу відростка в донну частину стакану і завершення процесу (див. рис. 2 б, в, для кінцевого етапу). Встановлено, що інтенсивність деформацій в донній частині виробу помітно зростає за рахунок застосування знакозмінного деформування (прямого видавлювання відростка і подальшого радіального видавлювання металу з зони відростка в донну частину деталі). Максимальні значення інтенсивності деформації та напруження для першого та другого переходів (етапів) досягають відповідно $\varepsilon_i = 5,0$ та $\sigma_i = 100$ МПа.

В другому способі виготовлення одночасно двох порожнин (рис. 3) використовувались наступні геометричні параметри: L - висота заготовки ($L = 35$ мм), R - радіус заготовки ($R = 25$ мм), R_1 - радіус пуансона ($R_1 = 20$ мм), R_2 - радіус проти-пуансона ($R_2 = 15$ мм), r – радіус заокруглення пуансона ($r = 3$ мм). r – радіус заокруглення проти-пуансона ($r = 2,5$ мм).

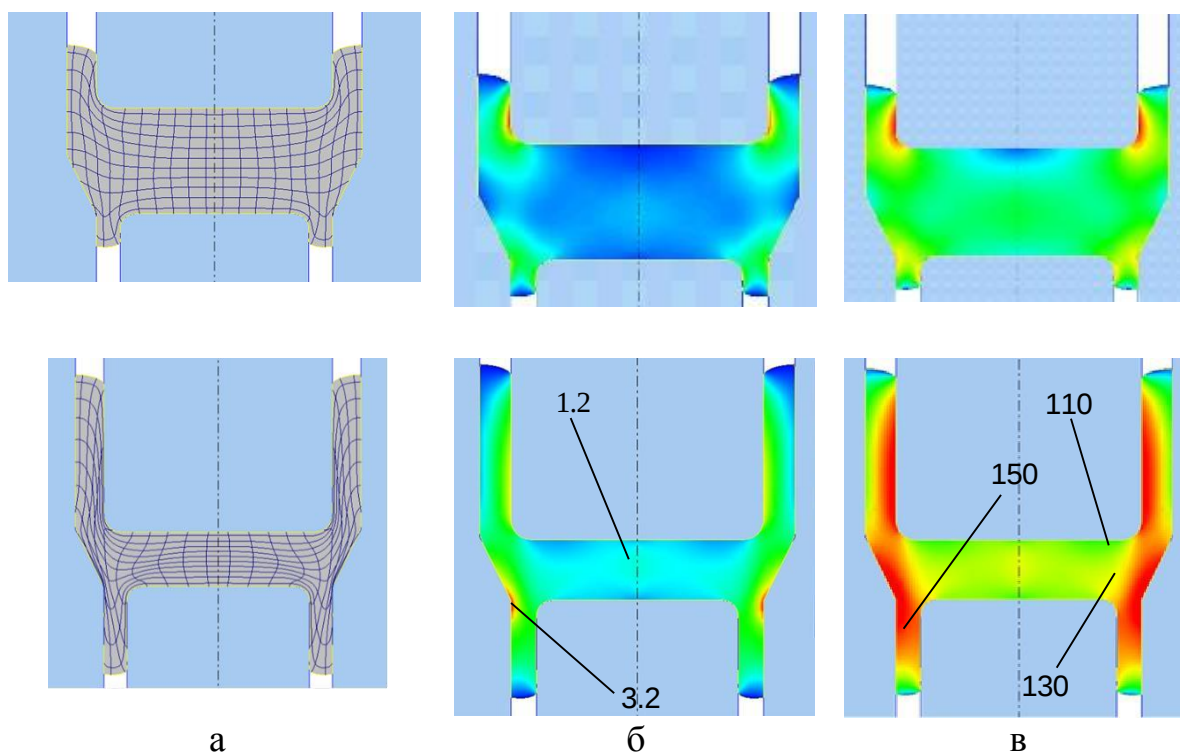


Рисунок 3 - Спотворення ділильної сітки (а), розподіл інтенсивності деформації ε_i (б) та розподіл інтенсивності напруження σ_i МПа (в) для початкового етапу (верхній рядок) і кінцевого етапу (нижній рядок)

За результатами моделювання процесу були отримані і проаналізовані поля розподілу інтенсивності деформації та напруження. З початку процесу

осередок деформації зворотного і прямого видавлювання рознесені один від одного, що перешкоджає виникненню поверхонь з високим градієнтом деформацій і інтенсивними зсувами (див. рис 3 б, в, для початкового етапу). Цю особливість наявності розділеного осередку деформації з двома автономними ділянками слід враховувати при виборі поля швидкостей, аналізі силового режиму і формозміни заготовки в процесі штампування. Особливість також і в тому, що хоча інтенсивна деформація і зосереджується в окремих зонах у вихідних отворів, в проміжній зоні, яку прийнято вважати жорсткою, деформація також наростає і в цілому деталь стає в достатньому ступені рівномірною (див. рис 3 б, в, для кінцевого етапу). До переваги способу можна віднести протікання процесу в оптимальному режимі, що саморегулюється. Максимальні значення інтенсивності деформації та напруження досягають відповідно $\varepsilon_i = 3,2$ та $\sigma_i = 150$ МПа.

Висновки.

Проведено моделювання процесу видавлювання деталі типу стакан в два етапи. З метою зниження нерівномірності деформації за перетином деталі метал в зоні дна піддають знакозмінній деформації шляхом спочатку прямого видавлювання металу в осьовий відросток на першому етапі, а потім радіального видавлювання в зворотному напрямку металу з відростка в донну частину стакану на другому етапі.

Дослідження розподілу інтенсивності деформації та напружень в заготовці при видавлюванні одночасно двох порожнин показало, що з початку процесу осередок деформації зворотного і прямого видавлювання рознесені один від одного на деяку відстань, що перешкоджає виникненню поверхонь з високим градієнтом деформацій і інтенсивними зсувами. Але це не вплинуло на рівномірність деталі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ:

1. Пат. 107950 Україна, МПК В 21 J 5/12, В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих виробів типу стакану / Л. І. Алієва, Х. В. Гончарук, О. В. Шкира, Р. І. Сивак ; заявник та патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201513100 ; заявл. 30.12.15 ; опубл. 24.06.16, Бюл. № 12.

Панін В.О., Ащепкова Н.С. (Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро, Україна)

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ СПОЛУКИ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДУ ПОШТИ

Розглянуто систему керування автоматизованого складу пошти. Запропонований пристрій сполуки має забезпечити узгоджені дії електрокари, датчиків на комірках складу, сканера штрих коду і диспетчера. Впровадження пристрою сполуки для керування складом дозволить забезпечити цілодобову обробку пошти, зменшити час на обробку відправлень і скоротити чотирьох вантажників без втрат продуктивності праці.

The management system of the automated mail warehouse is considered. The proposed connection device should ensure coordinated actions of the electric car, sensors on warehouse cells, bar code scanner and dispatcher. The implementation of a compound device for managing the warehouse will allow for round-the-clock mail processing, reduce the time for processing shipments and reduce the number of four porters without loss of labor productivity.

Об'єкт дослідження – склад пошти, одного з найбільших в Україні концернів по організації перевезень, доставці великогабаритних вантажів і кур'єрської пошти. Актуальність автоматизації праці на складі пошти обумовлена:

- збільшенням кількості відправлень;
- виявленням помилок при оформленні відправлень;
- нерівномірністю вантажопотоків протягом доби;
- проблемами з логістикою;
- зростанням вартості перевезень.

Впровадження автоматизованого складу пошти дозволить запровадити цілодобовий режим роботи, зменшити час на обробку відправлень та скоротити помилки.

На основі попередніх досліджень та проведеного аналізу існуючого обладнання було прийнято рішення створити автоматизований склад пошти [1]. Розміри складу пошти накладають обмеження на розміри та маневреність кари [2]. Траєкторію руху кари розраховано таким чином, щоб кожна палета яка знаходиться на стелажі мала б дві точки доступу, це дозволяє скоротити час переміщення вільної кари по складу [3]. Запропоновано використати електрокару Skipper SKJ 1516, оскільки вона є досить маневреною, компактною, що дозволяє використовувати її при розвантаженні автомобілів

[4, 5]. На підприємстві доцільно застосувати систему штрихового кодування для забезпечення процесів керування і складання необхідної фінансової звітності. Склад поділено на зони відповідно до кількості регіонів [6, 7]. Кожній зоні присвоєно відповідний штрихкод, який записано у пам'яті мікроконтролера системи керування для контролю наявності і переміщень вантажу. У пам'ять контролера занесемо також програмний рух до кожної адресної зони. Тобто при зчитуванні штрихкоду електрокара починає рухатись згідно програми до переривання сигналу фотодіода, який сигналізує що кара досягла адресної зони.

Для забезпечення автоматизованої роботи складу пропонується застосування пристрою сполуки. Електрична схема пристрою сполуки має містити три транзисторних ключі, які керують обертальними моментами на кожному мотор-колесі електрокари. Перше колесо (привідне) змінює напрямок руху: вперед-назад, а друге і третє колесо змінюють напрямок обертання: вліво – вправо. Таким чином електрокара реалізує весь обсяг програмних рухів без допомоги водія.

Доопрацювання системи керування дозволить об'єднати існуюче обладнання у автоматизований склад пошти. Загальна система керування має забезпечити узгоджені дії електрокари, датчиків на комірках складу, сканера штрих коду і диспетчера. Таким чином, розробка пристрою сполуки для системи керування складом є актуальною науково-прикладною задачею. Впровадження результатів дослідження дозволить зменшити час на обробку відправлень і забезпечити цілодобову обробку пошти.

Мета дослідження: розробка пристрою сполуки для узгодження роботи технологічного обладнання автоматизованого складу пошти. Для досягнення цієї мети необхідно:

- визначити електричні параметри систем керування технологічного обладнання;
- обрати елементну базу;
- розробити схему електричну принципову пристрою керування.

Запропонований пристрій керування автоматизованого складу пошти застосовується для послідовної комутації до десяти електричних ланцюгів. Пристрій сполуки реалізовано як автоматичний безконтактний перемикаючий пристрій (АБПП). Це дає змогу оператору керувати одночасно декількома технологічними процесами і в автоматичному програмному режимі керувати рухом кари по маяках. Кара має власну систему керування, яка дозволяє зовнішнє бездротове керування.

Частоту перемикання ланцюгів в АБПП можна змінювати в широких межах. Передбачена можливість у процесі перемикання зафіксувати будь-

який канал на тривалий час, а потім продовжити комутацію в колишній послідовності або повернутися в початкове положення. Номер кожного включеного каналу відображається світлодіодним індикатором, що дозволяє безпосередньо спостерігати за частотою перемикавання каналів.

Відмінною рисою пристрою є відсутність механічних контактних груп, схильних до обгорання при комутації ланцюгів з підвищеним струмом навантаження, що забезпечує підвищену надійність, а також відсутність у процесі комутації радіоперешкод. Живлення АБПП здійснюється від убудованого стабілізованого випрямляча з вихідною напругою $5\text{ В} \pm 10\%$. Споживаний пристроєм струм від джерела живлення при струмовому навантаженні на кожний канал до 3 А не перевищує 100 мА. Тому його можна також живити і від набору сухих гальванічних елементів. Принципова схема АБПП наведена на рис.1.

Пристрій зібраний на п'яти мікросхемах серії К155 і однієї - К564. На елементах DD1.1 - DD1.3 виконаний генератор прямокутних імпульсів. За допомогою змінного резистору R1 можна вручну змінювати частоту генерації. Імпульси з виходу генератора надходять на вхід дільника частоти, що складається із двох послідовно включених дільників на 2 (D - тригери мікросхеми DD2) і дільника на 10 (DD3). Таким чином, коефіцієнт розподілу дорівнює 40. Імпульси із частотою повторення в 40 разів меншої частоти задаючого генератора, надходять далі на двоїчно-десятковий 4-розрядний лічильник DD4, що працює в коді 1 - 2 - 4 - 8, виходи якого підключені до дешифраторів DD5 і DD6.

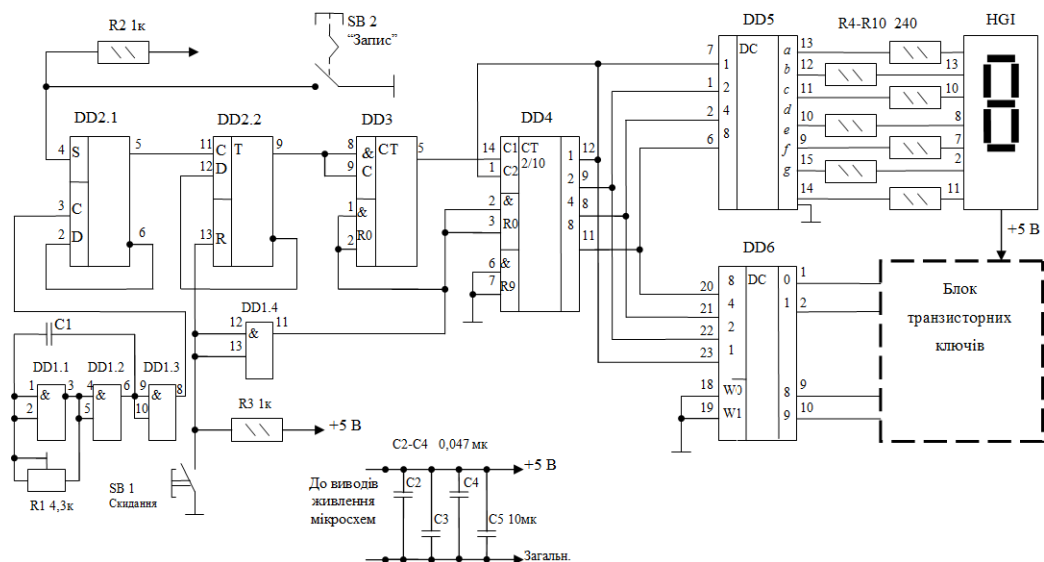


Рисунок 1 - Електрична принципова схема системи керування автоматизованого складу

Дешифратор DD5 управляє контрольним світлодіодним індикатором HG1, а до виходів дешифратора DD6 підключені блоки десяти транзисторних ключів. У процесі рахунку імпульсів транзисторні ключі по черзі відкриваються, й керують включенням тих або інших ланцюгів.

При подачі рівня логічного «0» на вхід S елемента DD2.1 натисканням кнопки з фіксацією SB2 рахунок припиняється, і лічильник зберігає раніше отриману інформацію. Таким чином, на необмежений час залишається включеним той транзисторний ключ, що був включений у момент натискання кнопки. При повторному натисканні кнопки SB2 на вхід S елемента DD2.1 надходить рівень логічної «1», рахунок імпульсів відновлюється й відбувається подальше перемикавання транзисторних ключів.

При натисканні на кнопку без фіксації SB1 дільники DD2, DD3 і лічильник DD4 устанавлюються в нульовий стан і після відпускання цієї кнопки, якщо кнопка SB2 розімкнута, рахунок починається з 1.

Конструктивно АБПП може бути виконано або у вигляді окремого пристрою, або у вигляді складової частини якого-небудь апарата, залежно від обраного призначення. Розташування елементів схеми довільне. Конденсатори C2 - C4 повинні бути підключені безпосередньо до виводів живлення мікросхем DD2, DD3 і DD4 для забезпечення завадостійкості. Індикатор, кнопки керування й змінний резистор регулювання швидкості комутації доцільно вивести на передню панель.

Блоки транзисторних ключів виконані на окремих платах і розташовуватися безпосередньо на технологічному обладнанні (приводах шасі кари). Для забезпечення теплових режимів роботи вихідні транзистори ключів необхідно встановити на тепловідводах.

Впровадження пристрою сполуки для керування автоматизованого складу пошти дозволить запровадити цілодобовий режим роботи, зменшити час на обробку відправлень та скоротити помилки. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що впровадження автоматизації на складі пошти дозволяє звільнити чотирьох вантажників (по два в кожній зміні) без втрат продуктивності праці. Таким чином впровадження результатів дослідження є економічно вигідним.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ащепкова Н. С., Панін В. О. Синтез траєкторії навантажувача// Мат-ли III міжн. наук. конф. «Проблеми та перспективи реалізації впровадження міждисциплінарних наукових досягнень», – 3 червня 2022 р., м. Луцьк, Україна.
2. <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/issue/view/03.06.2022>
3. Ащепкова Н. С., Панін В. О. Розробка конструкції шасі робота-навантажувача // Мат-ли III міжн. наук. студ. конф. «Діджиталізація науки як виклик сьогодення», – 3 червня 2022 р., м. Львів, Україна.
4. <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/liga/issue/view/inter-03.06.2022>
5. Ащепкова Н. С., Панін В. О. Розробка системи керування автоматизованого складу // Матеріали I Всеукраїнської студентської наукової конференції «Розвиток сучасної науки: актуальні питання теорії та практики», – 10 грудня 2021, м. Дніпро, Україна.
6. <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/liga/issue/view/ukr-10.12.2021>
7. Ащепкова Н. С., Панін В. О. Розробка автоматизованого складу // Матеріали III Міжнародної студентської наукової конференції «Актуальні питання та перспективи проведення наукових досліджень», – 10 грудня 2021, м. Трускавець, Україна.
8. <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/liga/issue/view/inter-10.12.2021>

Пархоменко М.А., Волянчук В.О., Міщук Д.О. (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна)

РОЗРОБКА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ДВОЛАНКОВОГО МАНІПУЛЯТОРА

Проблема керування дволанковим маніпулятором залежить від рівня складності системи. При використанні дволанкового маніпулятора потрібно вирішити дві проблеми. Перша проблема полягає в тому, що потрібно визначити параметри керування таким чином, щоб задана позиція маніпулятора змінювалась за відповідною траєкторією. Друга проблема полягає в тому, що для досягнення потрібної позиції маніпулятора потрібно правильно параметризувати математичну модель системи управління. Однією з проблем, яка впливає на точність управління маніпуляторами полягає в правильній побудові адекватних динамічних моделей керування. В даному дослідженні запропоновано розглянути прямий метод розробки динамічної моделі маніпулятора. Пропонується застосовувати математичну модель, яка побудована на принципах теоретичної механіки із застосування рівнянь Лагранжа другого роду. Для створення динамічної моделі дволанкового маніпулятора було визначено кінетичну та потенціальні енергії складових систем маніпулятора, а на основі рівняння Лагранжа другого роду отримано динамічні рівняння руху. Також було визначено залежності між координатами захоплювача та узагальненими координатами. Ці залежності допомогли встановити рівняння управління, які дозволяють здійснити керування за характеристиками руху захоплювача дволанкового маніпулятора.

The problem of controlling a two-link manipulator depends on the level of complexity of the system. When using a two-link manipulator, two problems need to be solved. The first problem is that you need to define the control parameters in such a way that the given position of the manipulator changes according to the corresponding trajectory. The second problem is that in order to achieve the desired position of the manipulator, it is necessary to correctly parameterize the mathematical model of the control system. One of the problems that affects the accuracy of manipulator control is the correct construction of adequate dynamic control models. In this study, it is proposed to consider a direct method of developing a dynamic model of the manipulator. It is proposed to apply a mathematical model, which is built on the principles of theoretical mechanics using Lagrange equations of the second kind. To create a dynamic model of a two-link manipulator, the kinetic and potential energies of the component systems of the manipulator were determined, and the dynamic equations of motion were obtained based on the Lagrange equation of the second kind. The dependencies between the gripper coordinates and the generalized coordinates were also determined. These dependencies helped to establish the control equations that allow to control the motion characteristics of the gripper of the two-link manipulator.

Постановка проблеми.

Останнім часом у будівельній галузі набуло поширення використання маніпуляторів і роботів [1]. Такі системи значно підвищують швидкість виконання технологічних будівельних процесів, значно знижують матеріальні витрати [2].

Однією з основних проблем ефективного застосування роботизованих систем і кранів-маніпуляторів є використання адекватних динамічних моделей їх керування. Зокрема, одним із складних завдань є аналітичний контроль заданих траєкторій руху робочого органу [3, 4].

Розробка математичної моделі дволанкового маніпулятора є однією з найважливіших задач у розвитку робототехніки. За допомогою математичного аналізу вдалося створити адекватну модель дволанкової підйомної системи крана-маніпулятора, яка дозволить прогнозувати її поведінку в різних умовах.

Мета статті.

Основною метою даної статті є розробка динамічної моделі керування дволанковою підйомною стріловою системою крана-маніпулятора, яка б враховувала закономірності керування робочим органом.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо систему кріплення стріли кран-маніпулятор, що складається з двох незалежно рухомих ланок 1, 2 з приводами та захватом K (див. рис. 1).

Рух ланок маніпулятора здійснюється приводами A і B , які на схемі, що розглядається, не показані.

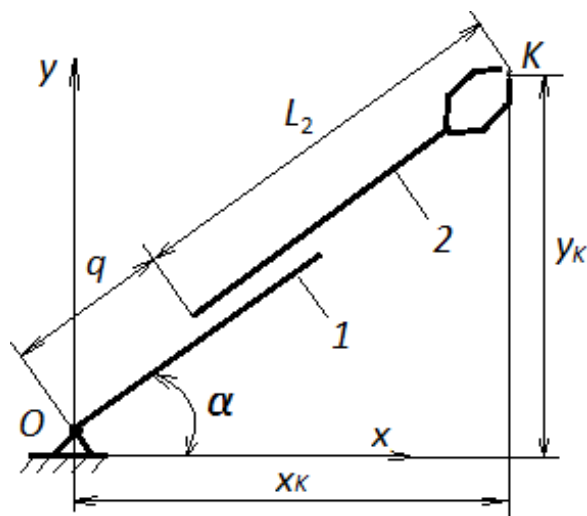


Рисунок 1 - Динамічна модель системи підйому стріли дволанкового крана-маніпулятора

У цій динамічній схемі динамічної моделі маніпулятора зроблено наступні припущення:

- m_1 – маса першої ланки, яка зосереджена в центрі ланки на відстані $1/2L_1$ від точки її повороту;

- m_2 – маса другої ланки і рухомого об'єкта в захваті, яка зосереджена в точці K .

За узагальнені координати дволанкового маніпулятора прийнято кут повороту α першої ланки відносно горизонтальної поверхні та координату лінійного переміщення q другої ланки відносно першої.

Визначено кінетичну енергію розглянутої кінематичної системи маніпулятора, як функцію узагальнених координат і узагальнених швидкостей.

Кінетична енергія ланки 1, яка обертається навколо точки O , буде [5]:

$$T_1 = \frac{J_1 \omega_1^2}{2} \quad (1)$$

де: J_1 - момент інерції поворотної ланки відносно точки O ; ω_1 - кутова швидкість поворотної ланки.

Кінетична енергія ланки 2, яка обертається навколо точки O і одночасно рухається вздовж осі ланки 1, становитиме [5]:

$$T_2 = \frac{J_{2c} \omega_2^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \quad (2)$$

де: J_{2c} - сумарний момент інерції поворотної ланки 2 відносно точки O ; ω_2 - кутова швидкість обертання ланки 2; m_2 - маса ланки 2 з вантажем; v_2 - лінійна швидкість руху ланки 2.

Визначено швидкість руху ланки 2 через проекції її швидкості:

$$v_2 = \sqrt{\left(\frac{dx_K}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy_K}{dt}\right)^2}, \quad (3)$$

де: $x_K = (q + L_2) \cos \alpha$, $y_K = (q + L_2) \sin \alpha$.

Похідні за часом по координатам швидкості будуть:

$$\frac{dx_K}{dt} = \dot{x}_\square = \dot{q} \cos \alpha - \alpha'(q + L_2) \sin \alpha, \quad (4)$$

$$\frac{dy_K}{dt} = \dot{y}_\square = \dot{q} \sin \alpha + \alpha'(q + L_2) \cos \alpha, \quad (5)$$

Квадрати швидкостей по проекціям:

$$\dot{x}_K^2 = \dot{q}^2 \cos^2 \alpha + \alpha'^2 (q + L_2)^2 \sin^2 \alpha - 2\dot{q}\alpha' \cos \alpha (q + L_2) \sin \alpha; \quad (6)$$

$$\dot{y}_K^2 = \dot{q}^2 \sin^2 \alpha + \alpha'^2 (q + L_2)^2 \cos^2 \alpha + 2\dot{q}\alpha' \sin \alpha (q + L_2) \cos \alpha. \quad (7)$$

З урахуванням залежності (6), (7) та (3), квадрат швидкості ланки 2 можна визначити через узагальнені швидкості:

$$v_2^2 = q^2 + (q + L_2)^2 \alpha^2. \quad (8)$$

Так як кутова швидкість ланки 2 співпадає з кутовою швидкістю ланки 1, позначимо:

$$\omega_1 = \alpha, \omega_2 = \alpha. \quad (9)$$

Кінетична енергія стрілової системи розглянутого дволанкового маніпулятора буде:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{J_1 \alpha^2}{2} + \frac{J_{2c} \alpha^2}{2} + \frac{m_2 (q^2 + (q + L_2)^2 \alpha^2)}{2}. \quad (10)$$

Згідно теореми Штайнера для ланки 2 прийемо наступне припущення:

$$J_{2c} = J_2 + m_2 \rho^2, \quad (11)$$

тоді для $\rho = (q + L_2)$, отримаємо наступний вираз кінетичної енергії розглядуваної системи:

$$T = \frac{J_\Sigma \alpha^2}{2} + \frac{m_2 q^2}{2} + m_2 (q + L_2)^2 \alpha^2, \quad (12)$$

де: $J_\Sigma = (J_1 + m_1 L_1^2 + \frac{1}{12} m_2 L^2)$ - приведений момент інерції стрілової системи;

L_1, L_2, m_1, m_2 - довжини та маси відповідних складових механічної системи маніпулятора.

У відповідності до вибраних узагальнених координат механічної системи з двома ступенями рухомості, маємо наступну систему рівнянь Лагранжа другого роду:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \alpha} = Q_\alpha; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q_q \end{cases} \quad (13)$$

де: Q_α, Q_q - узагальнені сили.

Визначено складові поданого вище рівняння:

$$\frac{\partial T}{\partial \alpha} = 0; \quad (14)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \alpha} = J_\Sigma \alpha + 2m_2 (q + L_2)^2 \alpha; \quad (15)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) = J_{\Sigma} \ddot{\alpha} + 2m_2 \dot{\alpha}(q + L_2)^2 + 4m_2 \dot{\alpha}(q + L_2) \dot{q}; \quad (16)$$

$$\frac{\partial T}{\partial q} = m_2 \dot{\alpha}^2 (q + L_2); \quad (17)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} = m_2 \dot{q}; \quad (18)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) = m_2 \ddot{q}; \quad (19)$$

Підставимо отримані залежності (14) – (19) в рівняння (13) та отримаємо динамічне рівняння руху дволанкового маніпулятора:

$$\left\{ \begin{aligned} J_{\Sigma} \ddot{\alpha} + \frac{2m_2 g L_1}{2} \ddot{\alpha}(q + L_2)^2 + 4m_2 \dot{\alpha} \dot{q}(q + L_2) = \\ = M - \frac{m_1 g L_1}{2} \cos \alpha - m_2 \frac{g}{2} (q + L_2)^2 \cos \alpha; \end{aligned} \right. \quad (20)$$

$$m_2 \ddot{q} - 2m_2 \dot{\alpha}^2 (q + L_2) = P - m_2 g \sin \alpha,$$

де: M, P – привідний момент переміщення ланки 1 та рушійне зусилля переміщення ланки 2.

Знайдено залежності узагальнених координат від координат положення вантажу:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{y_k}{x_k} \right); \quad (21)$$

$$q = \frac{x_k}{\cos(\arctan(\frac{y_k}{x_k}))} - L_2. \quad (22)$$

Перша похідна за часом від виразів (21) та (22), буде матиме такий вид:

$$\dot{\alpha} = \frac{-y_k \dot{x}_k + x_k \dot{y}_k}{x_k^2 + y_k^2}, \quad (23)$$

$$\dot{q} = \frac{x_k \dot{x}_k + y_k \dot{y}_k}{x_k \sqrt{1 + \frac{y_k^2}{x_k^2}}}. \quad (24)$$

Похідні другого порядку, відповідно матимуть вид:

$$\ddot{\alpha} = \frac{1}{(x_k^2 + y_k^2)^2} (y_k^2 (2\dot{x}_k \dot{y}_k - \ddot{x}_k \dot{y}_k) - x_k^2 (2\dot{x}_k \dot{y}_k + \ddot{x}_k \dot{y}_k) + x_k^3 \ddot{y}_k + \\ + x_k y_k (2x_k^2 - 2y_k^2 + y_k \ddot{y}_k)) \quad (25)$$

$$\ddot{q} = \frac{1}{x_k (x_k^2 + y_k^2) \sqrt{1 + \frac{y_k^2}{x_k^2}}} (y_k^2 (\dot{x}_k^2 + \ddot{x}_k \dot{x}_k) + x_k^2 (\dot{y}_k^2 + \ddot{y}_k \dot{y}_k) + y_k^3 \ddot{y}_k + \\ + x_k y_k (-2\dot{x}_k \dot{y}_k + x_k \ddot{y}_k)). \quad (26)$$

Висновки.

Аналізуючи рівняння (20) відмітимо, що якщо похідні від узагальнених координат маніпулятора замінити на вирази (25) та (26), тоді можна буде отримати залежності привідного моменту та привідного зусилля для даної математичної моделі маніпулятора.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Voliyanuk V, Mishchuk D., Parkhomenko M. (2022). Modeling dynamic control model of a two-link crane-manipulator. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, construction, road and melioration machines]*, Nr.99, 15-19. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2022.99.0201>
2. Mischuk D. Volianiuk V., Gorbatyuk Eu. (2019). Determination of geometric parameters of the manipulator according to the characteristics of the working environment. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines]*, Nr.94, 25-34. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0201>
3. Loveikin V. S., Mishchuk D. O. (2012). Mathematical modeling of changes in the departure of cargo by a manipulator with a hydraulic drive. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, construction, road and melioration machines]*, Nr.79, 9-15.
4. Volianiuk V., Mischuk D., Gorbatyuk Eu. (2022). Determination of dynamic loads in the crane lifting mechanism. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines]*, Nr.99, 15-25. (in Ukrainian).
5. Volianiuk V., Mischuk D., Gorbatyuk Eu. (2020). Determination of inertial loads of the rotary boom of a self-propelled crane. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines]*, Nr.96, 13-21. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.96.0201>
6. Loveikin V. S., Mischuk D. O. (2013). Optimization of the modes of changing the departure of the manipulator with a hydraulic drive. *Monograph*, Kyiv, CP Komprint, 206. <https://doi.org/10.26884/damu.m13opzvmq>
7. Mishchuk D. O. (2017). Study of the dynamics of the boom manipulator mounted on an elastic support. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, construction, road and melioration machines]*, Nr.90, 11-18.

Приходько С.М., Заєць І.І. (Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, Україна)

АНАЛІЗ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В УМОВАХ ДІЇ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ

У роботі сформульоване наукове завдання щодо удосконалення методичного апарату та засобів лабораторних випробувань для оцінки характеристик зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів а також здійснено аналіз нормативного забезпечення за зазначеним напрямом. Отриманні в роботі результати можливо використовувати при відпрацюванні методик лабораторних випробувань зразків вимірювальної техніки на стійкість і міцність до впливу кліматичних, механічних, електричних та радіаційних чинників.

The work formulates the scientific task to improve the methodical apparatus and means of laboratory tests to evaluate characteristics of measurement equipment sample of aircrafts under the influence of destabilization factors and analyzes regulation provision under the stated direction. The result received in the work can be used at developing of methods of laboratory tests of measurement equipment samples for stability and strength to the influence of climatic, mechanical, electrical and radiation factors.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день в Україні приділяються значні зусилля щодо оновлення (модернізації) наявних зразків вимірювальної техніки (ЗВТ) повітряних суден (ПС). Для оцінки можливості застосування новітніх ЗВТ ПС та безвідмовної їх експлуатації, виникає необхідність здійснювати вимірювальний контроль їх параметрів та тактико-технічних характеристик під час проведення лабораторних випробувань, в тому числі в умовах дії дестабілізуючих факторів. При цьому, до дестабілізуючих факторів відносяться: механічні, кліматичні, біологічні, радіаційні, електромагнітні, температурні.

Дослідження пов'язані з удосконаленням методичного апарату проведення випробувань зразків озброєння та військової техніки в лабораторних умовах [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При оцінці широкого переліку характеристик ПС вимагається виконання певних стандартів і рекомендацій щодо вимог до вимірювальної техніки, які забезпечують їх точність та надійність при застосуванні у різних умовах. Наприклад, стандарти ATSM (Американське товариство випробувань та матеріалознавства) та ISO (Міжнародна організація за стандартизацією) містять вимоги щодо вимірювальної техніки, які забезпечують точність та надійність вимірювань

при різних кліматичних, механічних, біологічних, радіаційних, електромагнітних та температурних умов.

Як показав проведений аналіз [2-4], існуючий методичний підхід та засоби лабораторних випробувань в умовах дії дестабілізуючих факторів не в повній мірі враховують сучасні вимоги щодо точності вимірювань. Крім того різноманіття нормативних документів (ДСТУ, ВСТ, STANAG), які регламентують випробування різнотипних ЗВТ, потребують систематизації та розробки пропозицій щодо їх застосування в тих чи інших випадках.

Формулювання мети статті. У зв'язку з цим, постає наукове завдання щодо удосконалення методичного апарату та засобів лабораторних випробувань для оцінки характеристик зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів, з метою підвищення ефективності проведення їх лабораторних випробувань.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі окремі задачі досліджень:

- обґрунтування шляхів розвитку методології та вибору засобів лабораторних випробувань в умовах дії дестабілізуючих факторів;
- аналіз сучасного стану наявних зразків вимірювальної техніки повітряних суден, їх типів, особливостей функціонування, основних завдань та характеристик;
- аналіз існуючих методичних підходів щодо лабораторних випробувань зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів;
- основні вимоги до перспективних рішень щодо лабораторних випробувань зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів. Постановка наукової задачі.
- розробка методик лабораторних випробувань зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів;
- розробка та дослідження методу лабораторних випробувань зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів;
- оцінка ефективності та розробка рекомендацій щодо практичної реалізації запропонованого методичного підходу проведення лабораторних випробувань в умовах дії дестабілізуючих факторів.

В роботі проведено аналіз вітчизняних та закордонних нормативних документів стосовно лабораторних випробувань зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів. При цьому важливо відмітити, що дестабілізуючі фактори в значній мірі можуть впливати на ЗВТ ПС і спотворювати результати вимірювання параметрів. Наприклад, коли зразок піддається вібрації, шуму, ударам, електромагнітному випромінюванню, температурним змінам, вологості, то ці фактори можуть викликати помилки в вимірюваннях параметрів.

Як показав проведений аналіз, до основних дестабілізуючих факторів відносяться:

- температурні коливання – зміна температури може призвести до розширення або стискання матеріалів, з яких виготовлені зразки, що в свою чергу може впливати на точність вимірювань.
- вологість повітря – збільшення вологості повітря може призвести до корозії металевих деталей, що може вплинути на їхню міцність та точність вимірювань.
- механічні впливи – будь-який механічний вплив може призвести до пошкодження зразка, що зменшує його точність вимірювання параметрів та надійність.
- електричні впливи – електростатичне зарядження може впливати на роботу електронних приладів та вимірювального обладнання, що також може призвести до помилок вимірювання.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що до основних нормативних документів, які регламентують проведення випробувань на вплив дестабілізуючих факторів відносяться міждержавні стандартами ГОСТ В, національні стандарти на продукцію військового призначення ДСТУ В, військові стандарти ВСТ, військові доповнення до національних стандартів ДСТУ ВД [5-8].

В даних стандартах визначено склад, послідовність і загальні вимоги до проведення випробувань апаратури, норми випробувальних режимів і методи випробувань на відповідність апаратури вимогам стійкості, міцності та тривкості до впливу механічних факторів.

При цьому основними нормативними документами за напрямком лабораторних випробувань зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів та основні підходи щодо їх випробувань викладені в:

За результатами аналізу в роботі наведено перелік основних перевірок за зазначеним напрямком:

- випробування по виявленню резонансів конструкції апаратури;
- випробування на тривкість при впливі синусоїдальної вібрації;
- випробування на тривкість при впливі механічних ударів;
- випробування на тривкість при впливі акустичного шуму;
- випробування на міцність при впливі синусоїдальної вібрації;
- випробування на стійкість при впливі сейсмічного удару;
- випробування на стійкість при впливі лінійного прискорення;
- випробування на стійкість при обертанні;
- випробування на стійкість при впливі повітряного потоку;
- випробування на вплив підвищеної температури середовища;
- випробування на вплив зниженої температури середовища;
- випробування на вплив підвищеної вологості;
- випробування на вплив зміни температури середовища;
- випробування на вплив атмосферного зниженого тиску;
- випробування на вплив підвищеного тиску газу;
- випробування на вплив швидкої зміни тиску;
- випробування на вплив сонячного випромінення;
- випробування на вплив піску та пилу;
- випробування на вплив пліснявих грибів;
- випробування на герметичність;
- випробування на водозахищеність;
- випробування на вплив аеродинамічного нагріву;
- випробування на вплив зниженої вологості;
- випробування на теплотривкість в умовах, які імітують невагомість.

Висновки. Таким чином в роботі сформульоване наукове завдання щодо удосконалення методичного апарату та засобів лабораторних випробувань для оцінки характеристик зразків вимірювальної техніки повітряних суден в умовах дії дестабілізуючих факторів а також здійснено аналіз нормативного забезпечення та основних видів випробувань за зазначеним напрямом.

Перспективами подальших досліджень є розробка методик лабораторних випробувань ЗВТ ПС на стійкість і міцність до впливу кліматичних, механічних, електричних та радіаційних чинників. Зазначені методики повинні розроблятись з врахуванням підходів, які визначені в наведених в роботі нормативних документів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Удосконалення методичного апарату експериментального визначення стійкості озброєння та військової техніки до впливу механічних та кліматичних факторів: Звіт про НДР / Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки; керівн. І. М. Лаппо; вик. О. В. Червотока [та ін.]. – Чернігів, 2020. – 339 с. – № 0120ZS002921.
2. Калашник Г.А. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтегрованого комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна та перспективні напрямки його розвитку / Г.А. Калашник, М.А. Калашник-Рибалко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2021. - №2(68). – С. 7-15.
3. Калашник Г.А. Забезпечення стійкого функціонування засобів навігації літальних апаратів під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів / Г.А. Калашник, Д.М. Обідін, М.А. Калашник // Системи обробки інформації. – 2016. - №3(140). – С. 52-56.
4. Калашник М.А. Механізм забезпечення сталого функціонування засобів навігації літальних апаратів в умовах деструктивного впливу / Г.А. Калашник, Д.М. Обідін, М.А. Калашник // Системи обробки інформації. – 2016. - №3(140). – С. 3-8.
5. Озброєння та військова техніка. Загальні вимоги до випробування: ДСТУ-П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6/ АЕСТР-200 Ed. 4, IDT). – 2017. – [Діючий від 2018-02-01] – 8 с.
6. Озброєння та військова техніка. Вимоги до кліматичних випробувань: ДСТУ-П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6/ АЕСТР-230 Ed. 1, IDT). – [Діючий від 2018-02-01] – 2017. – 198 с.
7. Озброєння та військова техніка. Вимоги до механічних випробувань: ДСТУ-П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6/ АЕСТР-240 Ed. 1, IDT). – [Діючий від 2018-02-01] – 2017. – 390 с.

Проданчук О.О., Ступницький В.В. (Національний університет
«Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ІНДУСТРІЇ ЛИТТЯ ПЛАСТИКУ ШЛЯХОМ РОБОТИЗАЦІЇ ДОПОМІЖНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КРОКІВ

У даній статті розглянуто та проаналізовано проблематику оптимізації виготовлення пластикових виробів шляхом лиття під тиском на термопластавтоматах. Розглянуто класичні методи застосування роботів-маніпуляторів та запропоновано інші варіанти їх використання у даній індустрії. Проаналізовано доцільність заміни людської праці та альтернативних технологічних рішень використанням запрограмованих роботів-маніпуляторів.

This article examines and analyzes the problems of optimizing the production of plastic products by injection molding on injection molding machines. Classical methods of using manipulator robots are considered and other options for their use in this industry are proposed. The expediency of replacing human labor and alternative technological solutions using programmed manipulator robots is analyzed.

Переробка пластику є невід'ємною частиною промислового комплексу будь-якої розвиненої держави. Пластикові вироби оточують нас всюди, від кейсів для смартфонів у нашій кишені, до елементів спорядження у військових на фронті. Переробка пластику є технологічно складним процесом, котрий потребує чимало знань та навичок, значних фінансових витрат. Існує проблема нестачі кваліфікованих працівників, від налагоджувальників, до операторів термопластавтоматів (верстатів для лиття пластикових виробів під тиском). Дана проблема актуальна не тільки в Україні, а й у значно економічно потужніших країнах. В індустрії лиття пластикових виробів застосовуються технології багатьох суміжних сфер, таких як машинобудування, обробка металів, хімічна промисловість. Робототехніка не є винятком. Саме вона покликана вирішити питання нестачі кадрів, їх недостатньої кваліфікації, проблем продуктивності та максимізації ефективності виробництва.

Після налагодження безпосереднього процесу лиття пластикових виробів, що включає у себе виготовлення та встановлення прес-форми, підключення та запуск верстата, налаштування процесу впорскування, з встановленням відповідної дози розплавленого матеріалу, та процесу змикання прес-форми, з встановленням відповідного зусилля стиску пуансона та матриці і подальшим охолодженням, виникає питання видалення готового виробу з робочої зони [1]. Зазвичай термопластавтомати комплектуються спеціальними пристроями механічного виштовхування та системами пневмоздуву. Такі рішення справді мають достатню

продуктивність при малосерійному виробництві, невеликій номенклатурі виробів, які виготовляються та при литті великогабаритних виробів, де відсотковий компонент часу знімання виробу значно поступається сумарному значенню часу впорскування та охолодження.

Ще у 1995 році Д.В. Росато у книзі «Injection Molding Handbook» розглядав можливості глобальної автоматизації лиття пластикових виробів шляхом безпосереднього знімання готового продукту роботом або збірки попередньо відлитих пластикових елементів з допомогою запрограмованого маніпулятора [2]. Перші роботи, призначенні для знімання відлитих виробів з робочої зони було розроблено та запущено у серію компанією Кавасакі. З того часу конструкція зазнавала осучаснення та модернізації, хоч принцип роботи залишався незмінним. Навіть у наш час роботи у індустрії лиття пластику використовуються, здебільшого, саме для знімання готового продукту з подальшим пакуванням людиною. Процес має наступну послідовність: при завершенні охолодження, коли прес-форма відкривається і кінцевий виріб готовий до знімання, система станка подає сигнал роботу, який починає підведення лапи з захватом, одночасно подаючи зворотній сигнал системі термопластавтомата для блокування рухомої плити (це потрібно для унеможливлення передчасного запуску циклу, що може призвести до аварії). Виконавши підведення, відповідно до попередньо заданих налагоджувальником координат, робот виконує захоплення виробу. Спосіб захоплення залежить від самого виробу. Пласку поверхню доцільно захоплювати вакуумними присосками, корпусні вироби фіксуються затискачами з вставками пластичного матеріалу, а вироби нестандартної форми можна знімати використовуючи механічні пальці [3]. Зафіксувавши виріб, робот-маніпулятор дістає його з робочої зони і передає сигнал верстату про можливість запуску наступного циклу. Виріб переноситься на конвеєр або у зону пакування, де пристрій захоплення відпускає його і повертається у початкове положення для повторного виконання операції.

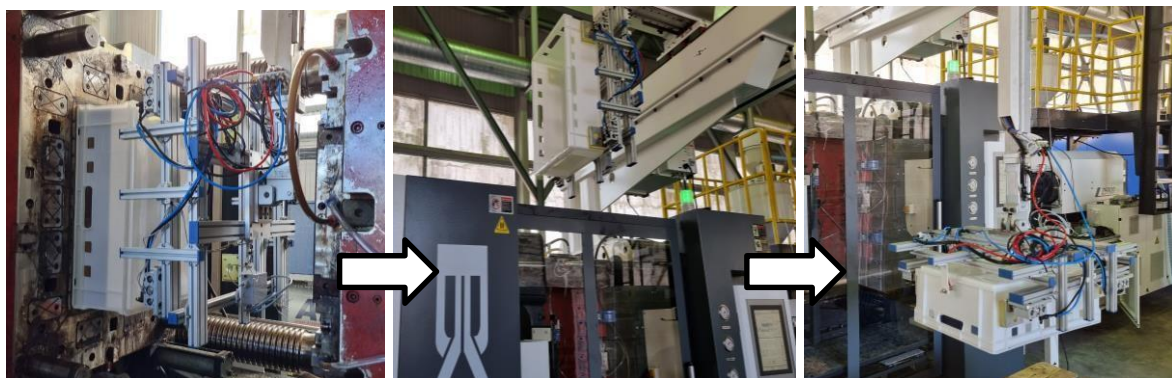


Рисунок 1 - Застосування робота для знімання готового виробу

Описаний вище процес взаємодії термопластавтомата та робота вже можна назвати класичним. Знімання готової продукції з робочої зони є

надійним та економічно обґрунтованим процесом, який широко застосовується у наш час [4, 5]. Однак, дане застосування роботів не задовольняє усіх потреб індустрії та не закриває усі можливості автоматизації виробництва, які постають на сьогоднішній день. Метою роботи є збільшення продуктивності виробництва з використанням нових альтернативних методів застосування роботів-маніпуляторів:

1. Використання робота-маніпулятора для видалення з робочої зони ливникового каналу;
2. Застосування спарених робо-маніпуляторів для одночасного знімання готових виробів та вставки стороннього компонента для подальшої його заливки пластиком.

Холодноканальними називають прес-форми, які при виготовленні пластикових виробів залишають відходи у вигляді застиглих ливникових каналів. Це обумовлено відсутністю у прес-формі системи гарячого каналу, яка дозволяє утримувати пластик у каналах подачі матеріалу в розплавленому стані, і, таким чином, готовий продукт відливається без відходів у форматі застиглих ливників. Гарячечанальні прес-форми дозволяють отримати практично безвідходне виробництво, але мають значно вищу ціну, яка не завжди є економічно виправданою [6]. Холодноканальні прес-форми, у свою чергу, вимагають значно менше витрат, простіші у виготовленні та обслуговуванні, але потребують додаткового периферійного обладнання, такого як дробарка для переробки відходів, щоб вторинно використовувати сировину. Прес-форми з холодним каналом залишаються надзвичайно популярними серед вітчизняних виробників і потребують сучасних рішень по автоматизації. Основним етапом, який забирає найбільше часу та вимагає додаткових витрат робочої сили є відділення ливникової системи від готового виробу та подальша переробка відходів на вторинну гранулу методом дроблення. Автоматизація виробництва з застосування робота-маніпулятора покликана вирішити цю проблему.

Складність відділення ливників від готового продукту пояснюється тим, що пластик встигає охолонути та затвердіти до тієї міри, коли для відділення необхідно застосовувати додаткового працівника з пристроєм для сепарації або лезом для ручного відрізання. Робот-маніпулятор, у даному випадку не повинен виконувати операцію відрізання, натомість, його функція полягає у видаленні ливника прямо з прес-форми. Це стає можливо завдяки точній синхронізації робота з системою термопластавтомата.

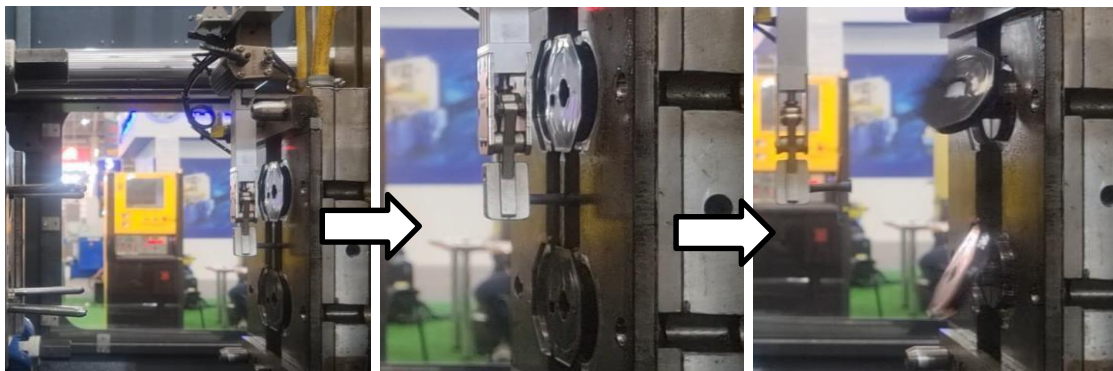


Рисунок 2 - Процес видалення ливника роботом-маніпулятором

Спеціальна лапа-захват опускається у робочу зону верстата відразу при розкритті прес-форми. Виріб та канал подачі пластику залишаються гарячими, тому робот-маніпулятор хапається за основу ливникової системи і, з невеликим зусиллям, відділяє її від основного виробу, після чого механічні виштовхувачі або система пневмоздуву видаляють готові вироби з прес-форми, після чого вони під своєю вагою випадають у контейнер вже без ливників, готові до пакування. Таке нестандартне застосування робота-маніпулятора стає можливим завдяки тому, що ливникова система подачі пластику має максимально вузьке місце у зоні переходу від каналу подачі матеріалу до порожнини майбутнього виробу. Дане звуження слугує концентратором напружень при видаленні ливника роботом маніпулятором.

У результаті впровадження даного варіанту застосування робота-маніпулятора ми отримаємо оптимізований процес виробництва, який не поступається ефективністю литтю аналогічної продукції з використанням значно дорожчих та складніших у виробництві гарячечанальних прес-форм. Відходи, відділені роботом-маніпулятором від основного виробу, складаються ним на конвеєрну лінію, на якій поступово накопичуються і подаються до дробарки для вторинної переробки. При використанні дробарки обладнаної «циклоном», перероблений вторинний пластик в форматі дробленої фракції автоматично подається вакуумним автозавантажувачем до сушильного бункера термопластавтомата, де змішується з первинною сировиною і знову проходить процес лиття [7]. Таке використання вторинної сировини, при вірно налагодженому технологічному процесі, не чинить негативного впливу на якість фінального продукту, при тому дозволяє значно здешевити його собівартість та уникнути забруднення екології відходами виробництва.

Другим альтернативним застосуванням роботів-маніпуляторів у процесі лиття пластикових виробів на термопластавтоматах є використання спарених роботів-маніпуляторів для одночасного зйому готових виробів та вставки стороннього компоненту для подальшої заливки пластиком. Даний метод є надзвичайно складним у реалізації, бо потребує значно більшої

синхронізації, ніж описаний вище. Процес автоматизації виробництва даним шляхом полягає у вставці стороннього елементу, до прикладу, металевому елементу кріплення, безпосередньо у порожнину матриці та одночасного зйому вже готового виробу, із залитим елементом кріплення, з пуансона. Для реалізації такого процесу необхідно застосувати спарений робот-маніпулятор. Одна лапа робота буде знімати готовий продукт, а інша, паралельно, вставляти в робочу зону елемент під заливання пластиком.

Незважаючи на технологічну складність реалізації такого процесу виготовлення, він є цілком економічно виправданим та безальтернативним, за потреби повної автоматизації виробничого процесу. На даний час вироби подібного компонування пластику та металу, або іншого матеріалу виконуються винятково вручну, шляхом попереднього висвердлювання матеріалу для подальшої фіксації. Також має місце ручна вставка стороннього елементу у зону лиття, але даний процес вимагає значно більших витрат часу. Для його реалізації оператор термопластавтомата повинен ввести верстат у напівавтоматичний цикл роботи, відкрити захисні дверцята, зняти готовий виріб, вкласти необхідний елемент, закрити дверцята та знову запустити цикл. Автоматизувавши даний процес заміною людської праці роботою робота-маніпулятора ми отримуємо прискорення часу циклу на 40%, що у масштабах серійного виробництва є надзвичайно вагомим показником.

Даний метод автоматизації виробництва є актуальним для широкого спектру індустрій та може бути застосований як з невеликими виробничими комплексами, так і з високопродуктивними термопластавтоматами зі збільшеним об'ємом впорскування. Прикладом використання методу спарених роботів-маніпуляторів для одночасного зйому готових виробів та вставки стороннього компонента для подальшої заливки пластиком на верстатах невеликого розміру є виготовлення різноманітних затискачів та з'єднувачів, де стороннім елементом є звичайна гайка, котра заливається пластиком під час впорскування, що гарантує її надійну фіксацію. Прикладом значно більшого виробництва, де можна застосувати описаний тип автоматизації є виготовлення з'єднувальних муфт газопроводів. Дані вироби необхідні для подовження трубопроводу методом доточування додаткових фрагментів труби, для чого потрібна пластикова муфта з спеціальним нагрівним елементом, котрий нагрівається та виконує спікання і, таким чином, безвідмовно фіксує два окремі кінці труби. Даний нагрівний елемент вставляється оператором на початку циклу, після чого прес-форма закривається, відбувається впорскування і ніхромові спіраль залишається залитою пластиком, готова до використання за призначенням. Використання пропонуваного методу автоматизації не тільки прискорило б виробничий процес, а й вберегло оператора від дії шкідливих випарів вторинного матеріалу у робочій зоні верстата.

Автоматизація процесу лиття пластикових виробів є надзвичайно ефективним рішенням проблеми нестачі кадрів, помилок людського фактору, заниженої продуктивності через нераціональні витрати часу. Саме автоматизація шляхом впровадження роботизованих комплексів забезпечує вирішення багатьох нагальних проблем, суттєво підвищує ефективність виробництва, а у галузях з високим рівнем конкуренції це може стати вирішальним аргументом. Роботизація невпинно захоплює все нові технологічні процеси, спрощує та здешевлює виробництво, економить час та ресурси. Звісно, не кожне виробництво потребує застосування роботів-маніпуляторів, та у галузі лиття пластикових виробів автоматизація є чітким вектором розвитку, який актуальний не тільки для західних високорозвинених країн, а й для українського виробника.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Суберляк О.В., Баштанник П.І. *Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів.* – Київ.: 2006. - 270 с.
2. Osswald, E. Schmachtenberg and E. Baur, *"International Plastics Handbook"*, Hanser Verlag, (2006). ISBN 978-1569903995
3. Douglas M. Bryce *"Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals"*:2006 - 272 p.
4. Erik Brynjolfsson and Andrew McAfee *"The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies"* 2014 – 320 p.
5. Martin Ford *"The Rise of Robots: Technology and the Threat of Mass Unemployment"*: 2015 - 352 p.
6. Michael Paloian *"Thermoforming: A Plastics Processing Guide"*: 2008 - 268 p.
7. Bruno Siciliano and Lorenzo Sciavicco *"Robotics: Modelling, Planning and Control"*:2016 - 650 p.

Пшонка А.С. (Донбаська державна машинобудівна академія, м.м.
Краматорськ-Тернопіль, Україна)

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС З УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ З КІНЕМАТИКОЮ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Надани результати виконання робіт з обґрунтування напрямків удосконалення обладнання з кінематикою паралельної структури для виготовлення зубчастих коліс для виробів машинобудування

The results of the work on substantiation of directions for improvement of equipment with parallel structure kinematics for the manufacture of gear wheels for machine-building products are provided.

Актуальність теми. Однією з сучасних світових тенденцій розвитку машинобудування є створення технологічного обладнання з кінематикою паралельної структури, побудованого на основі просторових механізмів паралельної структури, яке слід розглядати як матеріальне втілення нетрадиційних підходів до реалізації комплексних процесів обробки, вимірювання, складання і транспортування деталей в машинобудівному виробництві. Машини з кінематикою паралельної структури є високо рухомими технологічними системами з широкими функціональними (руховими, технологічними) можливостями по обробці деталей складної форми, які дозволяють реалізувати гнучкі технології.

Таким чином, актуальність роботи визначається обмеженою кількістю теоретичних розробок і практичних рекомендацій щодо особливостей будови та функціонування обладнання з кінематикою паралельної структури, визначенню їх технічних та технологічних показників, конкретних результатів досліджень впливу конструктивного виконання верстатів з паралельною кінематикою на їх рухові характеристики та функціональні можливості при обробці зубчастих коліс.

Перед сучасним машинобудуванням висувуються дві актуальні проблеми:

- автоматизація виробництва, включаючи створення гнучких виробничих систем, властивості якої дозволяють бути адекватним поточним умовам виробництва та забезпечити параметри функціонування виробничого процесу на заданому рівні;
- підвищення точності, продуктивності, надійності та довговічності технологічного обладнання при розширенні його функціональних можливостей.

Для забезпечення повного цикл виробництва деталей, за допомогою обладнання з кінематикою паралельної структури необхідно розширити технологічні можливості таких машин, що дозволить виконувати повний цикл обробки деталі на одному робочому місці.

Таке обладнання повинно бути здатним до швидкого переналагодження на виготовлення різних деталей, створених на основі модульного принципу. Що дозволить підвищити гнучкість виробництва і конкурентоспроможність виробництва.

Таким чином, вирішуючи одну проблему можливо допомогти у вирішенні інших існуючих проблем і так само вирішуючи одну проблему з'являються нові проблеми які потрібно вирішувати.

Це добре видно на технологічній карті наукових досліджень.

Таким чином, для вирішення головної задачі, необхідно вирішити допоміжні задачі побудуванні на проблемах з якими ми стикаємося при вирішенні задач.

Для вирішення основної задачі роботи, проводиться дослідження сучасних способів її вирішення, аналоги які можуть допомогти у вирішенні.

На сьогоднішній день багато провідних країн світу займаються розробкою і впровадженням у виробництво багатокоординатного обладнання паралельної структури з ланками змінної довжини. Серед країн виробників лідируючі позиції займають Німеччина, США, Японія. Інтенсивний розвиток виробництва даного обладнання спостерігається також в Італії, Франції, Швеції, Австрії.

Із виробників багатокоординатного обладнання паралельної структури можна виділити фірми Metrom, Mikrolar та Ezechon, які посіли значне місце в виготовленні та впровадженні на виробництвах обладнання даного типу.

Компанія Mikrolar (США) розробляє і випускає обладнання паралельної структури з ланками змінної довжини, основані на платформі Стюарта, зокрема верстат-гексапод моделі P3000.

Також активно дослідженнями по вдосконаленню і розширенню функціональних можливостей обладнання з кінематикою паралельної структури займаються в Україні. Особливу актуальність мають виконання дослідження в роботах Ковалевського С.В. Кузнєцова Ю.М. Крижанівського В.А. Кириченка А.М. і інших. На основі цих робіт виконана розробка ряду конструкцій обладнання з кінематикою паралельної структури.

Для вирішення проблеми з обробкою зубчастих коліс з допомогою обладнання з кінематикою паралельної структури, необхідно вирішити такі проблеми:

1. Інструмент і новий технологічний процес обробки. Тобто, обрати якими методами вести нарізанні зубів. Найбільш ефективними може бути обране фрезерування. Аналог нарізання зубчастих коліс зараз активно виконується на сучасних багатоцільових оброблювальних центрах. Які дозволяють виконувати обробку деталей на одному робочому місці.

2. Додаткове обладнання і оснащення модульного типу. При обробці зубчастих коліс, вал-шестерні, необхідне додаткове оснащення, оборотні столи, модульні токарні патрони з приводом.

3. Конструкторське вирішення проблем комплектування нових модулів для обладнання з кінематикою паралельної структури.

4. Розробка нових типових технологічних процесів виготовлення зубчастих коліс на обладнання з кінематикою паралельної структури.

При вирішенні перерахованих задач можна буде досягнути мети роботи і допомогти у вирішенні інших актуальних проблем в машинобудуванні.

Таким чином, можна зробити висновок, що при вирішенні одних проблем в машинобудуванні виникають попутні проблеми, які необхідно виконати для поставленої мети.

Висновок.

У роботі була розглянута проблема обробки зубчастих коліс за допомогою обладнання з кінематичною паралельною структурою. Для вирішення цієї проблеми було проаналізовано основні проблеми, з якими стикаються при роботі з таким обладнанням, а також запропоновані можливі шляхи їх вирішення.

В ході дослідження було показано, що використання обладнання з кінематичною паралельною структурою є ефективним способом обробки зубчастих коліс, проте воно потребує додаткового оснащення та технологічних процесів, для цього потрібно вирішити попутні задачі які дозволяють досягти більших результатів.

Також було визначено, що для вирішення проблем обробки зубчастих коліс з використанням обладнання з кінематичною паралельною структурою необхідно вирішувати певні допоміжні задачі і проблеми які були виявлені в роботі ми можемо продовжувати вирішувати їх, розвиваючи нові ідеї та технології, що забезпечують подальший розвиток сучасного машинобудування.

Рішення цих завдань дозволяє досягти поставленої мети і забезпечити ефективну обробку зубчастих коліс за допомогою обладнання з кінематичною паралельною структурою.

Радченко Ю. Д., Вислоух С. П. (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м.Київ, Україна)

ВИКОРИСТАННЯ WMS В СИСТЕМАХ ЛОГІСТИКИ

В статті надано переваги використання WMS в сучасних складських приміщеннях. Відзначено, що від правильного вибору системи залежить швидкість обробки потоку товару, витрати та точність її роботи. Вказується, що некоректна робота складу призводить до неправильного зберігання товару, збільшення витрат на утримання складу, збільшення площі складу та неправильного обслуговування клієнта і використання WMS - систем дозволяє вирішити ці складні задачі.

The article presents the advantages of using WMS in modern warehouses. It was noted that the speed of processing the flow of goods, costs and accuracy of its work depend on the correct choice of the system. It is indicated that incorrect operation of the warehouse leads to improper storage of goods, increased costs for maintaining the warehouse, increased warehouse space and improper customer service, and the use of WMS systems allows solving these complex problems.

ВСТУП

Сучасний світ переживає наслідки епідемії COVID-19, а наша країна війну. Ці події показали нам що сучасна логістика не в змозі встояти перед глобальними проблемами. Й саме тому вищезазначена тема актуальна.

Системи управління складом набули великого значення останнім часом. Зі збільшенням інтернет замовлень зросла потреба в ефективних рішеннях. І саме таким рішенням є використання системи управління складом (WMS).

Жорстка конкуренція, дефіцит робочої сили, питання ланцюга постачання – це неповний список проблем, з якими стикаються дистриб'ютори під час своїх складських операцій. Однак їх проблеми з управлінням складом легко подолати за допомогою сучасної системи управління складом.

Завдяки зростанню електронної комерції, що призведе до прогнозованого збільшення на 24,8 мільярда євро на світовому ринку автоматизації складів до 2026 року, а також складності багатоканального лістингу та управління кур'єрською службою, нове покоління систем управління складом практично зараз є необхідністю [1].

АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

Автоматизація складських приміщень є багатовимірною проблемою, тому її можна розглядати як велику систему з взаємно пов'язаних систем, так й виокремлювати окремі її частини. Саме тому для розв'язання цієї задачі є багато підходів як практичних, так і теоретичних.

Так існує багато статей, в яких приведено аналіз різних методів автоматизації складських приміщень та відзначається найбільш популярний напрямок автоматизації – за допомогою систем управління складом (WMS).

В статті Одарченко Д.М., Соколова Є.Б. [2] описують головні проблеми в модернізації за допомогою WMS та досліджує WMS на прикладі м'ясопереробного підприємства «Новожанівський м'ясокомбінат».

В підручнику Марченко В.М. і Шутюк В.В. “Логістика” [3] надано базові поняття про логістику її схеми види та методи.

В статті “Дослідження інформаційних систем в управлінні підприємствами: досвід та перспективи” [4] та “Переваги впровадження IT-систем управління складом на прикладі WMS LOGISTIC VISION SYITE в логістичному комплексі Roshen” [5] описують переваги використання WMS. Також надаються проблеми, які можуть виникнути в процесі їх впровадження, та варіанти розв'язання цих проблем.

На основі аналізу літературних задач автоматизації роботи складських систем визначена мета даних досліджень.

Метою роботи є дослідження чинних систем управління складом та можливостей їх вдосконалення задля підвищення ефективності роботи складських систем.

ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА

Система управління складом (WMS) — це програмне забезпечення, що розроблене та створене для оптимізації складських процесів, а саме розподілу, ланцюга поставок. Як правило, WMS надає функціональні можливості, які допомагають оптимізувати та покращувати вищевказані складські процеси, розпочинаючи з моменту, коли товари вперше потрапляють на склад, через процес приймання та до моменту їх відправлення. Системи управління складом також можна підключати та інтегрувати з іншими типами програмного забезпечення, щоб усі процеси в системі були взаємопов'язаними, плавними та оптимізованими[6].

Розглянемо основні функції WMS [7].

Управління отриманими товарами. Товари надходять через процес надходження, під час якого здійснюється ретельний моніторинг різноманітності, кількості, характеристик і стану чи якості товарів, які надходять на склад і, таким чином, стануть частиною його запасів. У результаті зібрана інформація перевіряється на відповідність наказу, отриманому від корпоративного ERP (Enterprise Resource Planning)

Управління місцями розташування в палетних стелажах, які включають так звані процеси розташування. Ці процеси виконують замовлення на розміщення товарів на складі, визначаючи їх найкраще положення відповідно до їх типу, характеристик, розмірів тощо. Для цього він використовує попередньо визначені правила та стратегії.

Контроль запасів: це один із найважливіших інструментів у WMS, оскільки він використовується для отримання в режимі реального часу

статусу, кількості та характеристик запасів, що зберігаються на складі.

Відправлення товарів. Процеси, які створюють замовлення, надсилають клієнтам, передають товари на інші склади та повертають їх постачальникам. Коротше кажучи, вони відповідають за вихід і видалення запасів зі складу за допомогою таких операцій, як комплектування, видача повних контейнерів, консолідація замовлень і відправка замовлень до транспортного засобу розподілу.

Існує чотири типи систем управління складом, включаючи:

- автономна система;
- хмарна система;
- модулі ланцюга поставок;
- інтегрований з ERP.

1. Автономна система — це тип локального програмного забезпечення, яке зазвичай розміщується безпосередньо на локальному обладнанні. Вона забезпечує основні функції, необхідні для ефективного ведення повсякденних складських операцій і управління запасами [7]. Автономні системи WMS відрізняються від постачальника до постачальника, однак завжди забезпечуватимуть такі основні функції, як: відстеження запасів, комплектація та пакування, доставка, повернення.

На жаль, автономна система не завжди забезпечує більш широкі функціональні можливості і тому часто краще підходить для невеликих складських операцій з меншими бюджетами та з меншою кількістю залежностей, таких як велика кількість інтеграцій.

Перевагами автономної системи є, оскільки основна увага приділяється управлінню складом, система часто матиме розширені функції керування складом, які оптимізують ряд існуючих процесів.

Недоліком системи є те, що автономна система не завжди забезпечує більш широкі можливості, і тому часто краще підходить для невеликих складських операцій з меншими бюджетами та з меншою кількістю залежностей, наприклад великою кількістю інтеграцій.

2. Хмарна система . У минулі часи все програмне забезпечення WMS купувалося та постачалося у фізичному форматі. На сьогодні хмарні системи управління складом стають все більш поширеними, оскільки вони пропонують просту та швидку реалізацію, більшу масштабованість, підвищену безпеку та гнучкі функції [8]. Це пов'язано з тим, що хмарна система WMS — це веб-підхід, який розміщено на зовнішніх серверах із зовнішньою ІТ-командою для підтримки. Він не тільки не потребує інсталяції на місці, але й не потребує інтеграції з усіма вашими поточними системами управління складом, і тому є ідеальним вибором для більшості підприємств.

Перевагою використання хмарних систем є те, що вони не вимагають інсталяції на місці або складної інтеграції з усіма наявними системами. Крім того, при необхідності поновлення програмного або апаратного забезпечення, постачальник WMS подбає про це без виконання додаткових

робіт.

Але використання хмарної системи означає, що тільки постачальник контролюватиме обслуговування та вдосконалення всієї системи WMS. При необхідності мати повний контроль над своєю системою та даними, доцільно використовувати автономну систему.

3. Модулі ланцюга поставок. Управління складом - це лише мала частина всього ланцюжка поставок. У той час як рішення для керування складськими приміщеннями допомагають компаніям, які займаються виконанням завдань, у таких діях, як комплектування, відправка та отримання, програмне забезпечення для керування ланцюгом постачань надає функції, які обслуговують весь ланцюг поставок. Модуль ланцюга постачання WMS може вмістити багато речей, включаючи, але не обмежуючись такими [8]: аналіз ризиків; поточна діяльність ринку; партнерство з постачальниками; обслуговування клієнтів; транспортний менеджмент; виробництво та обробка сировини.

Перевагою система управління ланцюгом постачання є те, що вона охоплює всі дії від постачання сировини до доставки кінцевому споживачу, включаючи транспортування та партнерство з постачальниками.

Але модулі ланцюга постачання можуть надавати функції, які не потрібні вашому бізнесу. Не вибирайте більшу систему, якщо функції вам не підходять, оскільки ви витратите гроші даремно, щоб покращити існуючі процеси.

4. Інтегрований з enterprise resource planning (ERP) або планування ресурсів підприємства — це форма системи управління складом (хоча не завжди пов'язана з WMS), яка ідеально підходить для бізнесу, що розширюється, і прагне підвищити загальну ефективність операцій ланцюга поставок. Системи ERP виходять за рамки звичайних функцій і обслуговують основні програми, такі як бухгалтерія, маркетинг і загальні рішення для управління ланцюгом поставок [8].

Система WMS часто є додатковою частиною програмного забезпечення ERP, що дозволяє керувати запасами, доставкою тощо разом з іншими операціями. Він чудово підходить для об'єднання всіх операцій підприємства в одну, тому буде дуже корисним для тих, хто має великий ланцюг постачання.

Треба відзначити, що система WMS часто є додатковою частиною програмного забезпечення ERP, що дозволяє керувати запасами, доставкою тощо разом з іншими операціями. Він чудово підходить для об'єднання всіх операцій підприємства в одну, тому буде дуже корисним для тих, хто має великий ланцюг постачання.

В той же час системи ERP можуть бути дуже дорогими, від початкового впровадження до поточної підписки та витрат на інфраструктуру. Системи ERP також можуть бути складними та дорогими для впровадження, тому перед тим, як продовжувати, переконайтеся, що цей

тип системи абсолютно необхідний.

Таким чином можна відзначити, що перевагами використання систем WMS для автоматизації логістичних процесів є:

- підвищена точність комплектування системи інвентаризації;
- поліпшення якості обслуговування клієнтів;
- зниження витрат на запаси продукції;
- дозволяє зменшити час, що витрачається на управління;
- дозволяє збільшити швидкість замовлень.

ВИСНОВКИ

Склад для підприємства є одним із головних відділів, але до нього не приділяли тієї уваги на яку він зазвичай заслуговує. Але після кризи в цій сфері через COVID-19 всі зрозуміли що логістика часто грає вирішальну роль. Тому вважаємо, що треба продовжувати модернізовувати вже чинні системи для створення нового і більш продуктивного, і однією з таких систем є WMS.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Warehouse Automation Statistics for Streamlining Operations *Режим доступа:www.URL: <https://www.g2.com/articles/warehouse-automation-statistics> - 31.11.2022.*
2. Одарченко Д.М., Соколова Є.Б. Модернізація складських приміщень підприємства на базі WMS. *Проблеми економіки. 2015. № 4. С. 210–215.*
3. Марченко, В.М. Логістика [Електронний ресурс] : підручник / В. М. Марченко, В. В. Шутюк ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,92 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 314 с
4. Дмитрів К.І., Шпак Ю.Н. Дослідження інформаційних систем в управлінні підприємствами: досвід та перспективи. URL: <http://ev.fmm.kpi.ua/article/download/108776/103719> (дата звернення: 21.03.2023)
5. Гандурський А.В. Переваги впровадження IT-систем управління складом на прикладі WMS LOGISTIC VISION SYITE в логістичному комплексі Roshen. *ScienceRise. 2015. № 1(16). С. 37–39.*
6. [WMS – Warehouse Management System: adaptation proposed for the management of the reverse logistics](#) Guarnieri P.Chrusciack D.Scandelari L.Production (2006)
7. What is a Warehouse Management System (WMS)?*Режим доступа:www.URL:<https://www.mecalux.com/warehouse-manual/the-warehouse/what-is-warehouse-management-system-wms>*
8. What is a Warehouse Management System (WMS) and how does it work? <https://zesium.com/what-is-a-warehouse-management-system-wms-and-how-does-it-work/>

Семенченко С.Р. (Донбаська державна машинобудівна академія, мм. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ ЗМЕНШЕННЯ ВІБРАЦІЇ СТРИЛИ ОПЕРАТОРСЬКОГО КРАНА

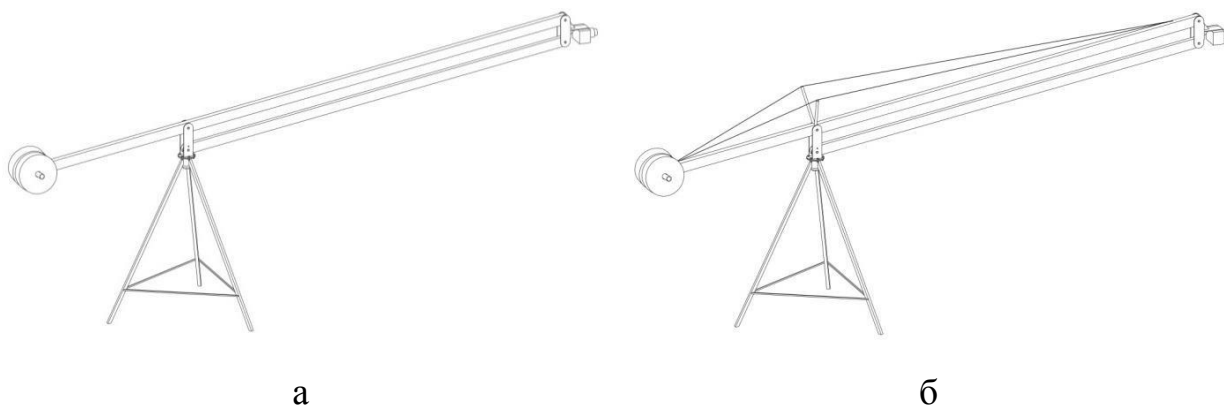
Проведено дослідження вібрацій крана оператора, визначено вплив складного руху крана оператора на коливання конструкції при максимальному навантаженні. Запропоновано спосіб захисту від вібрації та обґрунтовано доцільність використання розтяжок.

A study of the vibrations of the operator's crane was carried out, the influence of the complex movement of the operator's crane on the vibrations of the structure at maximum load was determined. A method of protection against vibrations is proposed and the expediency of using stretch marks is substantiated.

В сучасному кінематографі зйомка за допомогою операторського крана є невід'ємною складовою процесу створення фільмів та відео. Для отримання якісної та доволі інформативної «картинки» потрібно використання до 7 точок зйомки, не менш половини із яких виконуються за допомогою саме операторських кранів. Однак, збільшення рухливих планів та зйомок з висоти, що потребують швидкого пересування камери, також призводить до збільшення вібрацій у момент зйомки. Ці вібрації є шкідливими для якості зображення та можуть спричиняти дезорієнтацію глядачів. Розглянувши задачу зменшенні вібрацій, що виникають при зйомці завдяки руху операторського крана, та шляхи і методи їх зменшення для покращення якості кінопродукта, можна зробити висновок, що важливо дотримуватись правильної техніки зйомки та використовувати спеціальне обладнання для зменшення вібрацій. Дослідження спрямовані на розуміння причин та знаходження шляхів вирішення задач, пов'язаних з вібраціями при зйомці з використанням операторських кранів, і можуть бути корисними для тих, хто працює у галузі кінематографії.

Важко уявити якісну зйомку без чіткої та стабільної картини. Не враховуючі стабілізацію об'єктива кінокамери, яка присутня в усіх сучасних приладах для зйомки, при вивченні різних варіантів вирішення цієї задачі можна зробити висновок, що встановлення розтяжок на одну із балок є ефективним рішенням. Розтяжки сприяють стабілізації конструкції крану та запобігають вібраціям, що дозволяє отримати більш якісну картинку при зйомці.

Металоконструкція операторського крана має наступний вигляд (рис. 1.):



а – до встановлення розтяжок, б – після встановлення розтяжок

Рисунок 1 – Операторський кран

Для досягнення поставленої задачі операторський кран представлено у вигляді збалансованого маніпулятора за наступною схемою (рис. 2):

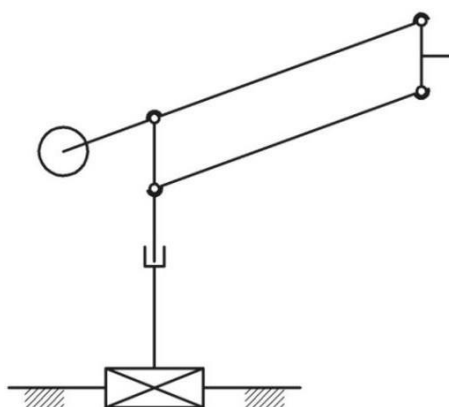


Рисунок 2 – Схема операторського крана

Картина вібраційного стану останньої ланки операторського крана, на яку безпосередньо кріпиться камера, отримана шляхом розв'язання математичної моделі у вигляді:

$$\begin{aligned}
 D &= D^{об} + D^{ном} = ({}^1R_z)^T I ({}^R_z) + ({}^R_z)^T I ({}^R_z) + \\
 &+ ({}^R_z)^{41} I ({}^4R_z)^{41} + ({}^4R_z)^{0T0} I ({}^R_z)^{0+0} + m_1 (z_0 \times \underline{c_1}) \cdot \underline{\dot{z}}_0 \times \underline{\dot{r}}_0 + \\
 &+ m_2 (z_0 \times (r_1 - p_1)) \cdot (z_1 \times (r_1 - p_1)) + m_3 (z_0 \times (r_1 - p_1)) \cdot (z_2 \times (r_2 - p_3)) + \\
 &+ m_4 (z_0 \times (r_1 - p_1)) \cdot (z_3 \times (r_3 - p_4)),
 \end{aligned}$$

де

iR_0 – матриця повороту i -ї ланки відносно базової системи координат;

I_i – тензор інерції i -ї ланки;
 z_i – вісь обертання i -го зчленування в базовій системі координат;
 c_i – положення центра мас i -ї ланки відносно початку системи координат $(x_i; y_i; z_i)$;
 r_i – положення центра мас i -ї ланки в базовій системі координат;
 p_i – положення початку i -ї системи координат відносно початку $(i - 1)$ -ї системи координат;
 m_i – маса i -ї ланки.

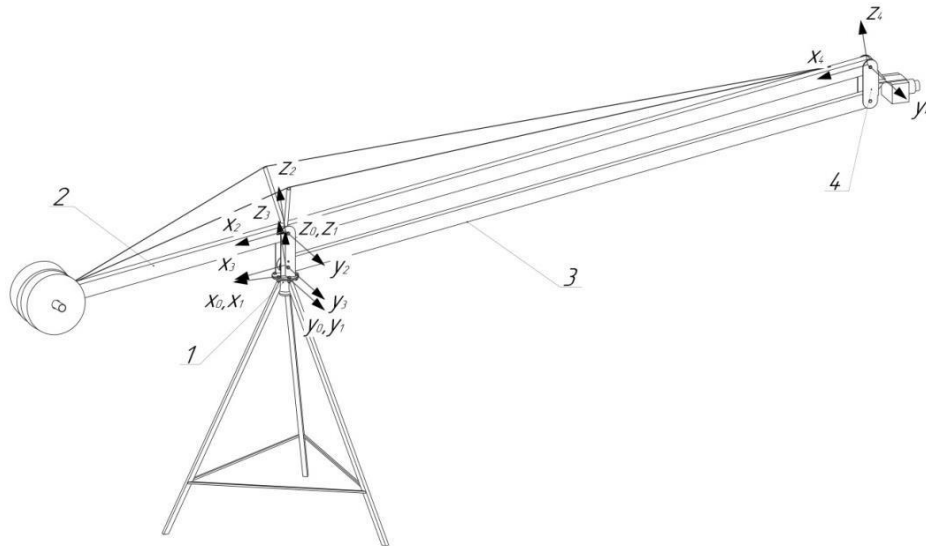


Рисунок 3 – Положення осей координат кожної ланки

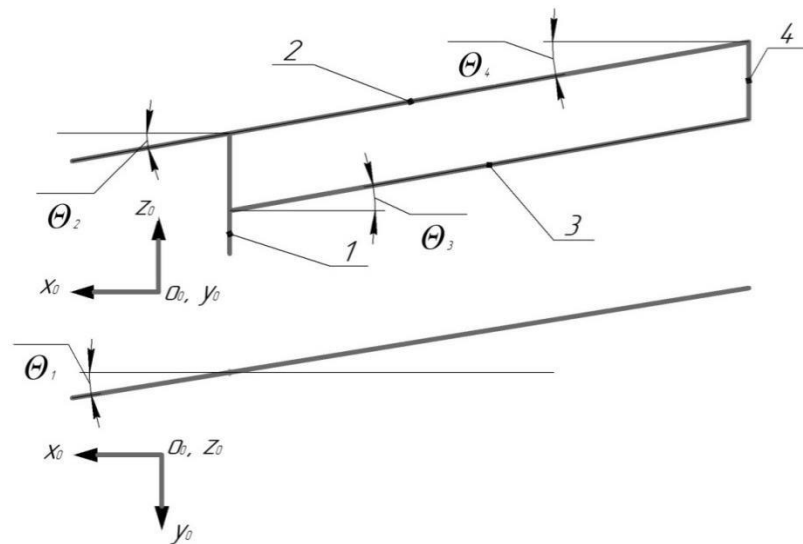
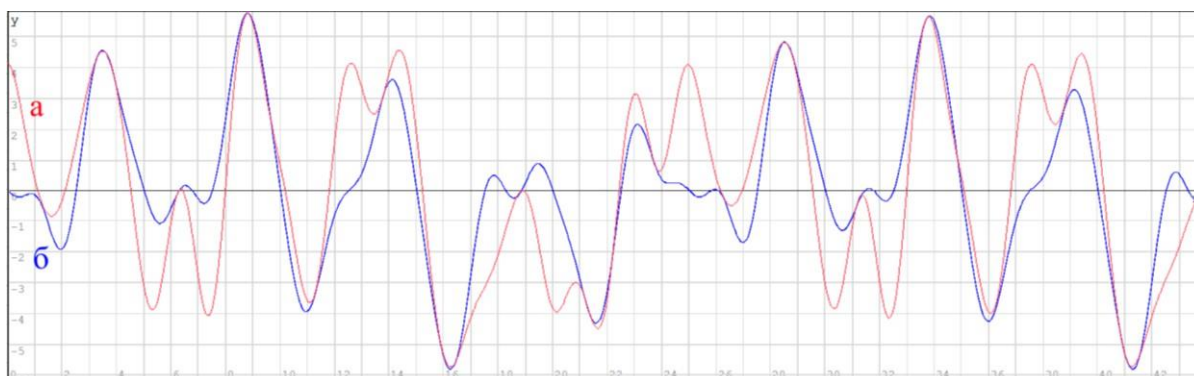


Рисунок 4 – Кути відхилення операторського крана при зйомці

Результати рішення до встановлення розтяжок (а) та після (б) показані на рисунку 5.



а – до встановлення розтяжок, б – після встановлення розтяжок

Рисунок 5 – Коливання останньої ланки операторського крана

Треба зазначити, що встановлення розтяжок не впливає на функціональність крану та не потребує значних змін у конструкції.

Отже, дослідження показали, що встановлення розтяжок на головну балку операторського крану є ефективним рішенням для боротьби з вібраціями під час пересування камери. Це дозволяє отримати більш якісну картинку при зйомці та забезпечити комфортні умови для роботи оператора та майбутнього глядача.

Синиця Т.В. (Донбаська державна машинобудівна академія,
м.м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

РОЗРОБКА І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В роботі теоретично і експериментально показано, що використання методу вібраційного різання в поєднанні з поверхнево-активними речовинами призводить до покращення якості деталей і що необхідні подальші дослідження для вивчення взаємодії цих методів.

The paper theoretically and experimentally shows that the use of the vibration cutting method in combination with surface-active substances leads to an improvement in the quality of parts and that further research is needed to study the interaction of these methods

Розвиток української економіки неможливий без випереджального розвитку машинобудівної промисловості. Перед промисловістю стоїть завдання постійного вдосконалення машин і технологій. Експлуатаційна надійність машин визначається насамперед якістю робочих поверхонь деталей, що утворюються під час завершальних операцій технологічних процесів (напружено-деформований стан поверхневого шару, залишкові технологічні напруження, динаміка навантажень, фізико-механічні властивості матеріалу, макро- та мікрогеометрія, геометрична точність). Наприклад, підвищення твердості деталей машин здійснюється різними технологічними методами, але вони надто енергомісткі, трудомісткі, займають багато місця в майстернях, вимагають великої кількості робочої сили [1-3].

Використання композиційних покриттів з поверхнево-активних речовин на робочих поверхнях прецизійних деталей підвищує їх несучу здатність і, відповідно, експлуатаційну надійність деталей. Застосування таких покриттів у поєднанні з використанням нановібрації в механічній обробці є перспективним напрямком, який відкриває широкі можливості для управління фізико-механічними властивостями контактуючих поверхонь, а також підвищення продуктивності праці, зниження енерговитрат і поліпшення якості продуктів, що робить їх більш конкурентоспроможними на світовому ринку. У цьому і полягає актуальність дослідження.

Експериментальні дослідження ґрунтуються на припущенні про підвищення мікротвердості деталі після вібраційного різання із нанометричною амплітудою з нанесенням на поверхню зразка й впливу поверхнево-активних речовин під час вібраційного різання.

Представимо експериментальну установку на малюнках 1-2, що складається з зразка що оброблюється 1, різця 2, котушки 3, головка УДМ

4, кабель 5, підсилювач ТА-5 6, блок мікроампер метрів 7, пульт керування генератором 8, генератор імпульсних токів 9. На рис. 2 показана схема закріплення та установки заготовки. Зразок 1 встановлюється та закріплюється у патроні 2, та притискується заднім обертальним центром 3 для придання жорсткості системі. Різець 4 встановлюється у головку УДМ-600 5.

Принцип дії даної експериментальної установки (рис. 3): імпульсний струм з визначеними параметрами, які можливо встановлювати за допомогою пульта керування 7, подається з генератора імпульсних струмів 6, а з нього на котушку індуктивності 5, яка в свою чергу закріплена на різці 4. Імпульсні токи збуджують електромагнітне поле котушки, дольмени силових ліній розвертаються вздовж державки різця і різець на підставі ефекту.

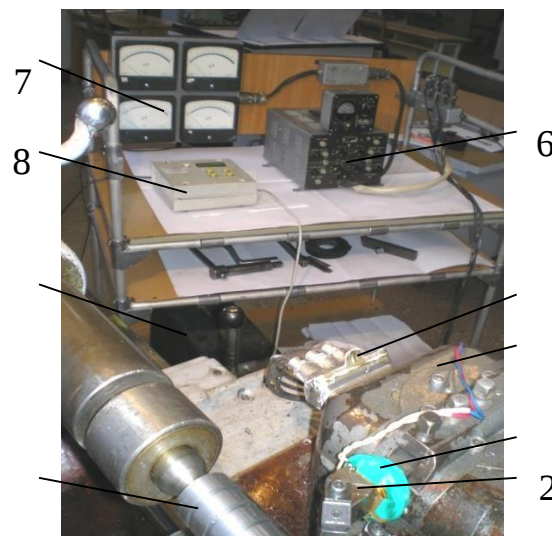


Рисунок 1 - Загальний вид експериментальної установки



Рисунок 2 - Вид експериментальної установки збоку

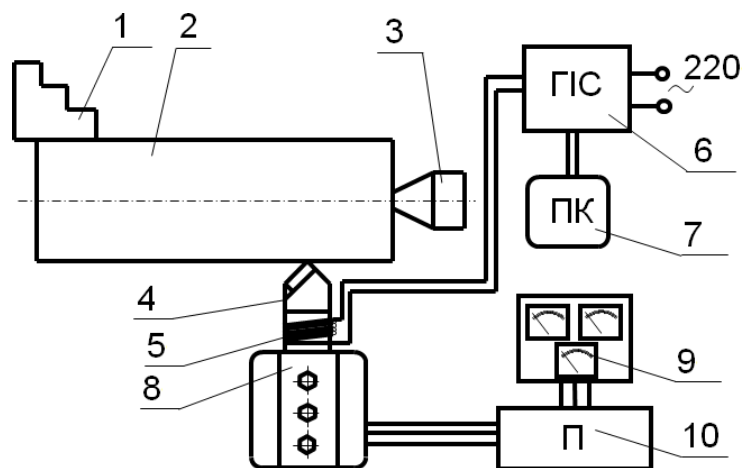


Рисунок 3 – Структурна схема експериментальної установки

Ефект магнітострикції починає повздовжуватись та скорочуватись на певну величину. Цей механізм і створює коливання під час різання. Сам різець 4 з котушкою 5, який встановлений у вимірюючій головці УДМ-600 8. У процесі різання виникають сили різання, які і фіксує цей пристрій. З головки 8 сигнал поступає на підсилювач 10, а з нього на блок мікроамперметрів 9, який і дозволяє реєструвати сили при різанні зразка 2, який встановлений і закріплений у трикулачковому патроні 1 та задньому обертовому центрі 3.

Експеримент був проведений у наступній послідовності:

1. Зроблена підготовка експериментальних зразків до опиту:
 - за допомогою ацетону знежирити поверхні зразків;
 - зразки промиті в дистильованій воді;
 - зразки були висушені в сушильній камері.
2. Зразок №1 був встановлен та закріплен у трикулачковому самоцентруючому патроні, притиснут заднім обертовим центром.
3. Встановлен та налагоджен різець із допоміжним і основним обладнанням.
4. На зразок був нанесений шар ПАР.
5. Зроблена обробка за планом експерименту.
6. Після кожного часу обробки були зняті за допомогою приладу показання сил різання.
7. Зняли обранець №1.
8. Повторені пункти 2-3, 4-7 для зразка №2.
9. Показання вимірів, отримані в результаті опитів, занесені в табл. 1-2 (кожний досвід проведений 3 рази).

Таблиця 1 - Результати вимірів поверхневої мікротвердості, шорсткості та сил різання без застосування ПАР.

№	F, Гц	V, мм/хв	S, мм/об	Мікротвердість, кг, мм ²	Шорсткість, мкм	Px, Н	Py, Н	Pz, Н
1	1000,00	60,00	0,10	380,00	5,10	34,30	57,40	114,80
2	1000,00	95,00	0,39	378,00	11,70	33,40	57,70	109,90
3	1000,00	119,00	0,20	389,00	6,60	33,60	56,30	109,20
4	3000,00	60,00	0,39	369,00	9,70	31,10	54,10	108,20
5	3000,00	95,00	0,20	391,00	5,60	32,50	53,40	106,30
6	3000,00	119,00	0,10	395,00	2,60	31,50	54,80	103,20
7	5000,00	60,00	0,20	488,00	4,10	35,60	58,20	116,50
8	5000,00	95,00	0,10	508,00	1,30	32,50	55,50	107,10
9	5000,00	119,00	0,39	470,00	9,30	31,90	52,10	105,40

Таблиця 2 - Результати вимірів поверхневої мікротвердості, шорсткості та сил різання із застосування ПАР.

№	F, Гц	V, мм/хв	S, мм/об	Мікротвердість, кг, мм ²	Шорсткість, мкм	Px, Н	Py, Н	Pz, Н
1	1000,00	60,00	0,10	381,00	3,10	33,10	52,30	100,10
2	1000,00	95,00	0,39	369,00	7,40	31,30	51,10	99,40
3	1000,00	119,00	0,20	379,00	4,50	34,10	52,10	101,20
4	3000,00	60,00	0,39	369,00	5,70	31,80	49,90	99,40
5	3000,00	95,00	0,20	491,00	2,60	30,70	49,40	98,20
6	3000,00	119,00	0,10	503,00	1,30	30,20	49,30	97,60
7	5000,00	60,00	0,20	554,00	2,30	31,10	51,20	98,10
8	5000,00	95,00	0,10	536,00	1,50	32,30	47,40	93,80
9	5000,00	119,00	0,39	488,00	4,90	29,10	45,10	90,20

Де F – частота струму, V – швидкість різання, S – подача інструменту, Px, Py, Pz – сили різання по осі x, y та z.

Для проведення експерименту був використаний генератор імпульсних струмів, були використані зразки діаметром 40 мм і довжиною 200 мм із матеріалу Сталь 40, які були поділені на відокремлені поверхні для зручності проведення дослідження. В ході експерименту, як вихідний фактор вимірювалась шорсткість у Ra, мкм, мікротвердість і сили різання. Пристрої які використовувались – тестер шорсткості TR100; динамометр універсальний УДМ-600; Прилад для вимірювання мікротвердості ПМТ-3. Для впливу на зразки ми використовували ПАР - АКУРО RO20.

Висновки

Отриманні результати показали, що найбільший ефект був отриманий при обробці вібраційним різанням із нанометричною амплітудою з нанесенням на поверхню ПАР з частотою 5000 Гц. При такому режимі обробки, було найбільше підвищення мікротвердості, були зменшенні показники шорсткості і сил різання.

Таким чином, можна зробити висновок, що використання методу вібраційного різання в поєднанні з поверхнево-активними речовинами призводить до покращення якості деталей і що необхідні подальші дослідження для вивчення взаємодії цих методів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1 Babichev A.P., Glasman B.S., Kravchenko D.N., Ivanov V.V. Removal of burrs under Vibration Scraping// *Proceedings of the 7th International Conference on Deburring and Surface Finishing. University of California at Berkeley, 2004, p.187-191.*
- 2 Babichev A.P., Kravchenko D.N. Experimental Investigation of the Burr Formation on the Edge while Machining // *Proceedings of the 7th International Conference on Deburring and Surface Finishing. University of California at Berkeley, 2004, p.455-461.*
- 3 Методика підвищення точності обробки різанням з вібрацією за допомогою інструменту з лінійними і поступально-обертovими коливаннями / Козак В. І., Кривовяз І. В. // *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. - 2012. - Вип. 22. - С. 146-153.*

Слівкін Є. В., Тришевський О.І. (Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ЗАВДАННЯ ПОЛОСИ У ПРОФІЛЕЗГИНАЛЬНІ АГРЕГАТИ НА ДЕФОРМУВАННЯ, СТАН І ЯКОСТЬ ПРОФІЛЕЙ З ПЕРІОДИЧНО ПОВТОРЮВАНИМИ ПОВЗДОВЖНІМИ ГОФРАМИ ЖОРСТКОСТІ

Наведено результати досліджень щодо вдосконалення технології та підвищення якості листових профілів, з відформованими на плоских ділянках періодичними поздовжніми гофрами жорсткості. Знайдений експериментально мінімум поздовжніх деформацій стиснення плоских бічних ділянок профілів, що відповідає рівню задачі заготовки 0 - (-20) мм, дозволяє рекомендувати даний інтервал для використання при виробництві профілів з поздовжніми періодичними гофрами, а також налаштування валкової арматури промислового обладнання.

The results of research on improving the technology and improving the quality of sheet profiles with periodic longitudinal stiffening corrugations formed on flat areas are given. The experimentally found minimum of longitudinal compression deformations of the flat side sections of the profiles, which corresponds to the level of the workpiece task of 0 - (-20) mm, allows recommending this interval for use in the production of profiles with longitudinal periodic corrugations, as well as setting the roll armature of industrial equipment.

Розвиток та вдосконалення сучасного машинобудування безпосередньо пов'язане зі створенням та освоєнням нових прогресивних енергозберігаючих технологічних процесів, що дозволяють виробляти та впроваджувати високоефективні види металопродукції, які забезпечують високу конкурентоспроможність виробів, машин і металоконструкцій на світових ринках. Одним з основних конструкційних матеріалів, що широко застосовується практично у всіх галузях сучасного машинобудування внаслідок поєднання високих механічних властивостей із відносно невеликою металоємністю, є гнуті профілі, листові та сортові, посилені поздовжніми гофрами жорсткості, що періодично повторюються. Технологічні процеси формування гофрів за рахунок місцевої витяжки на заготовці, що постійно рухається та не має сталого контакту з інструментом (формуєчими валками), досить складні і враховуючи відносну новизну цієї технології недостатньо вивчені. У зв'язку з викладеним проведення досліджень, спрямованих на вдосконалення технології та підвищення якості листових профілів, з відформованими на плоских ділянках гофрами жорсткості, є важливим та актуальним.

Формування періодичних гофрів на листових профілях відбувається в перших клітинах профілезгинальних станів, бічні, прилеглі до кромки ділянки полоси нічим не обмежені. Контакт заготовки з валками здійснюється лише в їхній осьовій площині, а формування кожного з гофрів,

що періодично повторюються, супроводжується утворенням позаконтактної зони осередку деформації. При формуванні гофрів великих розмірів можливе часткове переміщення металу із плоскої полиці у зону формування, утворення утягування. При цьому перерозподіл внутрішніх напружень в профілі призводить до утворення залишкових напружень в зоні бічної полиці, які за певних умов викликають пластичну втрату стійкості плоского бічного елемента і виникнення хвилястості на профілі.

Аналіз публікацій з питань удосконалення технологічних процесів та покращення якості гнутих профілів показує, що однією з основних тенденцій сучасних досліджень є визначення, наприклад, на основі методу кінцевих елементів деформованого стану металу, зокрема залишкових деформацій у готових профілях. Отримана на основі цих досліджень інформація використовується для вдосконалення режимів формування, конструкції калібрів валків, а також досліджень підвищення якості готової продукції за рахунок зниження стоншення в місцях формування, пружинення готового профілю, зменшення зсувної деформації. Дослідження виконуються на профілях із сучасних високоміцних сталей. Типовими у цьому відношенні є роботи [1, 2]. Однак, на жаль, поки що дослідження проводяться на профілях простої форми, переважно V- та U-подібного перерізу, плоскі дільниці яких не посилені гофрами жорсткості і внаслідок цього їх результати не можуть бути поширені на більш складні за умовами формоутворення профілі з гофрами, що періодично повторюються.

Питання впливу різних технологічних параметрів на якісні характеристики готових профілів з повздовжніми періодичними гофрами жорсткості та їх обліку під час проектування нових технологій у науково-технічній літературі практично не розглядаються. Як показує практика, одним з основних параметрів, що впливає на умови формоутворення, енергосилові параметри і якість готових профілів, є напружено-деформований стан металу як в осередку формоутворення гофрів, так і на прилеглих до нього плоских ділянках профілів, в тому числі і при зміні рівня задачі плоскої заготовки в кліть, що формує гофри, які періодично повторюються.

У роботі [3] виконано комплексний аналіз напружено-деформованого стану металу в осередку формоутворення періодичного гофру, однак, наведено лише результати теоретичних досліджень без рекомендацій щодо промислового використання їх результатів. Роботи [4-5] та низка інших присвячені питанням аналізу напружено-деформованого стану плоского бокового елемента профілю, прилеглого до зони формування періодичного гофру. Виявлено причини виникнення хвилястості на листових профілях високої жорсткості. Це перевищення залишкових напружень стиснення, що виникають на полиці при формуванні гофрів, величини критичних напружень. Подано рекомендації щодо запобігання цьому дефекту. Проте, під час аналізу подання заготовки сприймається як здійснюване лише у

площині профілювання. Разом з тим, досвід освоєння виробництва листових профілів з періодичними гофрами показує, що при формуванні істотний вплив на залишкові напруження в профілі, що виникають, його деформований стан і якість по площинності надає рівень завдання плоскої заготовки в формуючу кліть. Зміна рівня завдання досягається рахунок підняття чи опускання з допомогою спеціальної проводкової арматури заготовки на певний кут від площини профілювання. Досліджень подібного прийому при формуванні та його впливу на деформований стан, якісні характеристики відформованих профілів та енергосилові параметри процесу в опублікованій науково-технічній літературі не виявлено.

Таким чином, **метою проведених досліджень** є визначення впливу зміни рівня завдання листової заготовки при формуванні листових профілів з періодично повторюваними поздовжніми гофрами на: - зміну поздовжніх деформацій ϵ на плоских бічних ділянках профілів; - зміну залишкової деформації $\epsilon_{ост}$ на цих же ділянках; - розподіл показника якості профілів за площинністю k/λ за осьовою площиною валків; а також визначення оптимального рівня задачі полоси, що забезпечує покращення якості профілів по площинності при мінімальних значеннях енергосилових параметрів їх формування – зусиль P та моментів M , що крутять.

Дослідження проводили на двох станах - 550 та 1-4x50-300 та зіставляли результати, а також оцінювали можливість використання стану 1-4x50-300 для експериментів та вироблення рекомендацій при проведенні робіт на агрегаті 1-5x300-1650. Для кожного стану були виготовлені два комплекти валків, які забезпечували отримання профілів кришок люків напіввагонів та хребтових балок мостових кранів з гофрами найбільш поширеної в сортаменті конфігурації – напівкруглої та типових розмірів. Розміри експериментальних калібрувань для даних досліджень наведено у табл. 1 де прийняті наступні позначення: D - основний діаметр валків; L – довжина гофрів; R – радіус у вершини гофра; B – ширина гофра; H – висота гофра. Ширина профілів всіх калібрувань прийнята однаковою і становила 400 мм.

Таблиця 1

Розміри калібрувань, що використовувалися при проведенні експериментальних досліджень

Стан 550						Стан 1-4x50-300					
№ка - ки	D , мм	L , мм	R , мм	B , мм	H , мм	№ка- ки	D мм	L , мм	R , мм	B , мм	H , мм
1	545	1160	50	118	30	3	340	542	66	140	30
2	500	1180	25	95	30	4	340	530	25	95	30

Завдання полос товщиною 2-5 мм, шириною 400 мм і довжиною 1800-2000 мм на різних рівнях забезпечувалося підйомом та опусканням увідних проводок на 20 та 40 мм від нульового рівня. Відстань від проводок до осьової площини валків на обох станах - 300 мм була обрана для зручності

закріплення датчиків [6], що фіксували деформований стан на плоских бічних ділянках полос перед формуванням.

Підготовлені полоси шириною 400 мм і довжиною 1800-2000 мм на кожному з рівнів (+40 мм; +20 мм; 0 мм; -20 мм; -40 мм) задавали в стани, при цьому проводили запис поздовжніх деформацій у процесі формування профілів за показниками наклеєного тензодатчика та тензорезисторного вимірювального перетворювача [6]. Крім цього, на готових профілях були проведені виміри кінцевої відстані між рисками ділильних сіток та загальної довжини кромки заготовок профілю.

Дані тензометричних досліджень наведено на рис.1-5. Зіставлені результати вимірів у різний спосіб залишкової деформації на кромках профілів мають хорошу збіжність: значення поздовжніх деформацій, визначені шляхом ділильних сіток і - іншими, різняться лише на 15%.

Крім того, методом електротензометрії для випадку виготовлення профілів з періодичними гофрами шириною 118 мм на стані 550 отримані експериментальні дані, що дозволяють провести якісний та кількісний аналіз виникнення та розподілу хвилястості на плоских бічних ділянках у процесі формування профілів високої жорсткості при задачі полоси на різних рівнях.

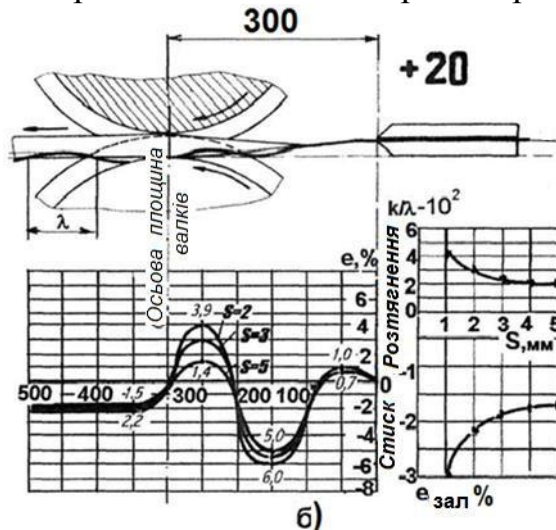
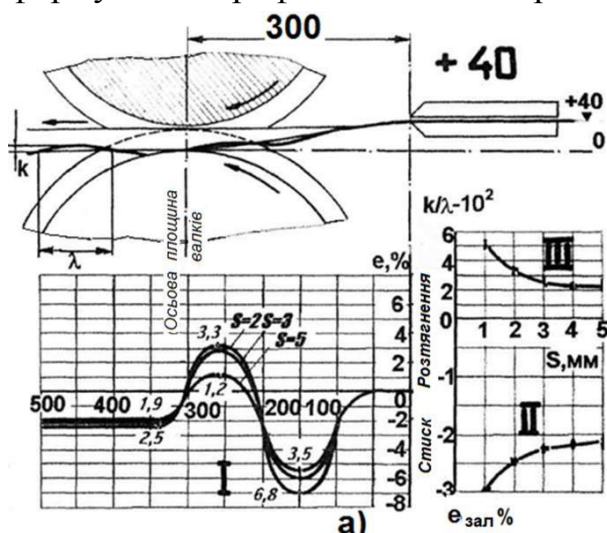


Рисунок 1 - Зміна поздовжніх деформацій e на плоских бічних ділянках профілів при формоутворенні, а також залишкової деформації $e_{\text{зал}}$ та відношення k / λ на готових профілях залежно від рівня задачі заготовок: а) +40 мм;

Рисунок 2 - Зміна поздовжніх деформацій e на плоских бічних ділянках профілів при формоутворенні, а також залишкової деформації $e_{\text{ост}}$ та відношення k / λ на готових профілях залежно від рівня задачі заготовок: б) +20 мм;

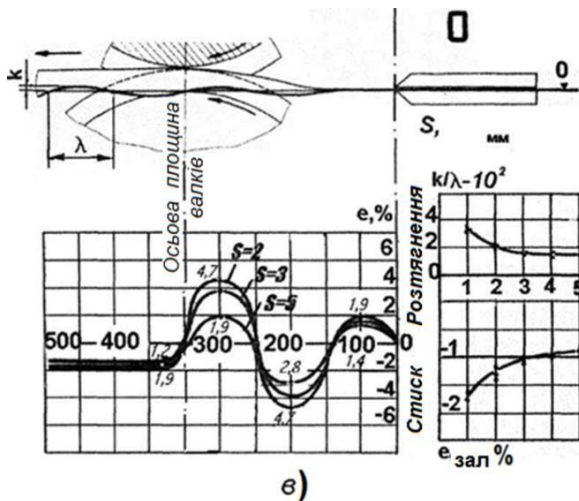


Рисунок 3 - Зміна поздовжніх деформацій e на плоских бічних ділянках профілів при формоутворенні, а також залишкової деформації $e_{\text{зал}}$ та відношення k/λ на готових профілях залежно від рівня задачі заготовок: в) 0 мм;

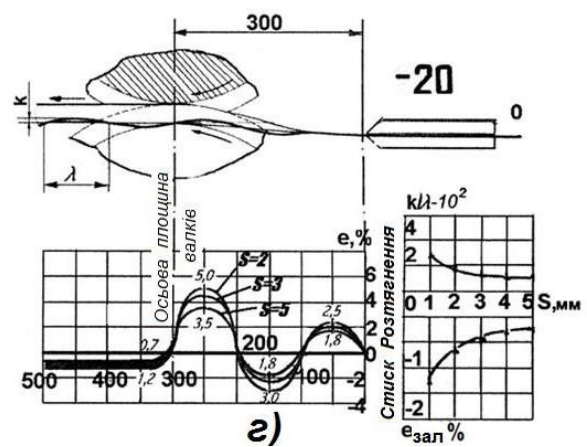


Рисунок 4 - Зміна поздовжніх деформацій e на плоских бічних ділянках профілів при формоутворенні, а також залишкової деформації $e_{\text{зал}}$ і відношення k/λ на готових профілях залежно від рівня задачі заготовок: г) -20 мм;

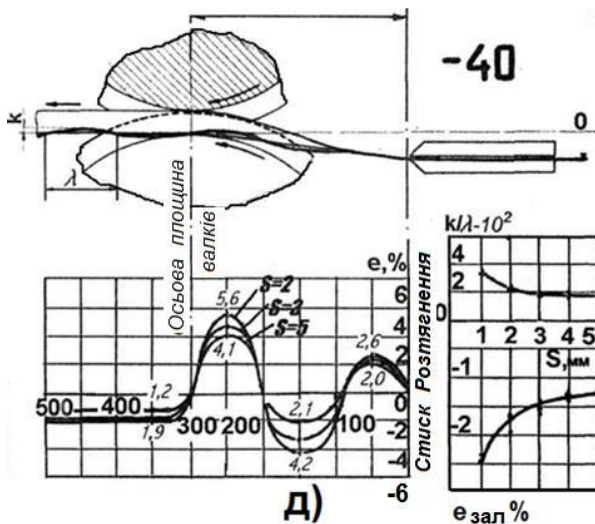


Рисунок 5 - Зміна поздовжніх деформацій e на плоских бічних ділянках профілів при формоутворенні, а також залишкової деформації $e_{\text{зал}}$ і відношення k/λ на готових профілях залежно від рівня задачі заготовок: д) -40 мм

Як показали дослідження [7], хвилястість виникає в результаті складних процесів, що відбуваються на бічних ділянках заготовки ще при її проходженні від проводкової арматури до осьової площини валків. Змінюючи рівень задачі заготовки у валки, можна добитися такого перерозподілу знакозмінних деформацій на цьому етапі, який, в кінцевому рахунку, забезпечить зведення до мінімуму залишкових деформацій полиць на готовому профілі (рис. 1-5). Аналіз процесу формоутворення та

зіставлення отриманих результатів з даними кінематичного аналізу виникнення хвилястості на бічних елементах профілю при утворенні сталого осередку деформації, дозволили виявити наявність на відрізку від виходу заготовки з провідок до осьової площини валків трьох приблизно рівних по довжині ділянок.

На першій ділянці кромка заготовки зберігає прямолінійність, а на плоских бічних ділянках зі зміною рівня задачі від +40 до -40 мм виникає і послідовно збільшується, досягаючи 2 - 2,5% деформація розтягу від поперечного згину заготовки опуклим формуючим елементом. Наближення металу до валків пов'язане з початком витяжки листового металу на другій ділянці, що відповідає позаконтактній зоні осередку деформації. При цьому на плоскій бічній ділянці виникають напруження стиснення і утворюється напівхвиля, увігнута по відношенню до осі формування. Зі зміною рівня завдання від +40 до -20 максимальні деформації стиснення зменшуються від 5,5 - 7% до 1,8 - 3%, а при рівні задачі -40 мм збільшуються до 2 - 4,2%.

На третій ділянці, у міру наближення до осьової площини валків, бічні ділянки заготовки відгинаються у бік валка з увігнутими формуючими елементами (верхнього), що викликає розтяг цих ділянок та утворення іншої напівхвилі, опуклої по відношенню до осі формування. Зі зміною рівня завдання від + 40 до - 40 мм максимальні деформації розтягування зростають з 1,2 – 3,2% до 4 – 5,5%.

Явище переформування хвилі при проходженні через осьову площину валків призводить до зміни знаку деформації та появи на плоских бічних ділянках залишкової деформації стиснення. При зміні рівня завдання від +40 до -20 мм залишкова деформація стиснення на бічних ділянках зменшується з 2,1 - 2,5% до 0,7 - 1,2%, а при рівні задачі - 40 мм зростає до 1,1 - 1,8%.

Проведені тензометричні дослідження дозволили встановити оптимальний інтервал рівнів задачі заготовки (0 – -20), при якому поздовжні деформації на плоских бічних ділянках профілю набувають мінімальних значень. Цей висновок підтверджується результатами обміру ділильних сіток та параметрів хвилястості k та λ на готових профілях. Як видно із рис. 3, зі збільшенням товщини заготовки від 2 до 5 мм залишкова деформація на полицях $\epsilon_{\text{зал}}$ і відношення k/λ при всіх випробуваних рівнях задачі заготовки зменшуються. Мінімальні значення $\epsilon_{\text{зал}}$ та k/λ зафіксовані при рівні задачі - 20мм (див. рис.4).

Висновки:

1. В результаті дослідження впливу зміни рівня задачі металу у валки встановлено, що кількісний перерозподіл поздовжніх знакозмінних деформацій, що відбувається при цьому, призводить до появи різних за величиною залишкових поздовжніх деформацій на плоских бічних ділянках профілів. При зміні рівня задачі заготовки від + 40 мм до - 20 мм величина залишкових деформацій стиснення на бічних ділянках профілю зменшується

від 2,1-2,5% до мінімальних значень 0,7-1,2%, а потім знову дещо зростає до 1,1-1,8% при рівні задачі – 40 мм.

2. Результати визначення різними експериментальними методами залишкових деформацій на бічних ділянках профілів мають розбіжності у енергосилових параметрах у межах 15%. Це підтверджується результатами аналізу якості профілів хвилястістю, що виникає на таких ділянках. Мінімальна інтенсивність хвилястості, оцінена показником k/λ , має місце при завданні листового металу в діапазоні рівнів від -20 мм до 0.

3. Оскільки експериментальні дослідження були проведені на обладнанні, близькому за технічною характеристикою до промислового агрегату 1-5x300-1650 і при цьому використовували найбільш типові в його сортаменті типорозміри періодичних гофрів, знайдений експериментально мінімум поздовжніх деформацій стиснення плоских бічних ділянок профілів, відповідно межах 0 – 20 мм, дозволяє рекомендувати цей діапазон при виробництві профілів високої жорсткості у промислових умовах.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Traub T., Xin Chen, Groch P. *Experimental and Numerical Investigation of the Bending Zone in Roll Forming*. *International Journal of Mechanical Sciences* 131-132. 2917; 956-970. DOI:10.1016/j.ijmecsci.2017.07.056.

2. Kwun Sing Tsang, Ion W., Blackwell P., English M. *Industrial validation of strain in cold roll forming of UHSS*. 17 *International Conference on Metal Forming, Metal Forming* 18. *Procedia Manufacturing*, 15.2018; 788-795.

3. Тришевський О.І., Бабаєв І.О. До питання утворення хвилястості на плоских елементах листових профілів з повздовжніми гофрами, що періодично повторюються. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018; 14: 136-140.

4. .

5. Тришевський О.І., Слівкін Є.В. Вплив технологічних факторів формування профілів з повздовжніми періодичними гофрами на точність розмірів їх періоду. *Материалы международной научно-технической конф. «Новые и нетрадиционные технологии в энерго- и ресурсосбережении»* Одесса. 2921. С.187-189.

Соколов М. В., Олійник С.Ю. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

У статті розглядаються можливості сучасних програмних систем. Аналізуються прикладні програми, які дозволяють спростити та автоматизувати більшість виробничих процесів.

The article examines the capabilities of modern software systems. Application programs that allow to simplify and automate most production processes are analyzed

В машинобудівному виробництві інтенсивно впроваджують і використовують інформаційні технології, що забезпечують наскрізну інтеграцію процесів і стадій промислового виробництва. Експлуатація автоматизованих систем (АС) типу CAD/CAM/CAE, PDM, ERP, CRM та ін. приводить до істотних функціональних і організаційних змін у роботі промислових підприємств. Так, автоматизація функцій управління, планування і проектування оптимізує інформаційні потоки, скорочує кількість структурних підрозділів і дозволяє відмовлятися від традиційних видів виробництв. Водночас здатність переорієнтувати виробництво, оперативно реагувати на технічні зміни продукції є основною умовою виживання й розвитку промислових підприємств сьогодні.

Впровадження і використання комп'ютерних технологій приводить до того, що проектні, планові і управлінські рішення на підприємствах приймаються на рівні моделей. При цьому реальні об'єкти і процеси стають свого роду відображенням «віртуальних» об'єктів і процесів у зовнішнє середовище. Відбувається віртуалізація сучасного виробництва [1].

Метою роботи є аналіз сучасних програмних систем для технологічної підготовки виробництва.

За останні роки промислове виробництво зазнало декілька кардинальних змін. Ці зміни багато в чому обумовлені розвитком інформаційних технологій, що ґрунтуються на сучасних комп'ютерних і комунікаційних засобах. Інтегрованим результатом змін, що відбулися в промисловості, визнана глобалізація, під якою розуміють інтеграцію регіональної, національної та галузевої економіки. Створені в цих умовах інформаційні технології, з одного боку, намагаються наздогнати зростаючі вимоги до себе, а з іншого — самі виступають ініціаторами нових ідей. У результаті цього з'явилися нові форми промислових виробництв, відбулась комплексна автоматизація та інтеграція основних функцій технологічної підготовки виробництва — проектування, управління та планування на

основі стандартів ISO та інформаційних технологій. Досягнення у сфері комп'ютерних технологій пов'язані з упровадженням інтегрованого виробництва в різних галузях промисловості, використанням сучасних ефективних технологій виготовлення виробів, комплексною автоматизацією всіх етапів життєвого циклу виробу [1].

Основною метою САМ систем є створення програм для керування верстатами з числовим програмним керуванням. Інтерпретатор системи ЧПК виробляє переклад програми з вхідної мови в команди управління головним приводом, приводами подач, контролерами управління вузлів верстата (наприклад, включити або вимкнути, охолодження). Застосування систем ЧПК на виробництві дало можливість збільшити продуктивність і акуратність операцій, а також гарантії постійного рівня якості, який в більшості випадків набагато перевищує якість традиційної ручної обробки. Завдяки цьому багато замовлень, від яких раніше доводилося відмовлятися, зараз виконується з легкістю і без великих зусиль, що стає ексклюзивним і становить категорію найбільшого прибутку.

Написання та налагодження програм безпосередньо на G-кодi для деталей складної форми є досить трудомістким процесом, тому цей процес автоматизований шляхом створення САМ-систем. Вхідними даними системи САМ є геометрична модель виробу, розроблена в системі автоматизованого проектування (CAD). У процесі інтерактивної роботи з тривимірною моделлю в САМ-системі інженер визначає траєкторії і швидкість руху різального інструменту по заготовці виробу, які потім автоматично верифікуються та візуалізуються (для візуальної перевірки коректності) і обробляються постпроцесором для отримання програми керування конкретним верстатом у вигляді G-коду.

При вирішенні завдань, які пов'язані з розробкою, наприклад, проектувати розведення для друкованих плат (якщо в виріб входять електронні компоненти), виконання інженерного аналізу конструкції, використовують відповідні CAD-системи [2].

PDM-системи є по суті центром інтегрованої системи управління, сполучною ланкою між усіма системами в корпоративному середовищі підприємства. PDM також дозволяє вирішити завдання інтеграції різних CAD-систем та систем технологічного проектування. Однією з найважливіших переваг використання PDM системи є можливість формування на підприємстві несутеречливої бази нормативно-довідкової інформації та підтримки її в актуальному стані [2].

Будь-який виріб можна представити у вигляді цифрової 3D-моделі, яка описує конструкцію із заданим рівнем точності. Для кожної операції технологічного процесу можна сформувати набір цифрових математичних моделей, які повністю описують виробничий процес у віртуальному середовищі. Завдяки цьому, зміни технологічних процесів та аналіз наслідків цих змін можна проводити на цифровому двійнику виробництва, що дозволяє

мінімізувати кількість помилок, переналагоджень та доопрацювань у діючому виробничому процесі. Даний підхід суттєво прискорює процес підготовки виробництва, дозволяючи проаналізувати більшу кількість варіантів технологічних процесів та підвищити якість та ефективність виробництва, забезпечуючи виготовлення та збирання виробу без помилок з першого разу [3].

Siemens представляє інноваційне рішення – портфоліо Tecnomatix для розробки керуючих програм для обладнання та моделювання будь-яких вискоефективних технологічних процесів із отриманням зворотного зв'язку від виробництва.

Портфель рішень Solid Edge від Siemens націлений на реалізацію вимог сучасного інжинірингу та забезпечує розробку цифрового двійника продукту в найкоротші строки. Він дозволяє здійснити безшовну передачу даних між конструкторами, технологами, розраховувачами та іншими фахівцями, залученими до процесу розробки. За допомогою потужних та інтуїтивно зрозумілих рішень SOLIDWORKS Simulation інженери можуть віртуально тестувати нові ідеї, швидко та ефективно оцінювати продуктивність, підвищувати якість та отримувати знання для розробки інноваційних продуктів [5].

NX від Siemens — це гнучке і потужне інтегроване рішення, яке допомагає швидше та ефективніше виводити на ринок нові вироби. NX — це наступне покоління рішень для проектування, чисельного моделювання та виробництва, які дозволяють компаніям максимально використовувати потенціал цифрових двійників. NX підтримує всі стадії розробки виробів: від створення концепту і проектування до виготовлення. Цей набір інструментів дозволяє узгодити роботу у різних дисциплінах, забезпечити цілісність даних, зберегти проектний задум та оптимізувати весь робочий процес [4].

Ansys створює інструменти візуалізації для сегменту 3D-друку, що швидко зростає. Рішення Ansys дозволяють проектувати вироби для тривимірного друку з різних матеріалів, включаючи лазерний друк SLM із дрібнодисперсних металевих порошків. В даний час рішення Ansys охоплюють практично всі сегменти інженерної галузі: від важкого машинобудування, оборонної промисловості та аерокосмічної техніки до мікроелектроніки, медицини та симуляторів для тестування програмного забезпечення. Моделювання та аналіз у деяких галузях промисловості дозволяє уникнути дорогих та тривалих циклів розробки типу «проектування – виготовлення – випробування». Система працює з урахуванням геометричного ядра Parasolid. Програмна система KE аналізу ANSYS розробляється американською компанією Ansys Inc. Запропоновані фірмою ANSYS Inc. засоби чисельного моделювання та аналізу сумісні з деякими іншими пакетами, зокрема, система ANSYS поєднується з CAD-системами NX, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor та деякими іншими [6].

ВИСНОВКИ

Отже, автоматизація процесів підготовки виробництва та самого виробництва стала життєвою потребою. Також усе частіше іноземні замовники вимагають надання електронних документів відповідно до міжнародних стандартів ISO. Це можливо, якщо підприємство реалізує концепцію постійного інформаційного супроводу життєвого циклу продукції для всіх товарів і послуг, які на ньому виробляються. Застосування інформаційних систем дозволяє радикально змінити стиль управління і значно поліпшити показники діяльності компанії, а також, завдяки впровадженню у виробництво систем з ЧПУ і прикладних програм з'явилася можливість значно автоматизувати та прискорити виконання багатьох операцій, тим самим збільшивши якість і точність готової продукції.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Павленко П. М. П 12 Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. — К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. — 280 с. ISBN 966–598–253–2.
2. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: конспект лекцій / Ю. В. Холодняк; ТДАТУ. – Мелітополь: Люкс, 2021. – 140 с.
3. Портфель рішень Tecnomatix від Siemens. Режим доступу: <https://synset.com.ua/tecnomatix/>
4. Лінійка продуктів Tecnomatix. Режим доступу: <https://synset.com.ua/siemens-solid-edge-siemens-nx/>
5. SOLIDWORKS Моделювання. Режим доступу: <https://www.javelin-tech.com/3d/technology/solidworks-simulation/>
6. Універсальна програмна система Ansys. Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>

Соломко Є.С., Онищук С.Г., Тулупов В.І. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Розглянуто технологічні методи поверхневого зміцнення деталей машин. Досліджено вплив на експлуатаційні властивості досліджуваних методів.

Technological methods of surface strengthening of machine parts are considered. The influence on the operational properties of the investigated methods was investigated.

Використання технологій зміцнення виконавчих поверхонь деталей машин набуває останнім часом актуальності. Витрати на ремонт машин та механізмів у зв'язку зі зношенням в процесі експлуатації збільшуються. Тому підвищення експлуатаційних властивостей деталей шляхом поверхневого зміцнення є актуальним завданням.

В машинобудуванні набули поширення методи модифікації поверхневого шару деталей машин. З найбільш поширених можна виділити наступні [1]: хімічні та хіміко-термічні (цементування, азотування, нітроцементация), термічні (гартування струмами високої частоти), обробка виробів концентрованими потоками енергії (пучки електронів, плазмові потоки, лазерне випромінювання), механічні (поверхнево-пластичне деформування) та ін.

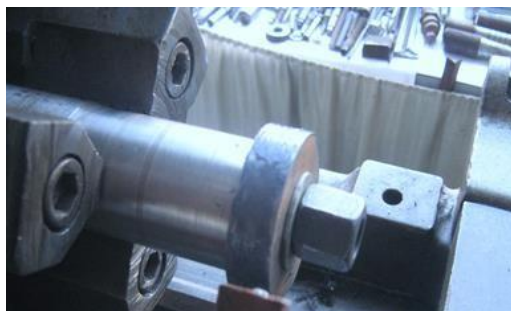
Кожний з перелічених методів має свою галузь використання та особливості реалізації, що наведені в довідковій літературі. Вибір того чи іншого методу зміцнення визначається технологічними та економічними чинниками.

Одним з перспективних методів зміцнення поверхонь деталей машин, що працюють в умовах знакозмінних навантажень є фрикційне електроімпульсне модифікування (ФЕМ), сутність якого є в нанесенні покриття у вигляді твердої змазки з наступним вигладжуванням з одночасним використанням імпульсного струму [2]. Дискретна структура, що утворюється внаслідок фрикційного електроімпульсного модифікування залежить від умов здійснення процесу, а саме складу модифікатора та режимів здійснення процесу вигладжування.

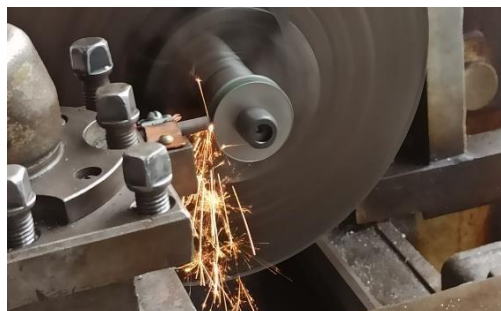
В даній статті розглядаються дослідження, що були виконані авторами [3].

Дослідження методу електроімпульсного вигладжування з модифікуванням поверхні дисульфідом молібдену (MoS_2) виконувалось на зразках, виконаних з круглого прокату зі сталі 40ХН діаметром 50 мм.

Оброблювані зразки пройшли попередню обробку точінням до шорсткості $Ra=2,5$ мкм. Зразки установлювались на оправці й закріплювались в трикулачковому патроні токарного верстата мод. 1К625 (рисунок 1, а).



а



б

а – електроімпульсне вигладжування; б – метод алюмотермії

Рисунок 1 - Реалізація методів зміцнення

Вигладжування виконувалось індентором у вигляді кульки, виготовленою зі сталі ШХ15 та закріпленої у державці. Шорсткість поверхні індентора $Ra=1,25$ мкм. Вигладжувач ізолювався від різцетримача верстата текстолітовими прокладками.

При проведенні електроімпульсного вигладжування в зону обробки подається імпульсний струм. На поверхню деталі наноситься шар дисульфиду молібдену.

Інший метод поверхневого зміцнення, що досліджувався в роботі [4], полягає у зміцненні поверхні деталей з використанням алюмотермії на відкритому повітрі (рисунок 1, б).

Сутність методу алюмотермії полягає у отриманні оксиду алюмінію та оксиду хрому в результаті хімічної реакції $2Al + Cr_2O_3 = Al_2O_3 + 2Cr$. Дослідження проводились на зразках зі сталі 40ХН, що установлювались на оправці та оброблялись в трикулачковому патроні на токарному верстаті мод. 1К625. На поверхню наноситься шар суміші оксиду хрому, металевого порошку алюмінію та зв'язувальна речовина. В зону обробки через електрод подається електричний струм напругою 12 В. Швидкість переміщення електроду вздовж деталі при обробці 2 мм/хв. В результаті виникає дуга, що ініціює процес алюмотермії.

Після проведення процесів поверхневого зміцнення досліджуваних деталей були виконані дослідження зносостійкості отриманих поверхонь.

Для цього використовувався метод штучних баз. Сутність методу полягає в тому, що на поверхню тертя наносяться поглиблення правильної форми по осі, розташованої по нормалі по поверхні тертя.

Для створення поглиблень використовувалось свердло діаметром 6 мм, виготовлене зі швидкорізальної сталі Р6М5.

Випробування на зносостійкість зразків виконувалось за методикою випробувань на машині тертя за схемою «диск-колодка». Перед проведенням досліджень визначався діаметр лунки бази. Потім дослідний зразок випробувався на зношення в парі з колодкою при навантаженні 1000 Н, частоті обертання 1400 хв⁻¹ та умовах тертя (сухе тертя). Як контртіло використовувався бархатний напилок (25 зубців на 1 см²). Напилок виготовлявся з інструментальної сталі У13 (твердість 54-58 HRC).

Зносостійкість J_s (км/мм) визначається за формулою

$$J_{Si} = \frac{\pi D n t_i}{1000 \Delta_i} \quad (1)$$

де D – діаметр дослідного зразка (мм);

n – частота обертання, хв⁻¹;

t_i – час випробування, хв.

Інтенсивність зношення V_i є величиною, оберненою до зносостійкості

$$V_i = \frac{1}{J_{Si}} \quad (2)$$

В результаті проведених досліджень визначено наступне: у результаті фрикційного електроімпульсного модифікування зносостійкість поверхонь зразків збільшується в 1,8 рази, а при методі зі застосуванням алюмотермії збільшується в 2 рази, інтенсивність зношення відповідно зменшується в 1,6 та в 1,8 рази.

ВИСНОВКИ

В роботі досліджено поверхневе зміцнення деталей з використанням фрикційного електроімпульсного модифікування (ФЕМ) та алюмотермії на відкритому повітрі. Дослідження зносостійкості поверхонь зразків методом штучних баз показує, що використання ФЕМ збільшує зносостійкість в 1,8 рази, а використання алюмотермії – у 2 рази. Інтенсивність зношення зменшується при використанні ФЕМ у 1,6 рази, а при використанні алюмотермії – у 1,8 рази.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Фесенко А.Г., Бечке К.В., Манжальївський С.В. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посібник. Дніпро: РВВ ДНУ, 2015. 104 с.
2. Ковалевський С.В., Тулупов В.І., Онищук С.Г. Дослідження методу фрикційного електроімпульсного модифікування // Комплексне забезпечення якості технологічних

процесів та систем // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції – Чернігів: Вид-во ЧДТУ, 2017. – Т.1. – С.146-147.

3. Тулупов В., Онищук С. Дослідження методу поверхневого зміцнення деталей із використанням алюмотермії // *Технічні науки та технології. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – № 2(24). – С. 17-22. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2\(24\)-17-22](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2(24)-17-22).*

Трембач І.О., Гринь О.Г. (Донбаська державна машинобудівна академія, м.м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕКЗОТЕРМІЧНОЇ ДОБАВКИ MnO_2+Al В ОСЕРДІ САМОЗАХИСНОГО ПОРОШКОВОГО ДРОТУ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ВИСОКОМАНГАНОВОЇ СТАЛІ

Показано, що підвищити продуктивність механізованого наплавлення високоманганової сталі раціонально за рахунок додавання в осердя порошкового дроту екзотермічної добавки MnO_2+Al . Додатковий тепловий ефект від екзотермічної реакції дозволяє зменшити відставання плавлення між осердям та оболонкою порошкового дроту. Важливим є дослідження впливу екзотермічної добавки на показники плавлення самозахисного порошкового дроту, морфологію та розподіл неметалевих включень та структуру високоманганового наплавленого металу.

It is shown that it is rational to increase the productivity of mechanized surfacing of high-manganese steel by adding MnO_2+Al exothermic additive to the cores of the flux-cored wire. The additional thermal effect of the exothermic reaction allows to reduce the melting lag between the core and the shell of the flux-cored wire. It is important to study the influence of the exothermic additive on the melting parameters of the self-shielding flux-cored wire, the morphology and distribution of non-metallic inclusions, and the structure of the high-manganese deposited metal.

Сучасний стан відновлення деталей машин з високоманганових сталей з використанням механізованого способу наплавлення ставить перед собою завдання як поліпшення якості наплавленого металу і збільшення довговічності відновленого шару, так і підвищення продуктивності наплавлення [1, с. 5]. Підвищити продуктивність наплавлення можливо за рахунок використання форсованого режиму та додаткового теплового ефекту при додаванні в осердя порошкового дроту екзотермічної добавки. Враховуючи обмеження величини зварювального струму внаслідок збільшення відставання швидкості плавлення оболонки та осердя порошкового дроту (ПД), раціональним шляхом підвищення продуктивності наплавлення є додавання екзотермічної добавки (ЕД) в осердя ПД [2, с. 31].

Один із перспективних напрямів при розробці зварювальних і наплавочних матеріалів – є використання додаткової теплової енергії для плавлення електродів, яка виділяється при екзотермічних реакціях [3, с. 1].

Актуальність використання екзотермічних добавок в зварювальних матеріалах підтверджено роботами [4-6].

В роботах [7-8] показана важливість підвищення зносостійкості деталей машин з високоманганових сталей, що працюють переважно в умовах ударно-абразивного зносу, шляхом наплавлення металу, здатного до

динамічних деформаційних мартенситних перетворень, та формування багатофазної структури.

Подібні структури створюються з використанням економно легованих сплавів системи легування С-Fe-Mn-Cr [9, с. 26]. Основним легуючим елементом системи С-Fe-Mn-Cr є манган.

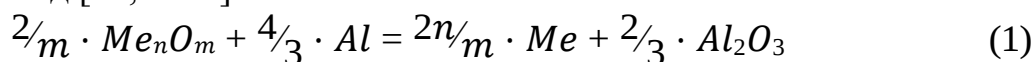
Широке поширення для наплавлення високоманганових сталей отримали порошкові дроти з мангану, в осердя яких додають манган у вигляді феросплавів, лігатур і металевого порошку різного ступеня чистоти. З огляду на значні втрати та зростаючу вартість мангану одним з актуальних завдань є його раціональне використання.

Збільшити додаткову теплову енергію для плавлення ПД та зменшити угар мангану при наплавленні високоманганового металу можна шляхом введення в осердя порошкового дроту оксиду мангану [10, с. 14].

Використання в якості екзотермічної добавки компонентів, які при відновленні забезпечують додаткове легування наплавленого металу, є раціональним [11, с. 41].

Отже, для практичного застосування представляє інтерес технологія наплавлення високо манганового металу шляхом використання самозахисного порошкового дроту, в осердя якого додатково вводиться оксид мангану (MnO_2) та алюміній (Al).

Загальний вигляд рівняння взаємодії оксидів з алюмінієм має наступний вигляд [12, с. 82]:



де m та n – стехіометричні коефіцієнти.

Самовільний перебіг цієї реакції можливий за умови високої термодинамічної міцності оксидів алюмінію в порівнянні з оксидами металів, що відновлюються [13, с. 12].

Метою роботи є обґрунтування можливості використання при наплавленні високоманганових сталей екзотермічної добавки $MnO_2 + Al$ в складі осердя самозахисного порошкового дроту.

Аналіз ефективності використання екзотермічної добавки полягає у визначенні кількості теплоти екзотермічної реакції, що виділяється з одиниці маси речовин, що беруть участь в хімічному перетворенні [14, с. 25].

Питомий тепловий ефект q (термічність), що характеризує алюмотермічний процес, можна визначити [12, с. 82] за формулою:

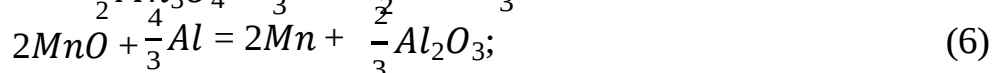
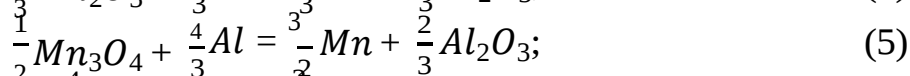
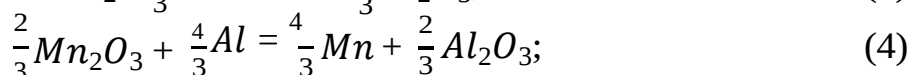
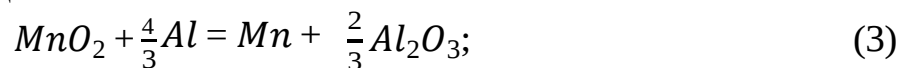
$$q = - \frac{\Delta H_{298}^0}{\sum M} \quad (2)$$

де ΔH_{298}^0 – тепловий ефект реакції, кДж/моль;

$\sum M$ – сума молекулярних мас усіх реагуючих речовин, г/моль.

Відповідно до правила С. Ф. Жемчужного, для успішного розвитку металотермічного відновлення без зовнішнього підігріву, термічність шихти повинна бути більше, ніж 2300 Дж/г [15, с. 101].

Реакції алюмінотермічного відновлення мангану з оксидів у розрахунку на 1 моль кисню наведено нижче:



В таблиці 1 наведено дані для виконання термодинамічних розрахунків за даними роботи [12, с. 270-273].

Таблиця 1 – Термодинамічні дані [12, с. 270-273]

Оксид / метал	M , г/моль	ΔH_{298}^0 , кДж/моль
MnO_2	86,94	-521,84
Mn_2O_3	157,88	-971,75
Mn_3O_4	228,81	-1388,55
MnO	70,94	-385,35
Al_2O_3	-	-1676,80
Al	26,98	-

Стандартні значення теплових ефектів для реакцій (3)-(6) розраховуються за формулою:

$$\Delta H_{298}^0 = (\Delta H_{298}^0)_{Al_2O_3} - (\Delta H_{298}^0)_{MeO} \quad (7)$$

де $(\Delta H_{298}^0)_{Al_2O_3}$ та $(\Delta H_{298}^0)_{MeO}$ – відповідно теплові ефекти реакцій утворення оксиду Al_2O_3 та MeO (оксид мангану відповідної реакції).

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.

Результат розрахунку суми молекулярних мас вихідних речовин для реакцій (3)-(6) наведені в таблиці 2.

Надалі, виходячи із значень теплових ефектів та молекулярних мас, розраховані значення термічності шихти для кожної реакції за формулою (2). Результати розрахунку занесені до таблиці 2.

В таблиці 2 наведені результати розрахунків стандартних значень теплових ефектів, сум молекулярних мас та термічність шихти для кожної реакції.

Таблиця 2 – Результати розрахунків для реакцій

№ з/п	Реакція	$-\Delta H_{298}^0$, кДж/моль	ΣM , г/моль	q , Дж/г
1	$MnO_2 + 4/3Al$	596,0	122,90	4580
2	$2/3Mn_2O_3 + 4/3Al$	339,8	141,23	2406
3	$1/2Mn_3O_4 + 4/3Al$	423,6	150,40	2816
4	$2MnO + 4/3Al$	347,2	177,85	1952

З результатів розрахунків (таблиця 2) випливає, що самовільний перебіг реакції (1) металотермічного відновлення мангану алюмінієм можливий у разі використання оксидів MnO_2 , Mn_2O_3 та Mn_3O_4 .

Реакція відновлення MnO алюмінієм не забезпечує виділення потрібної кількості тепла і без додаткових впливів (введення в шихту легко відновлюваних оксидів, зовнішній підігрів) не набуває розвитку.

Застосування MnO_2 призводить до бурхливого розвитку алюмінотермічного процесу з викидами та значним випаром мангану [12, с. 84].

Манганові руди зазвичай містять манган як MnO_2 [16, с. 82]. Тому для алюмінотермічного процесу такі руди піддають термічній обробці – відпалу при 1000-1100 °С, щоб перевести MnO_2 в Mn_3O_4 .

Враховуючи те, що відпал MnO_2 до Mn_3O_4 призводить до додаткових витрат, актуальним є застосування в якості окислювача MnO_2 .

Враховуючи паро фазний режим горіння екзотермічної добавки MnO_2+Al [10, с. 14], постає питання можливості його використання.

Вирішення цієї проблеми можливо за рахунок використання:

1. екзотермічної добавки з комбінованим окислювачем;
2. екзотермічної добавки з комбінованим відновником;
3. компонентів екзотермічної добавки різних гранулометричного розміру та стехіометричного співвідношення компонентів.

Переваги використання екзотермічних добавок з комбінованим окислювачем ($CuO+Fe_2O_3$) [11, с. 41], ($Fe_2O_3+SiO_2$) [17, с. 129] дозволяють регулювати властивості можливих продуктів згорання теплових складів.

Авторами роботи [18, с. 292] показано, що використання суміші $Al+Si$ в якості відновника призводить до підвищення ступеня вилучення мангану з оксиду мангану, а також дозволяє підвищити коефіцієнт використання порошків відновника.

В роботі [19, с. 45] показано, що найбільшою швидкістю згорання відрізняються суміші компонентів стехіометричного складу. При цьому, виявлено закономірне зменшення швидкості процесу при збільшенні гранулометричного розміру відновника.

Таким чином, з метою підвищення показників плавлення, забезпечення економії ресурсів та забезпечення необхідного вмісту мангану при наплавленні високоманганових сталей, перспективним є застосування екзотермічної суміші на основі оксиду мангану (MnO_2) та алюмінію (Al) в складі осердя самозахисного порошкового дроту.

У подальшому актуальними є дослідженнями впливу комбінованої екзотермічної добавки на основі MnO_2+Al різного гранулометричного розміру на комплекс зварювально-технологічних характеристик та показників плавлення ПД, формування структури, фізико-механічні характеристики наплавленого металу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Трембач Б. О. Підвищення зносостійкості деталей машин переробки твердих корисних копалин шляхом наплавлення самозахисним порошковим дротом [Електронний ресурс] : дис. ... д-ра філософії : спец. 132 : галузь знань 13 / Богдан Олександрович Трембач ; наук. керівник Гринь О. Г. ; Донбас. держ. машинобуд. акад., Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Краматорськ, 2021. 236 с.
2. Гринь О. Г., Трембач І. О. ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІКОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ЗАЗНАЮТЬ УДАРНО-АБРАЗИВНИЙ ВПЛИВ. Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 21 – 24 грудня 2020 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА, 2020. 112 с. С. 23.
3. Трембач І. О., Гринь О. Г. Мультифазна структура манганової сталі – запорука підвищення її зносостійкості. Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 20 червня 2022 р./за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić. Краматорськ: ДДМА, 2022. С. 194–197.
4. Гринь О. Г., Трембач І. О. Аналіз сплавів для наплавлення, рекомендованих EN 14700:2014. Зварювання та споріднені технології: перспективи розвитку : тези доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, (Краматорськ, 19–20 жовт. 2021 р.). М-во освіти і науки України [та ін.] / за заг. ред. д-ки техн. наук Н. О. Макаренко. Краматорськ: ДДМА, 2021. 75 с. С. 24-26.

5. *Теоретичні основи процесів кольорової металургії: підручник / В. С. Ігнат'єв, В. І. Пожуєв, В. Н. Бредихін та ін.; за ред. д.т.н., професора І. Ф. Червоного. Запоріз. держ. інж. акад. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 200 с.*

Ходунов А.О., Таратута К.В. (Запорізький національний університет, кафедра металургійного обладнання, м. Запоріжжя, Україна)

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ВОЛОК ДЛЯ ВОЛОЧІННЯ ФАСОННИХ ПРОФІЛІВ

В роботі проведено дослідження твердосплавних волок з метою визначення їх оптимальних геометричних параметрів. Проведено визначення навантажень у перерізі волочильного інструменту при волочінні шестигранного профілю. Запропонована оптимізація габаритних розмірів волочильного інструменту.

In the work, a study of hard alloy wires was carried out in order to determine their optimal geometric parameters. The loads in the cross-section of the drawing tool when drawing a hexagonal profile were determined. Optimization of overall dimensions of the drawing tool is proposed.

Актуальність роботи. На сьогодні все ширше розвивається процес виробництва профільних виробів. До фасонних профілів відносяться як профілі загального призначення так і профілі спеціального призначення. До профілів загального призначення відносяться профілі простої геометричної форми, як то квадрат, трикутник, шестигранних, трапеція. До профілів спеціального призначення відносять профілі більш складної форми. Удосконалення розмірів інструменту (волока) для виробництва фасонних профілів дозволить зменшити витрати на матеріал при їх виготовленні.

Мета. В роботі досліджувався напружений стан твердосплавних волок, з метою оцінки можливості оптимізації їх геометричних параметрів.

Дослідження. Загалом форми профільних виробів, що отримуються волочінням досить різноманітний (рис. 1). Найбільш розповсюдженим у волочильному виробництві є виробництво дроту круглого поперечного перетину.

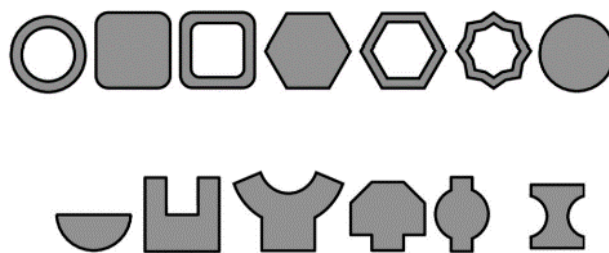


Рисунок 1 - Форми профілів, що отримують волочінням

В свою чергу пресуванням отримують набагато більше профільних виробів різноманітної форми. Широке застосування алюмінієвих профілів різноманітної форми у будівельній галузі та мебельні промисловості призвело до розширення сортаменту виробів. Дослідження геометричних

параметри матриці та оправки, для пресування профільних виробів у поточний матеріал не увійшли.

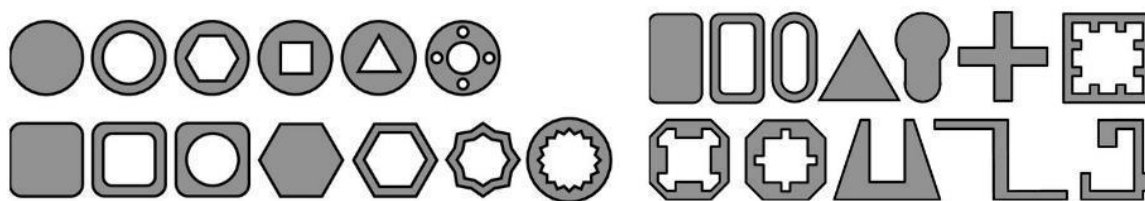
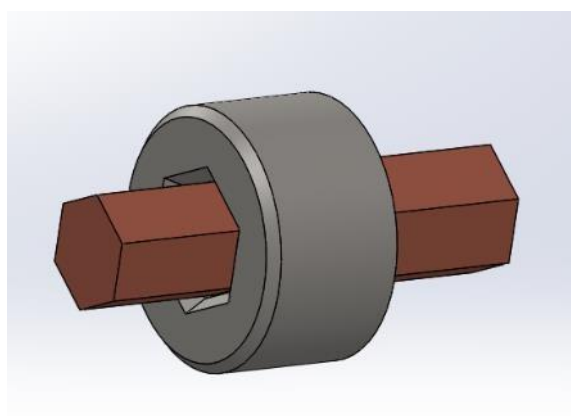
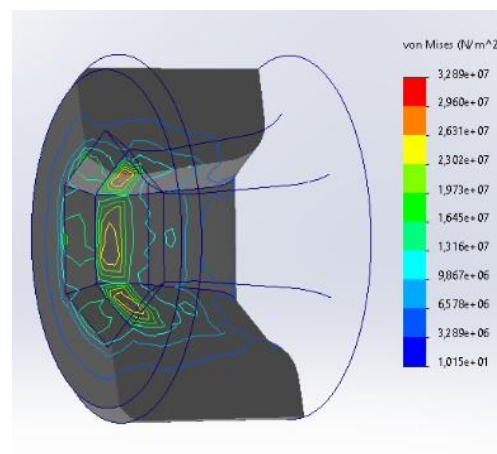


Рисунок 2 - Форми профілів, що отримують пресуванням

У поточному дослідженні зосереджено увагу саме на дослідженні волочильного інструменту.



а



б

а- загальний вид волокни із шестиграним профілем, б – епюра напружень при критичних навантаженнях

Рисунок 3 - Модель твердосплавної волокни для волочіння шестиграних прутків

Геометричні параметри інструменту відповідають ГОСТ 5426-76 волокна номер 1980-0323.

У комп'ютерному дослідженні розглянуто випадок з близькою до максимальної інтенсивності навантаження. При цьому відносний обтиск складає 18%.

Аналіз отриманих епюр напружень у поперечному перерізі (рис. 4) показує зменшення величини напружень у напрямку зовнішньої кромки волокни. Так в серединній частині спостерігається зона з мінімальним значенням напружень, а на зовнішніх кромках величина напружень менше ніж їх мінімальне значення відображене на епюрі. Найбільші напруження виникають в деформаційній зоні.

Для забезпечення достатньої міцності та витривалості волочильного інструменту можливе зменшення площі його перерізу, за рахунок зменшення

зовнішнього діаметра волоки.

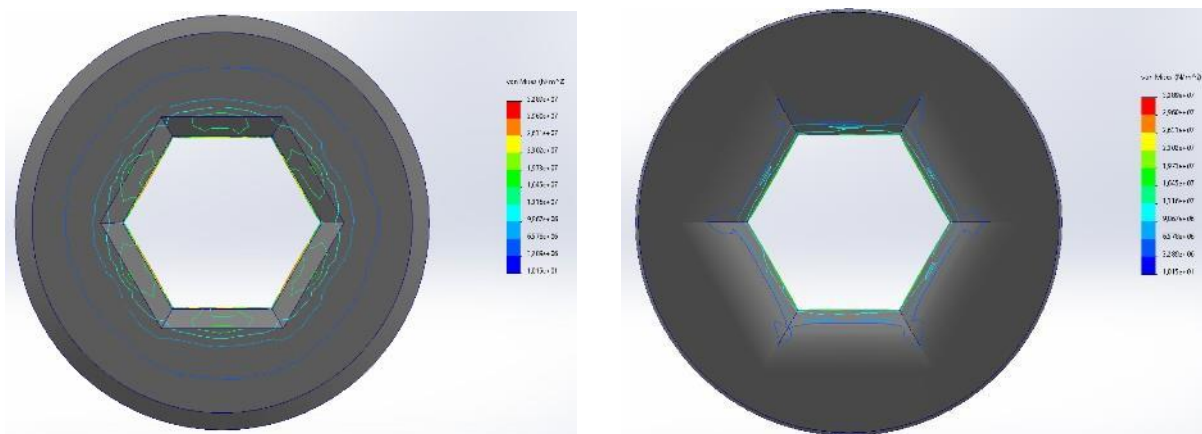


Рисунок 4 - Епюри напружень у зоні входу заготовки (а) та у зоні виходу заготовки з волоки (б)

Висновки. Як показують дослідження, найбільші напруження виникають в деформаційній зоні, тобто в зоні контакту каналу волочильного інструменту та металу, що деформується. Для зменшення витрат на виготовлення волочильного інструменту можливе зменшення зовнішнього діаметру волоки, при цьому рівень напружень залишиться в межах допустимих. Таким чином зменшивши переріз волочильного інструменту на 15-20%, отримуємо варіанти конструкції з менш жорстким перерізом який задовольняє вимогам напружено-деформованого стану. Для ще більшого зниження витрат твердого сплаву при виготовленні волоки доцільно застосовувати збірну конструкцію, в якій лише внутрішня частина збірної волок виготовляється з твердого вальфрамкобальтового сплаву.

СПИСОК ПОСИДАНЬ

1. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 1. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012.- 574с.
2. EBSD Analysis of the Submicron Width Fiber Shaped Grain Copper Fabricated by Drawing / M. Matsushita, T. Kuji, H. Kuroda [et. al.] // MSA. 2011. V. 2. P. 911-916
3. A computational study of tool for wire drawing O. M. Ogorodnikova, E. M. Borodin, A. A. Gudim. Computer Research and Modeling, 2014, vol. 6, no. 6, pp. 983–989.

4. Chigarev V. V. Investigation of the process of drawing flux-cored wire for welding copper to steel / V. V. Chigarev, P. A. Gavrish, E.P. Gribkov // *Welding International*, Volume 26, Issue 9, 2012 - 718-722 pp.

5. Таратута К. В., Востоцький С. М. Математичне моделювання напруженого стану профілю при вібраційному волочінні. *Modern research in world science. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference* м. Львів: SPC "Sci-conf.com.ua", 2022. С. 341-347.

Цибуленко В.О., Воронцов Б.С. (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м.Київ, Україна)

МЕХАНІЧНА ОБРОБКА СЕЛЕКТИВНОЇ ЛАЗЕРНОЇ ПЛАВЛЕНОЇ ДУПЛЕКСНОЇ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ

У цій статті представлений літературний огляд механічної обробки адитивно виготовленої селективної лазерної павленої дуплексної нержавіючої сталі

This article presents a literature review of machining of additively manufactured selective laser fused duplex stainless steel

Дуплексні нержавіючі сталі відносяться до категорії важкооброблюваних, враховуючи втрату чутливого балансу між складовими фазами через теплові та механічні робочі ефекти. Селективне лазерне плавлення стає адитивним процесом задля досягнення рішень із виробництва близько сітчастої форми з цими сталями. Тим не менш, пост друкована обробка має важливе значення різною мірою, і реакції оброблюваності лазерних розплавлених дуплексних нержавіючих сталей вимагають достатньої уваги.

Використання дуплексної нержавіючої сталі набуло значної популярності останнім часом через двофазну аустео-феритну мікроструктуру, придатну для застосування, що вимагають високої корозійної стійкості та механічної міцності. Однак дуплексні сталі без фарбування страждають від поганої оброблюваності через їх високу ударну в'язкість, швидкість загартування і низьку теплопровідність [1]. Робоче загартування широко відоме як найбільш шкідливу якість цих сплавів, при цьому деформація збільшує твердість і міцність аустенітової фази [2]. Наслідком цієї тенденції до зміцнення роботи є утворення мікротріщин вздовж оброблюваних поверхонь, що виникає в результаті різниці в деформованій фазі d-фериту та g-аустеніту, як це спостерігалось Jiang та ін., при подрібненні гарячої ізостатичної обробленої дуплексної нержавіючої сталі [3]. Іншим механізмом поганої оброблюваності дуплексних нержавіючих сталей є утворення вбудованої кромки (BUE), як встановлено Krolczyk і Legutko, щоб сприяти поганій шорсткості оброблюваної поверхні та акцентуванню зі збільшенням швидкості різання та відсутністю охолоджуваної рідини [4].

Адитивне виробництво дозволяє виробляти майже сітчасту форму і є перевагою скорочення кількості етапів обробки, необхідної кінцевої деталі. Крім того, точкове ущільнення металевих порошків за допомогою таких процесів, як селективне лазерне плавлення, може впливати на

мікроструктури та реакції обробки. Більшість дослідницької уваги було спрямовано на проектування сплавів і фундаментальне розуміння процесу лазерного плавлення, тоді як менше уваги приділяється оброблюваності оброблених лазером компонентів. В теперішній час ситуація змінюється в міру того, як досліджується оброблюваність сплавів, розплавлених лазером, оцінюючи коливання як технологічних умов, так і параметрів обробки за силами різання, якості поверхні та інших ключових реакцій [5]. При торцевому фрезеруванні металу Ti6Al4V Milton та ін. повідомили про відсутність пластичної деформації вздовж оброблюваної поверхні розплавлених лазером зразків через більш дрібнозернисту мікроструктуру. Тим не менш, більш висока тенденція до зміцнення роботи була очевидною в SLM, що призвело до збільшення осьової сили на 22% порівняно з кованим сплавом [6]. Хромомолібден та мирізуєчі сплави, які композиційно співставні з дуплексною нержавіючою сталлю, були вивчені Aziz та ін., аналізуючи температури різання та сили різання під час фрезерування кулькового кінця. Покращена оброблюваність була очевидна в твердішій мартенівській сталі з нижчими температурами різання та обробленою залишковою напругою [7]. Оскільки Davidson та ін. та Saeidi та ін. повідомили, що розплавлена лазером дуплексна нержавіюча сталь переважно містить ферит зі слідами аустенітних зерен, що виникають в результаті швидкого процесу охолодження, характеристики оброблюваності можуть бути інтерпретовані як більш узгоджені з нержавіючою феритною сталлю [8]. Феритні нержавіючі сталі зазвичай легше обробляти, ніж порівняні аустенітні нержавіючі сталі, через нижчу відносну міцність, зменшене гартування при роботі і нижчий адгезивний і абразивний знос інструменту, як зазначено Lung [9]. Це передбачає поліпшену обробку в лазерно-розплавлених компонентах з доданою здатністю відновлювати мікроструктуру до рівноваги після відпалу розчину термічною обробкою. Нещодавно автори опублікували результати з механічною обробкою лазерно-розплавлених дуплексних нержавіючих сталей, де було категорично згадано можливий зв'язок металографічних реакцій із силами різання [10].

У процесі селективного лазерного плавлення (SLM) лазерний промінь, що проходить крізь лінзову систему, відбивається на поверхні платформи дзеркала сканера. Дзеркала регулюють точкові рухи лазерного променя у напрямку X та Y. Платформа переміщається на сходінку вниз, коли перший шар порошку вибірково розплавляється. Пристрій повторного покриття виштовхує новий шар порошку з дозатора порошку у верхню частину раніше побудованої поверхні шару. Процес лазерного плавлення продовжується [11]. Аргон (інертний) газ наповнює камеру системи SLM. У деяких машинах газ аргон використовується для запобігання окисленню металів під час плавлення та затвердіння.

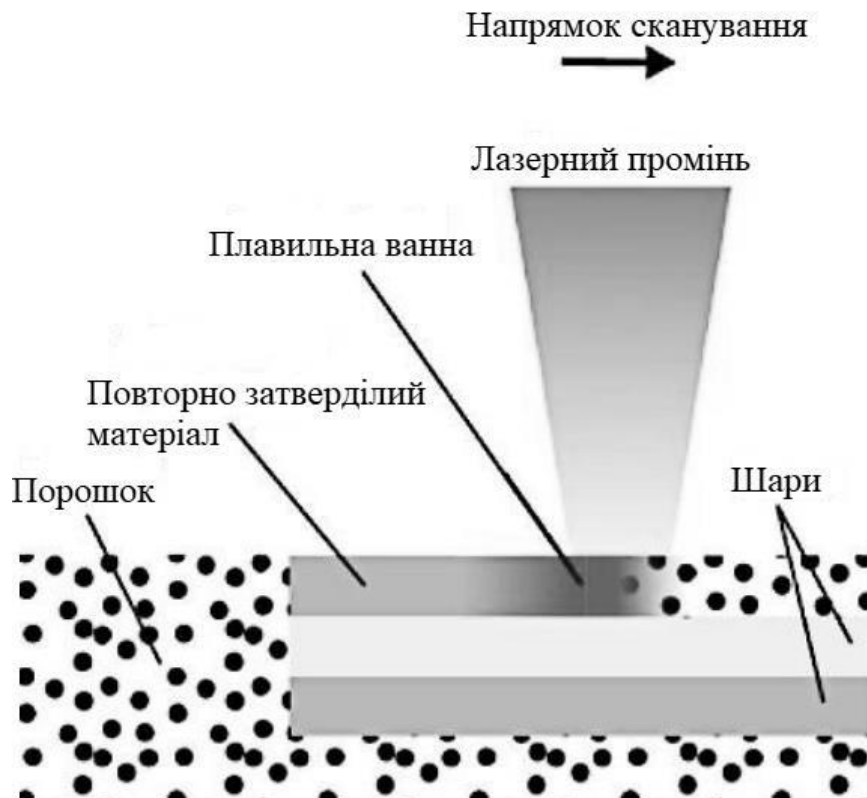


Рисунок 1 - Метод селективного лазерного плавлення [11]

Порівняльна оцінка SLM та кованих дуплексних сталей. Крутний момент та подача, виміряні в ході випробувань механічної обробки, свердлінням SLM і кованих зразків SAF 2507, представлені на Рис.2 і 3 відповідно. [12]

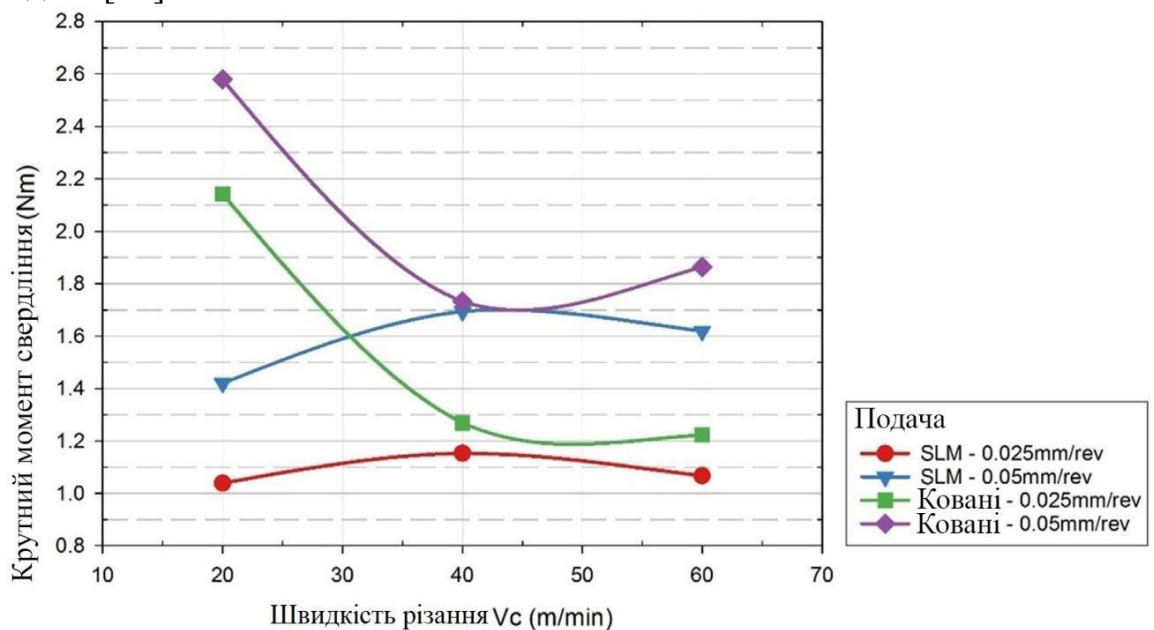


Рисунок 3 - Зміна моменту, що крутить, свердління при обробці (а) кованих і (б) зразків SLM. [12]

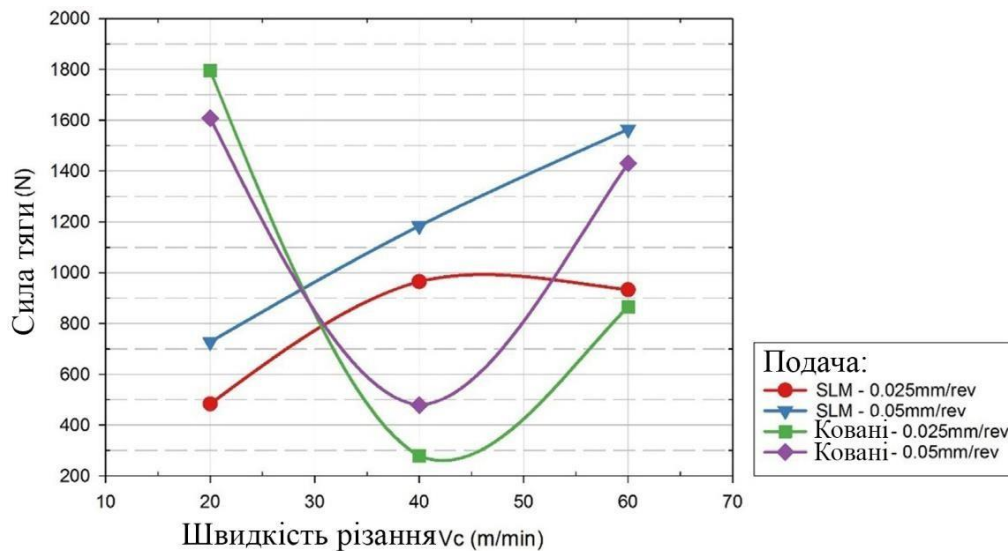


Рисунок 4 - Зміна сили тяги при обробці (а) кованих та (б) зразків SLM. [12]

Розглядаючи результати моменту, що крутить, представлені на рис.3, ковані зразки показали зниження крутного моменту зі збільшенням швидкості різання, досягнувши мінімуму на рівні близько 45 м/хв з подальшим незначним збільшенням. Результати були схожі для обох подач, проте більш висока подача призвела до вищих значень моменту, що крутить. Для порівняння, лазерні розплавлені зразки реагують, на відміну від кованих зразків, з невеликим збільшенням моменту, що крутить, у міру збільшення швидкості з 20 до 40 м/хв, піком близько 45 м/хв і невеликим опущенням до кінця з більш високим завантажувальним корпусом, при 0,05 м/хв.

Виходячи з вище сказаного можна сказати, що методи механічної обробки селективної лазерної плавленої дуплексної нержавіючої сталі має позитивну тенденцію розвитку так як і SLM-технологія в цілому. Також потрібно звернути увагу на тенденції збільшення досліджень на тему SLM-технології. В цілому, лазерна розплавлена дуплексна мікроструктура з нержавіючої сталі призводить до значного поліпшення оброблюваності, порівняно з еквівалентним кованим матеріалом.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Paro, J., Hänninen, H., & Kauppinen, V. (2001). Tool wear and machinability of HIPed P/M and conventional cast duplex stainless steels. *Wear*, 249 (3-4), 279-284. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(01\)00570-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00570-1)
2. Доліншек, С. (2003). Work-hardening в drilling of austenitic stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 133(1-2), 63-70. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00245-5](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00245-5)
3. Jiang, L., Paro, J., Hänninen, H., Kauppinen, V., & Oraskari, R. (1996). Comparison of grindability of HIPed austenitic 316L, duplex 2205 and super duplex 2507 and as-cast 304

stainless steels using alumina wheels. *Journal of materials processing technology*, 62(1-3), 1-9. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)02199-X](https://doi.org/10.1016/0924-0136(95)02199-X)

4. Krolczyk, GM, & Legutko, S. (2014). Experimental analysis by measurement of surface roughness variations in turning process of duplex stainless steel. *Metrology and Measurement Systems*, 21 (4), 759-770. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.2478%2Fmms-2014-0060>

5. Bai, Y., Zhao, C., Yang, J., Hong, R., Weng, C., & Wang, H. (2021). Мікроструктура і технічна здатність selective laser melted high-strength maraging steel with heat treatment. *Journal of Materials Processing Technology*, 288, 116906. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116906>

6. Milton, S., Morandau, A., Chalon, F., & Leroy, R. (2016). Influence finish machining на surface integrity of Ti6Al4V виробляється з selective laser melting. *Procedia Cirp*, 45, 127-130. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.340>

7. Aziz, MSA, Ueda, T., Furumoto, T., Abe, S., Hosokawa, A., & Yassin, A. (2012). Study on machinability of laser sintered materials fabricated by layered manufacturing system: influence of different hardness of sintered materials. *Procedia CIRP*, 4, 79-83. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.10.015>

8. Davidson, K., & Singamneni, S. (2016). Selective laser melting of duplex stainless-steel powders: an investigation. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(12), 1543-1555. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/10426914.2015.1090605>

9. Lung, D. (2014). Machinability of high-alloyed steel and stainless steel. *The International Academy for Production Engineering, Laperrière L., Reinhart G.(eds) CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI, 10, 978-3. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.143>

10. Davidson, KP, Littlefair, G. & Singamneni, S. (2021). На складності selective laser melted duplex stainless steels. *Materials and Manufacturing Processes*, 1-17. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/10426914.2021.2001513>

11. Noll, I.; Bartel, T.; Menzel, A. A computational phase transformation model для selective laser melting processes. *Computational Mechanics 2020*, 1321-1342. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s00466-020-01903-4>.

12. Davidson, KP, & Singamneni, S. (2022). Механічні інструменти selective laser melted super duplex stainless steels. *Journal of Materials Research and Technology*. [Електронний ресурс]. - Режим доступу <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.01.025>

Чепеленко А. Ю., Холмовой Ю.П. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЯ ХІМІКО-АНАЛІТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ E500i. І. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Харчова добавка E500i – карбонат натрію – сильний електроліт, аніон якого протонується у два ступені з константами протонування, які відрізняються одна від одної на 4 порядки, що дає можливість при титруванні отримувати два стрибки титрування, або в диференційній формі – два піки. Показано, що однакові об'єми титранта на обидва ступені титрування підтверджують відсутність сторонніх протолітів у продукті та його високу якість.

Food additive E500i - sodium carbonate - is a strong electrolyte. Its anion is protonated in two stages. Their protonation constants differ by 4 orders. This allows two titration jumps or, in differential form, two peaks to be obtained. It is shown that the same volumes of titrant for both titration stages confirm the absence of foreign protoliths in the product and its high quality.

Якість продуктів харчування залежить як від технології переробки харчової сировини, так і від її якості. Продукти харчування – це продукти, виготовлені з натуральної харчової сировини, навіть якщо вона пройшла технологічну обробку, з додаванням або без різних добавок. Як такі добавки можуть бути використані природні або синтетичні речовини, які зазвичай не використовують як харчові продукти. Їх спеціально вводять у сировину, напівпродукти або готові харчові продукти або в технологічних цілях, або для збереження природних якостей харчових продуктів, а також для покращення їх органолептичних властивостей та стабільності у процесі зберігання.

Одна з таких добавок – це E500i. Це ніщо інше, як карбонат натрію Na_2CO_3 . Його застосовують в основному як розпушувач та регулятор кислотності. Перелік продуктів, до яких додають E500i, широкий і різноманітний: сире та оброблене м'ясо, яєчні та кисломолочні продукти, сири, вершкове масло, продукти переробки картоплі, хлібобулочні вироби, напівпродукти з круп, борошна, крохмалю, кондитерські вироби, фруктові соки та нектари, фруктові та овочеві консерви, сушені фрукти та овочі, різні напої та десерти, і навіть дитяче харчування для немовлят та дітей молодшого віку, а також дієтичні продукти спеціального лікувального призначення та спеціальні суміші для дітей раннього віку [1]. Причому цю добавку не відносять ні до генотоксичних, ні до канцерогенних сполук, і вважають за безпечну для здоров'я при вживанні з їжею. Відомості про неї містяться у зарубіжних довідниках, таких як Codex Alimentarius. International Food Standards. – Class Names and the International Numbering System for Food

Additives: CXG 36-1989 і Codex Alimentarius. International Food Standards. – General Standard for Food Additives: Codex STAN 192-1995 [2].

При зберіганні продукт Е500і, який має певну гігроскопічність, може поглинати з атмосфери вуглекислий газ:



в результаті чого Е500і може містити деяку кількість домішки NaHCO_3 , зміст якої можна визначити методами аналітичної хімії.

Один із найпоширеніших методів хіміко-аналітичного контролю складу добавки Е500і – це титриметричний аналіз [3].

Метою роботи є теоретичне обґрунтування застосування титриметричного аналізу харчової добавки Е500 для визначення в ній наявності або відсутності сторонніх протолітів методом побудови кривої кислотно-основного титрування по обох ступенях дисоціації.

В основі титриметричного методу аналізу лежить закон еквівалентів:

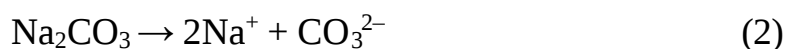
$$c_X V_X = c_T V_T, \quad (1)$$

де c_X і c_T – еквівалентні концентрації аналіту та титранту (відповідно);

V_X і V_T – об'єми проби аналіту та титранту (відповідно).

Графічно крива протолітичного титрування є залежністю рН аналізованого розчину від об'єму доданого титранту V_T .

Карбонат натрію як сильний електроліт у водних розчинах дисоціює націло:



Карбонат-іон, що утворився, – аніон слабкої двоосновної кислоти, у водному розчині протонується ступінчасто з константами протонування pK_1 і pK_2 [4] (відповідно):

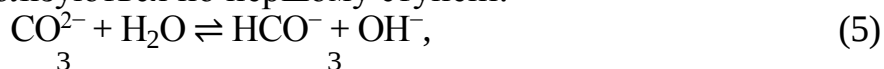


тому він титрується також у два ступені. Причому об'єми титранта, що пішов на титрування до першої точки еквівалентності (V_{T1}) і від першої до другої ($V_{T2} - V_{T1}$) повинні дорівнювати один одному, що вказуватиме на відсутність сторонніх протолітів у зразку.

Побудова кривої титрування проби розчину карбонату натрію, об'єм якої становить V_X , а концентрація c_X , розчином соляної кислоти (титрант) з молярною концентрацією c_T складається з 6 етапів.

1. Розрахунок рН вихідного розчину проби.

До початку титрування в розчині проби переважно присутні аніони CO_3^{2-} , які гідролізуються по першому ступені:



завдяки чому в розчині присутні аніони OH^- , які далі титруватимуться. Гідроліз по другому ступені не відбуватиметься, оскільки він практично

повністю пригнічується гідролізом по першому ступені через різницю pK_1 і pK_2 майже на чотири порядки: (3) і (4). Тому внесок у рН розчину другого гідролітичного ступеня можна не враховувати. Отже, значення рН розчину можна розрахувати за відомою формулою [5] для гідролізу аніону CO_3^{2-} :

$$pH = 7 + 0,5(pK_1 + \lg c) = 7 + 0,5(10,32 + \lg c), \quad (6)$$

де c – концентрація вихідного розчину карбонату натрію.

2. Розрахунок рН до першої точки еквівалентності.
Частина аніонів CO_3^{2-} відтитрована до HCO_3^- , тому в розчині є буферна суміш HCO_3^- (слабка одноосновна кислота) + CO_3^{2-} (сіль слабкої кислоти).

Значення рН такої буферної суміші розраховується за відомою формулою:

$$pH = pK_2 - \lg(c_a/c_b), \quad (7)$$

де: $c_a = [HCO_3^-]$; $c_b = [CO_3^{2-}]$.
Тоді:

$$c_a = \frac{c_T V_T}{V_X + V_T} \quad (8)$$

$$c_b = \frac{c_V V_X - c_T V_T}{V_X + V_T} \quad (9)$$

3. Розрахунок рН розчину у першій точці еквівалентності.

У розчині присутній аніон HCO_3^- – амфоліт, здатний як віддавати іони H^+ :



так і приєднувати їх:



Значення рН розчину даного амфоліту розраховується за формулою:

$$pH = 0,5(pK_1 + pK_2) = 0,5(6,35 + 10,32) = 8,34. \quad (12)$$

4. Розрахунок рН від першої до другої точки еквівалентності.

Після першої ТЕ в розчині є буферна суміш H_2CO_3 (слабка кислота) + HCO_3^- (недотитований аніон цієї кислоти). Значення рН цієї буферної суміші розраховується за відомою формулою:

$$pH = pK_1 - \lg(c_a/c_b), \quad (13)$$

де: $c_a = c_{H_2CO_3}$;

$c_b = c_{HCO_3^-}$;

Концентрації утвореної H_2CO_3 і іонів HCO_3^- , що залишилися в розчині, відповідно дорівнюють:

$$c_a = \frac{c_T V_T - c_X V_X}{V_X + V_T}, \quad (14)$$

$$c_b = \frac{2c_X V_X - c_T V_T}{V_X + V_T}. \quad (15)$$

5. *Розрахунок рН у другій точці еквівалентності.*

У другій ТЕ аніони CO_3^{2-} повністю відтитровані до H_2CO_3 , яка дисоціює як слабка одноосновна кислота. Дисоціація H_2CO_3 по другому ступені пригнічується дисоціацією по першому ступені. У такому випадку другим рівнем можна знехтувати і значення рН розчину слабкої одноосновної кислоти можна розрахувати за формулою:

$$\text{pH} = 0,5(\text{pK}_1 - \lg c_a), \quad (16)$$

де: $c_a = c_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{c_X V_X}{V_X + V_T}$

6. *Розрахунок рН розчину після другої точки еквівалентності.*

Розмір рН розчину визначається концентрацією надлишку доданої сильної кислоти. Отже:

$$\text{pH} = -\lg c = -\lg \left(\frac{c_T V_T - 2c_X V_X}{V_X + V_T} \right). \quad (17)$$

Знаючи початкові умови (вихідні концентрацію c_X і об'єм V_X розчину Na_2CO_3 , концентрацію титранту c_T і об'єм доданого титранту V_T), можна за наведеними вище формулами розрахувати значення рН у різні моменти титрування. У табл. 1 наведені результати таких розрахунків, виконаних засобами електронних таблиць Excel:

Таблиця 1 – Значення рН і $\Delta\text{pH}/\Delta V$ розчину Na_2CO_3 в залежності від об'єму доданого титранту (V_T , мл)

V_T	pH	$\Delta\text{pH}/\Delta V$	V_T	pH	$\Delta\text{pH}/\Delta V$	V_T	pH	$\Delta\text{pH}/\Delta V$
0	11,665		10,1	7,980	1,200	20	3,923	4,506
1	11,284	0,381	10,5	7,648	0,829	20,1	3,479	4,448
2	10,932	0,352	11	7,324	0,600	20,5	2,785	1,733
3	10,698	0,234	12	6,972	0,352	21	2,491	0,588
4	10,506	0,192	13	6,738	0,234	22	2,204	0,287
5	10,330	0,176	14	6,546	0,192	23	2,041	0,163
6	10,154	0,176	15	6,370	0,176	24	1,929	0,112
7	9,962	0,192	16	6,193	0,176	25	1,845	0,084
8	9,728	0,234	17	6,002	0,192	26	1,778	0,067
9	9,376	0,352	18	5,768	0,234	27	1,723	0,055
9,5	9,051	0,649	19	5,415	0,352	28	1,677	0,046
9,9	8,334	1,792	19,5	5,091	0,649	29	1,637	0,040
10	8,100	2,341	19,9	4,374	1,792	30	1,602	0,035

та побудована крива титрування (рис. 1):

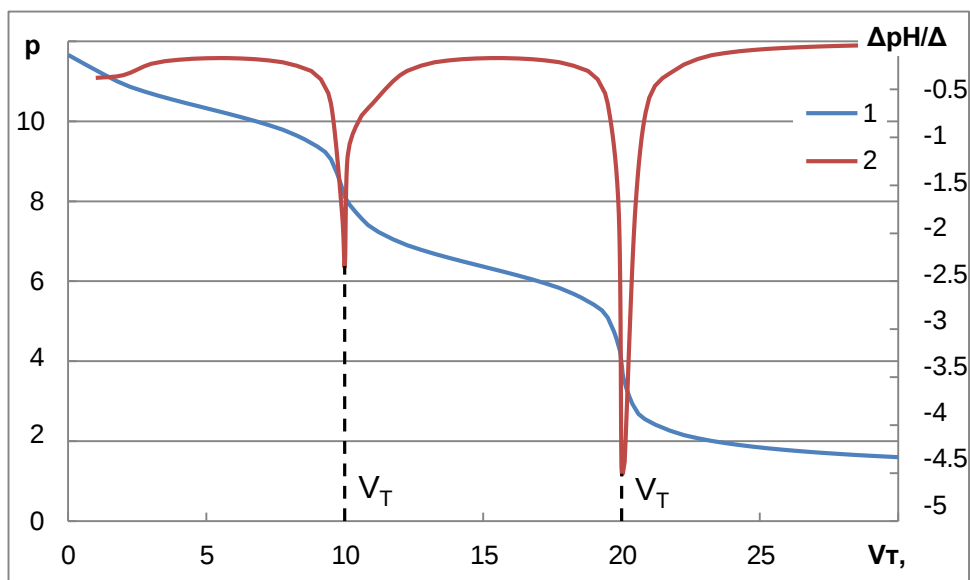


Рисунок 1 – Крива титрування (1) розчину Na_2CO_3 та її перша похідна (2)

На кривій титрування чітко видно два стрибки, але визначити за ними точки перегину, а отже, і точки еквівалентності неможливо. Зате це дуже легко зробити за піками першої похідної кривої титрування

$$\Delta p\text{H}/\Delta V = f(V_T): \quad (18)$$

вони точно співвідносяться:

$$\frac{V_{T1}}{V_{T2}} = 1:2, \quad (19)$$

що точно відповідає рівнянням (3) і (4). І якщо в процесі реального титрування розчину реального зразка буде отримано такий же результат, то це буде свідчити про відсутність у продукті сторонніх протолітів, що відповідатиме високій якості взятої для аналізу Е500і. Саме реальне титрування реального зразка буде показано в другій частині доповіді.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Е500 – Карбонат натрія. : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://food.vesti.ua/e500-karbonat-natriya/>.
2. Е500 – Карбонаты натрия. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dobavkam.net/additives/e500>.
3. Технічний аналіз харчових добавок та косметичних продуктів: Підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / В. І. Воробйова, О. Е. Чигиринець, Т. М. Пилипенко, та ін.. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 345 с.
4. Константи дисоціації слабких кислот та основ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kfh.kpi.ua/training/konst-disoc/>.
5. Алемасова А.С. Аналітична хімія: підручник для вищих навчальних закладів / А.С. Алемасова, В.М. Зайцев, Л.Я. Єнальєва та ін. – Донецьк: «Ноулідж», 2010.– 417 с.

Чередниченко І. І., Задорожня І. М. (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

АСПЕКТИ СИНТЕЗУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З УРАХУВАННЯМ ВЗАЄМОДІЇ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТА МЕХАНІЧНІЙ ЧАСТИНАХ ПРИВОДУ

Розглянуто питання забезпечення бажаних динамічних властивостей електромеханічних систем технологічних машин з використанням можливостей штучного інтелекту з урахуванням пружних зв'язків, рекомендовано при налаштуванні систем автоматичного керування враховувати демпфіруючий ефект електроприводу.

The article considers issues of ensuring the desired dynamic properties of electromechanical systems of technological machines using the capabilities of artificial intelligence, taking into account the elastic coupling, it is recommended when setting up automatic control systems to take into account the damping effect of the electric drive.

Постановка проблеми, її зв'язок з науковими і практичними роботами. Сучасний автоматизований електропривод (ЕП) є складною електромеханічною системою, яка містить різноманітні лінійні і нелінійні елементи, що забезпечують шляхом тісної взаємодії процесів електричної та механічної частин обладнання необхідні статичні і динамічні характеристики. В різних технологічних режимах в ЕП виникають динамічні навантаження, які викликають короточасні перевантаження двигуна, появу додаткових навантажень на механічну частину ЕП, що впливає на надійність і довговічність.

Особливістю динаміки ЕП технологічних машин і механізмів є взаємозв'язок, при якому реалізація проектних можливостей компонентів сучасного обладнання ускладнена через негативний вплив на динаміку пружних механічних ланок [1], що спричиняє небажане зростання динамічних навантажень і відхилення перехідних процесів від тих, що вимагає технологія, значне скорочення терміну служби механічної передачі по зносу і витривалості, аварійні режими з руйнуванням елементів передач.

Пружні механічні коливання погіршують показники точності регулювання координат ЕП, дійсні умови руху робочого органу не відповідають заданим законом. При впливі моменту електродвигуна на пружну механічну підсистему також виникають коливальні процеси, які збільшують максимальні навантаження ЕП. Обмеження динамічних навантажень за рахунок коригування швидкісних режимів машини призводить до зниження продуктивності.

Вирішити задачу обмеження динамічних навантажень в ЕП можливо ще на етапах проектування електромеханічних систем (ЕМС) за умов

детального аналізу можливих варіантів співвідношення характеристик обладнання та пошуку і цілеспрямованого вибору оптимальних співвідношень параметрів електричної і механічної частин ЕП за критерієм максимального загасання електромеханічних процесів [2, 3, 4].

Одним з напрямків досягнення бажаних динамічних характеристик ЕМС є реалізація синтезу відповідних керуючих пристроїв або регуляторів. Задача синтезу регуляторів – ключова задачею, що вирішується у теорії автоматичного керування. В широкому розумінні ця задача полягає у визначенні складу та структури системи автоматичного керування, а також параметрів всіх її складових частин, виходячи з деякого комплексу технічних вимог. Синтез автоматизованих ЕМС в інженерній практиці виконується за допомогою методів, запозичених з теорії автоматичного керування.

Сьогодні рівень розвитку комп'ютерних систем керування відкриває широкі перспективи для технічної реалізації та впровадження в різні типи технологічних машин новітніх розробок мікропроцесорної техніки, тому задача забезпечення бажаних динамічних властивостей ЕМС технологічних машин з використанням можливостей штучного інтелекту є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Бурхливий розвиток комп'ютерної техніки та вдосконалення програмних засобів у ХХ сторіччі призвів до того, що у різних галузях науки і техніки поширювалося використання систем керування з ознаками штучного інтелекту. З цим пов'язаний розвиток теорії нечітких множин, використання фаззі-регуляторів і нейронних мереж для керування ЕМС [5-7]. Зокрема, штучний інтелект використовують для усунення фрикційних автоколивань в ЕМС з нелінійним навантаженням або від'ємним в'язким тертям, для параметричної ідентифікації об'єктів керування та виконання оптимального налаштування поліноміальних регуляторів [7-13].

Формулювання раніше не вирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Необхідно зазначити, що синтез автоматизованих ЕМС з фаззі-регуляторами або штучними нейронними мережами є доцільним у випадку наявності суттєво неточної або неповної інформації про об'єкт керування. Наприклад, фаззі-регулятори дозволяють реалізовувати як лінійні, так і нелінійні залежності сигналів керування від множини вхідних сигналів. В окремих випадках стверджується, що нечітка логіка дозволяє забезпечити більшу робастність систем автоматичного керування, ніж традиційне керування. Фаззі-регулятори використовують для створення адаптивних робастних ЕМС [7, 14], оптимальних ЕП [8, 15], нелінійних та багатомасових систем, що містять обмеження регульованих координат [9, 10], проте навіть з огляду на широке впровадження і використання можливостей сучасних цифрових технологій в ЕП технологічних машин не вдається досягти докорінного вдосконалення їхніх

динамічних якостей, як ЕМС, оскільки з позицій синергетичного підходу необхідно враховувати прояви специфічної особливості динамічних систем – взаємозв'язок процесів в електричній та механічній частинах приводу [4].

Формулювання цілей статті, постановка задачі. Метою даної роботи є аналіз можливостей використання технології штучного інтелекту для налаштування систем автоматичного керування за умов врахування взаємозв'язку процесів в електричній та механічній частинах приводу та ступеню впливу електромеханічної взаємодії на показники якості ЕП технологічних машин.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Існує значна кількість наукових робіт з дослідження та аналізу ЕМС технологічних машин з точки зору пошуку напрямків, що забезпечать бажані показники якості ЕП при використанні різних підходів та критеріїв оптимальності [16-20].

Якщо беремо за основу двомасову розрахункову схему та розглядаємо процеси взаємодії в ЕМС з позицій математичного апарату теорії автоматичного керування, то для дослідження властивостей ЕМС розглядаємо характеристичний поліном (ХП) в нормованій формі [4]:

$$Q(p) = T^4 p^4 + 2\sqrt{K_B} T^3 p^3 + (1 + K) T^2 p^2 + 2\sqrt{K} T p + 1 = 0. \quad (1)$$

В у Д у В у Д В у

Мінімальна кількість показників, які задають бажане розміщення коренів ХП (1), дозволяє узагальнено аналізувати показники якості ЕП за ступенем взаємодії. Прямою і загальною оцінкою характеру перехідних процесів в ЕМС є логарифмічний декремент загасання λ . ХП ЕМС (1) залежно узагальнених показників K_B , ξ_D , γ буде мати різну комплектацію коренів, що визначає її динамічні якості. Оцінка коливальності (загасання) за λ дозволяє обмежитися аналізуванням тільки ХП системи для області реальних значень параметрів. Оскільки інерційні маси і жорсткість механічних передач часто є заданими, динамічні властивості ЕМС для фіксованих γ і T_y будуть визначатися K_B і ξ_D [4].

ХП (1) при його поданні з урахуванням умов граничного ступеня електромеханічної взаємодії [4]

$$K_B = \frac{1}{\gamma}, \quad 1 + 4\xi_D \xi_M, \quad \xi_D = \frac{(\xi_E + \xi_M)}{\sqrt{\gamma}}, \quad T_0 = T_y, \quad (2)$$

$$\Omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{T_y} = \Omega_{12} \quad (3)$$

для двох пар комплексно-сполучених коренів є складеним із двох частин, які взаємодіють [4, 21]:

$$Q(p) = (T_1^2 p^2 + 2\xi_1 T_1 p + 1)(T_2^2 p^2 + 2\xi_2 T_2 p + 1) = 0. \quad (4)$$

При істотній взаємодії підсистем частоти окремих електромагнітної та

механічної частин будуть близькими і характеристичне рівняння (4) для

випадку неповної тотожності $\xi_E \neq \xi_M$ ($\xi_E < 1,0$ і $\xi_M < 1,0$) може бути записане у вигляді:

$$Q(p) = (T_0^2 p^2 + 2\xi_E T_0 p + 1) \square (T_0^2 p^2 + 2\xi_M T_0 p + 1) = 0, \quad (5)$$

де ξ_E та ξ_M – коефіцієнти демпфування електромагнітної та механічної частин у складі ЕМС;

$T_0 = 1/\Omega_0$ – стала часу для частоти вільних коливань електромеханічної взаємодії процесів Ω_0 , заздалегідь невідомої.

Таким чином, ХП (1) при поданні у вигляді (5) вироджується в симетричну форму

$$Q(p) = (T_y^2 p^2 - \sqrt{1 - T_y^2} T_y p - 1)(T_y^2 p^2 - \sqrt{1 - T_y^2} T_y p - 1) = 0. \quad (6)$$

Корені ХП (6) знаходять аналітично за формулою коренів квадратного рівняння і для $1,0 < \gamma < 5,0$ є кратними комплексно-сполученими:

$$\frac{p_j}{j} \approx \frac{p_{1,2}}{3,4} \approx \frac{j}{p} \approx \frac{\sqrt{\gamma-1}}{2T_v} \approx \frac{\sqrt{5-\gamma}}{2T_v}. \quad (7)$$

За виглядом коренів (7) ХП (6) можна судити, що ЕП при виконанні умов (2.29) та (2.30) забезпечено гранично максимальне для заданого γ демпфування електромеханічних коливань в повній ЕМС з коефіцієнтом ξ_0 і частотою Ω_{p0} :

[illegible]

за умови мінімуму коливальності вільного руху:

$$\left| \frac{\Omega_{\text{P.O.}}}{\alpha} \right|_0 \leq \sqrt{\frac{5-\gamma}{\gamma-1}} \quad (9)$$

і максимуму логарифмічного декременту:

$$\frac{2\alpha}{\Omega_{\text{P.O}}} \left| \frac{\alpha}{\Omega_{\text{P.O}}} \right| \approx \sqrt{\frac{1}{5}} \quad (10)$$

для яких ступінь стійкості складає

$$\square \square \square^* \square \frac{\sqrt{\square \square} 1}{\surd_2} \square_{12} \quad (11)$$

забезпечуючи оптимальне перерегулювання:

$$\sqrt{\frac{\gamma-1}{5-\gamma}}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_e} = \frac{\sigma}{\sigma_{100}} \quad (12)$$

та швидкодію при входженні в зону помилок $\Delta = 0,05$

$$t_p \leq t^* \leq \frac{2}{\sqrt{\gamma-1}\Omega_{12}} \ln \frac{1}{\epsilon}, \quad t_p \leq t^* \leq \frac{6}{\sqrt{\gamma-1}\Omega_{12}}. \quad (13)$$

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямку. Отримані залежності (9)-(13) для показників якості аналітично доводять існування закономірності у визначенні електромеханічної взаємодії в ЕП з проявом можливого максимуму його демпфірувальної дії [22, 23]. З залежностей (8) витікає, що власні частоти ЕМС, визначені з ХП (1) для оптимальних K_V^* та ξ_d^* , є кратними і при граничному ступені демпфування дорівнюють частотам окремих частин ЕМС:

$$\omega_E \leq \omega_M \leq \omega^* \leq \sqrt{\frac{5}{2}} \omega_{12} \quad (14)$$

Завдяки цифровізації і мережевим технологіям системи електроприводу сьогодні повною мірою доповнені цифровою функціональністю, що є важливим кроком на шляху до цифрової промисловості. Використання технологій штучного інтелекту, зокрема, нейромереж в якості регуляторів, дає змогу забезпечити адаптивність і автономність управління за умови їх правильного навчання. Нейромережеві регулятори є перспективною альтернативою для регуляторів, налаштування яких здійснюється за стандартними методиками, проте вони можуть забезпечити адаптивність і автономність системи за умови їх правильного навчання, оскільки для керування нейромережею не потрібно мати математичну модель об'єкта, як це потрібно під час використання стандартних регуляторів, що є важким завданням, тому що сучасні об'єкти, які потребують автоматичного керування, здебільшого є складними системами. Проте незалежно від того, як буде реалізована система автоматичного керування, необхідно враховувати закономірності електромеханічної взаємодії для налаштування регуляторів, які визначені запропонованими залежностями.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Zadeh L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // *Information and Control*. – 1965 – №8. – P. 338–353.

2. Kosc P. Adaptive fuzzy logic control for DC motors speed-loop / P. Kosc, F. Profumo // *Conf. Rec. Electric drive and Power Electronic*. – Kosice: ED&PE' 92, Technical University of Kosice, 1992. – P. 289–296.
3. Ha Q. P. A robust modal controller with fuzzy tuning for multi-mass electromechanical systems / Q.P. Ha, M. Negnevitsky // *Proc. of the Australian and New Zealand Conf. on Intelligent Information Systems*. – Perth (Australia), 1995 – P. 214–219.
4. Saushev A. V. Solution of problems of parametric optimization and control of electric drives state based on information about operability area boundary / A. V. Saushev, E. V. Bova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2018. – Vol. 327. – Is. 5. – Pp. 052029. DOI: 10.1088/1757-899X/327/5/052029.
5. Pan C.-T., Fang E. A phase-locked-loop-assisted internal model adjustable-speed controller for BLDC motors // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2008. Vol. 55, Issue 9. P. 3415–3425. DOI 10.1109/TIE.2008.922600.

6. *Задорожня І.М. Проблеми електромеханічної та електромагнітної сумісності в електроприводах технологічних машин : навч. посіб. / І. М. Задорожня, М. О. Задорожній. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – 215 с.*
7. *Кузнецов Б. І. Проектування взаємозалежних систем керування / Б. І. Кузнецов, Б. В. Новосьолов, А. О. Чаусов – К.: Техніка, 1994. – 232 с.*

Чернишов Б.О., Ащепкова Н.С. (Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро, Україна)

РОЗРОБКА МАНІПУЛЯТОРУ ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ДІЛЬНИЦІ СВЕРДЛИЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Розглянуто технологічний процес свердлильної обробки. Запропоновано для завантаження дільниці застосувати маніпулятор власної розробки. За відомою кінематичною схемою та початковими даними методом математичного моделювання обрано оптимальні параметри конструкції та обчислено точність позиціювання схвату маніпулятора.

The technological process of drilling processing is considered. It is suggested to use a self-developed manipulator to load the precinct. According to the known kinematic scheme and initial data, the optimal design parameters were selected by the method of mathematical modeling and the positioning accuracy of the manipulator grip was calculated.

Об'єкт дослідження – технологічний процес свердлильної обробки. Актуальність автоматизації праці в сучасний період обумовлена:

- ускладненням виробничих зв'язків між підприємствами у кожній галузі і в економіці в цілому, що вимагає підвищеної чіткості й точності в організації взаємодії всіх виробничих ланок;
- різким підвищенням ціни одиниці робочого часу у зв'язку з тим, що у виробничому процесі використовується значно більша кількість знарядь праці;
- відповідальністю кожного працівника не тільки за свою особисту працю, але й за фінансовий успіх як первинного підрозділу, так і всього підприємства.

Автоматизація дільниці свердлильної обробки дозволить забезпечити орієнтацію заготовок, запобігти заклинюванню, зменшити час технологічного процесу та запровадити цілодобовий режим роботи дільниці.

Вибір основного та допоміжного технологічного обладнання здійснено згідно зі схемою технологічного процесу свердлильної обробки (рис.1)

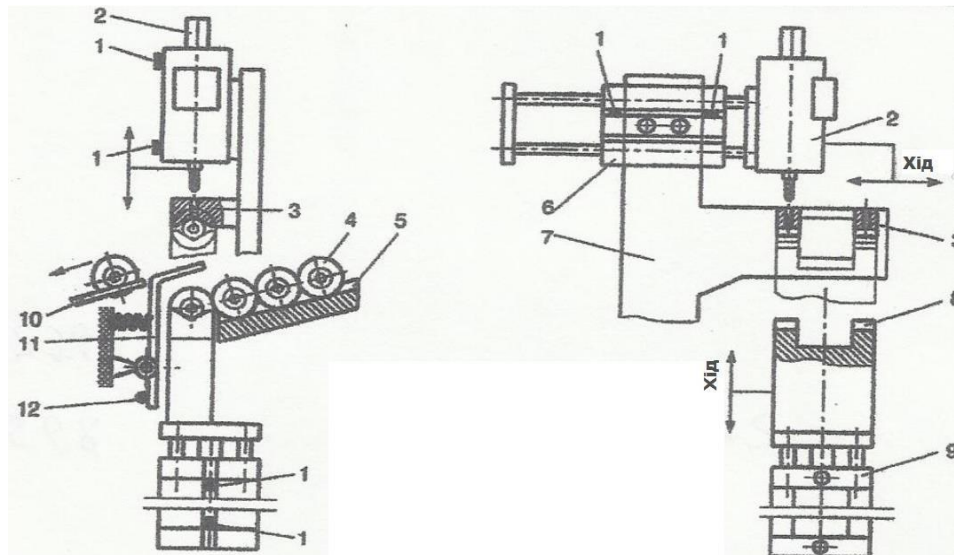


Рисунок 1 - Схема технологічного процесу свердлильної обробки

Існуючий технологічний процес свердлильної обробки виконується у такий послідовності:

1) Робітник переміщує заготовки до жолоба 5. За рахунок нахилу жолоба 5 заготовки 4 скочуються по ньому до контакту з важелем 11.

2) Після спрацювання датчика 12 система керування формує сигнал «ЗАГОТІВКА».

3) Якщо верстат вільний, то заготовка затискним циліндром 9 встановлюється в призму 8 і піднімається до кондуктора 3.

4) Система керування формує сигнал «ГОТОВ», та запускає програму технологічного процесу свердлення командою «ПРОГРАМА СТАРТ».

5) Лінійний модуль 6 здійснює переміщення свердлильної голівки 2 відповідно до програми обробки. Координати отворів задаються лінійним модулем.

Якщо під час обробки виникає екстрена ситуація (зникає струм, заготовка обертається в кондукторі і т. ін.) формується сигнал «СТОП» і система зупиняється.

6) Після закінчення технологічного процесу свердлення система керування формує сигнал «ПРОГРАМА КІНЕЦЬ». Лінійний модуль переміщує свердлильну голівку у початкове положення, затискний циліндр 9 розжимається, спрацьовує датчик 12, заготовка важелем 11 спрямовується на приймальний жолоб 10 і скочується в бункер для готових деталей.

Якщо бункер для готових деталей заповнений, то спрацьовує датчик і за його сигналом робітники змінюють заповнений бункер за порожній.

7) Процес повторюється.

Пропонується використовувати наявні на підприємстві верстати та

промислові роботи (ПР). Після аналізу технічних характеристик обладнання, що може використовуватись для створення автоматизованої дільниці свердлильної обробки, вважаємо доцільним обрати:

- технологічне обладнання □ токарно-револьверний верстат моделі 1Е365ПФ30 з вертикальною віссю револьверної головки,
- допоміжне обладнання □ електрокара Toyota 7FBE13,
- транспортно-накопичувальна система □ автоматизований стелаж-накопичувач деталей зі штабелером АСВ-20.
- завантажувальний пристрій □ маніпулятор (М) зі спеціалізованим захватним пристроєм.

Для забезпечення автоматизованої роботи дільниці свердлильної обробки пропонується запровадити М власної розробки. Вихідними даними для розробки є [1]:

- кінематична схема маніпулятора,
- геометричні розміри й щільності ланок маніпулятора,
- робоча зона маніпулятора
- траєкторія полюсу схвату маніпулятора,
- початкове положення ланок,
- інформація про навантаження (матеріал, форма, геометричні розміри, маса заготовки).

Розв’язання прямої та зворотної задач кінематики маніпулятора здійснюється за методом Денавита – Хартенберга [2]. Для кінематичного та динамічного аналізу маніпулятора доцільно застосувати пакет прикладних програм Mathcad [3]. Розробку спеціалізованого схвату можна провести з використанням спеціалізованого програмного забезпечення [4, 5]. Методики для розрахунку елементів конструкції маніпулятору наведено у [6]. Впровадження автоматизації дозволить зменшити час технологічного процесу і забезпечити цілодобову роботу дільниці.

Мета дослідження: розробка маніпулятору для завантаження технологічного обладнання автоматизованої дільниці свердлильної обробки. Для досягнення цієї мети необхідно:

- обрати кінематичну схему маніпулятора;
- провести кінематичний та динамічний аналіз маніпулятора;
- обчислити точність позиціонування схвату маніпулятора.

Оскільки бажана траєкторія полюсу схвату досить проста, робоча зона маніпулятора обмежена, то для завантаження технологічного обладнання можна застосувати трьохланковий маніпулятор. Кінематична схема маніпулятору наведена на рис.2.

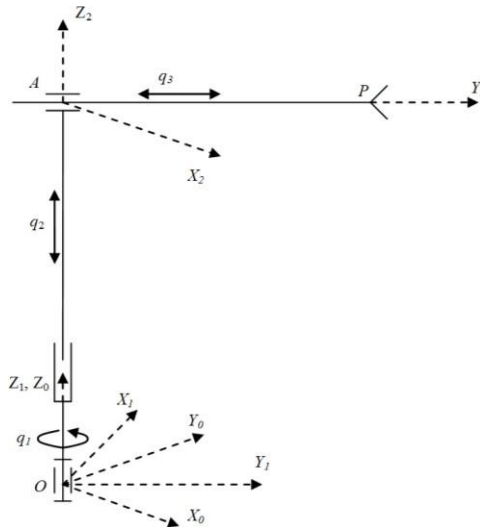


Рисунок 2 - Кінематична схема маніпулятора

Для кінематичного та динамічного аналізу маніпулятора застосовано пакет прикладних програм Mathcad На рис.3 наведено результати розв'язання прямої задачі кінематики маніпулятора за методом Денавита – Хартенберга. За відомою кінематичною схемою та початковими даними методом математичного моделювання обрано оптимальні параметри конструкції маніпулятора: щільність матеріалу ланок $\rho = 2 \text{ г/см}^3$; довжина ланок $l_1 = 120 \text{ см}$, $l_2 = 60 \text{ см}$, обмеження узагальнених координат $q_1 = [0; 1,5\rho]$ рад, $q_2 = [0; 70]$ см, $q_3 = [0; 50]$ см. За результатами математичного моделювання обчислено точність позиціювання полюсу схвату: $\Delta x = -0,53 \text{ см}$, $\Delta y = -0,15 \text{ см}$, $\Delta z = -0,31 \text{ см}$.

$$\begin{aligned}
 t &:= 0, 0.1 \dots 100 & m &:= 0.785 & L_{OA} &:= 1.2 & L_{AP} &:= 0.1 \\
 q_1(t) &:= 0.03 \cdot t & q_2(t) &:= 0.025 \cdot t & q_3(t) &:= 0.03 \cdot t \\
 P &:= \begin{pmatrix} 0 \\ L_{AP} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 D_{32}(t) &:= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & q_3(t) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & D_{21}(t) &:= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_{OA} - q_2(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & D_{10}(t) &:= \begin{pmatrix} \cos(q_1(t)) & -\sin(q_1(t)) & 0 & 0 \\ \sin(q_1(t)) & \cos(q_1(t)) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 R_P(t) &:= D_{10}(t) \cdot D_{21}(t) \cdot D_{32}(t) \cdot P \\
 R_P(t)_0 &= & R_P(t)_1 &= & R_P(t)_2 &= \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ -3.09 \cdot 10^{-4} \\ -6.36 \cdot 10^{-4} \\ -9.81 \cdot 10^{-4} \\ -1.344 \cdot 10^{-3} \\ -1.725 \cdot 10^{-3} \\ -2.124 \cdot 10^{-3} \\ -2.541 \cdot 10^{-3} \\ -2.976 \cdot 10^{-3} \\ -3.429 \cdot 10^{-3} \\ -3.899 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} & & \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.103 \\ 0.106 \\ 0.109 \\ 0.112 \\ 0.115 \\ 0.118 \\ 0.121 \\ 0.124 \\ 0.127 \\ 0.13 \end{pmatrix} & & \begin{pmatrix} 1.2 \\ 1.198 \\ 1.195 \\ 1.192 \\ 1.19 \\ 1.188 \\ 1.185 \\ 1.182 \\ 1.18 \\ 1.178 \\ 1.175 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Рисунок 3 - Розв'язання прямої задачі кінематики маніпулятора з використанням пакета прикладних програм Mathcad

Реалізація запропонованого маніпулятора дозволить автоматизувати дільницю свердлильної обробки, запровадити цілодобовий режим роботи, зменшити час технологічного процесу та підвищити точність позиціонування. Проведений економічний аналіз дозволяє зробити висновок, що впровадження автоматизації на дільниці свердлильної обробки дозволяє звільнити чотирьох вантажників (по два в кожній зміні) без втрат продуктивності праці. Таким чином впровадження результатів дослідження є економічно вигідним.

Розробка різних конструкцій схвату у майбутньому розширить можливості застосування розробленого маніпулятора на базовому підприємстві. Крім того, виробництво та реалізація означеного маніпулятора забезпечить додатковий прибуток.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ащепкова Н. С., Капера С. С., Яковлев Б. С. Розробка спеціалізованого схвату за допомогою Mathcad // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – Вип. 17. – Дніпропетровськ, 2016 – С. 19 – 25.
2. Ащепкова Н. С. Моделювання та аналіз точності позиціонування маніпулятора // Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Механіко – технологічні системи та комплекси – Харків: НТУ “ХПІ”. – червень, 2017. - № 19 (1241). – С. 34 - 42.

Шепеленко І.В., Магопець М.С. (Центральноукраїнський національний технічний університет м. Кропивницький, Україна)

ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Розглянуто технологічний процес відновлення деталей машин як систему взаємодій між окремими її елементами. Проаналізовано типовий технологічний процес відновлення та зазначені шляхи підвищення якості відновлених деталей.

The technological process of restoration of machine parts as a system of interactions between its individual elements is considered. A typical technological process of restoration is analysed and ways of improving the quality of restored parts are indicated.

Життєвий цикл виробу машинобудування від моменту створення ідеї до повної утилізації продукту являє собою сукупність взаємопов'язаних процесів послідовної зміни стану деталі. Перехід з одного стану до іншого відбувається внаслідок певних подій. Питання підвищення термінів служби виробу на етапі його експлуатації можливо вирішити за рахунок ремонту та відновлення зношених деталей. Крім подовження життєвого циклу, відновлення зношених деталей є суттєвим резервом підвищення ефективності використання техніки та економії матеріальних паливо-енергетичних і трудових ресурсів [1].

Економічна доцільність відновлення деталей зумовлена можливістю повторного використання 65-75% деталей. Собівартість відновлення деталей, як правило, не перевищує 75% вартості нових, а витрати на матеріали у 15-20 разів нижче ніж при виготовленні деталей [2]. Слід відзначити значний внесок у науку і практику відновлення деталей машин вітчизняних вчених: Черновол М.І., Сідашенко О.І., Лузан С.О., Молодик М.В. та ін.

Відновлення деталей можна уявити як систему, що функціонує окремо, в якій здійснюються такі процеси: оцінка стану деталей, проектування технологічного процесу, відновлення деталей. Технологічний процес відновлення деталей володіє всіма необхідними властивостями, які пред'являються до систем [3]:

- є цілісним комплексом взаємопов'язаних елементів, у ролі яких виступають деталь, технологічні операції, режими тощо;
- є елементом системи вищого порядку, зокрема виробничого процесу ремонту машин;
- елементи технологічного процесу можуть розглядатися як системи більш низького порядку.

У зв'язку з цим цілком логічним видається представлення структури технологічного процесу відновлення деталі як системи у вигляді функцій зі зв'язками між її окремими елементами (рис.1).

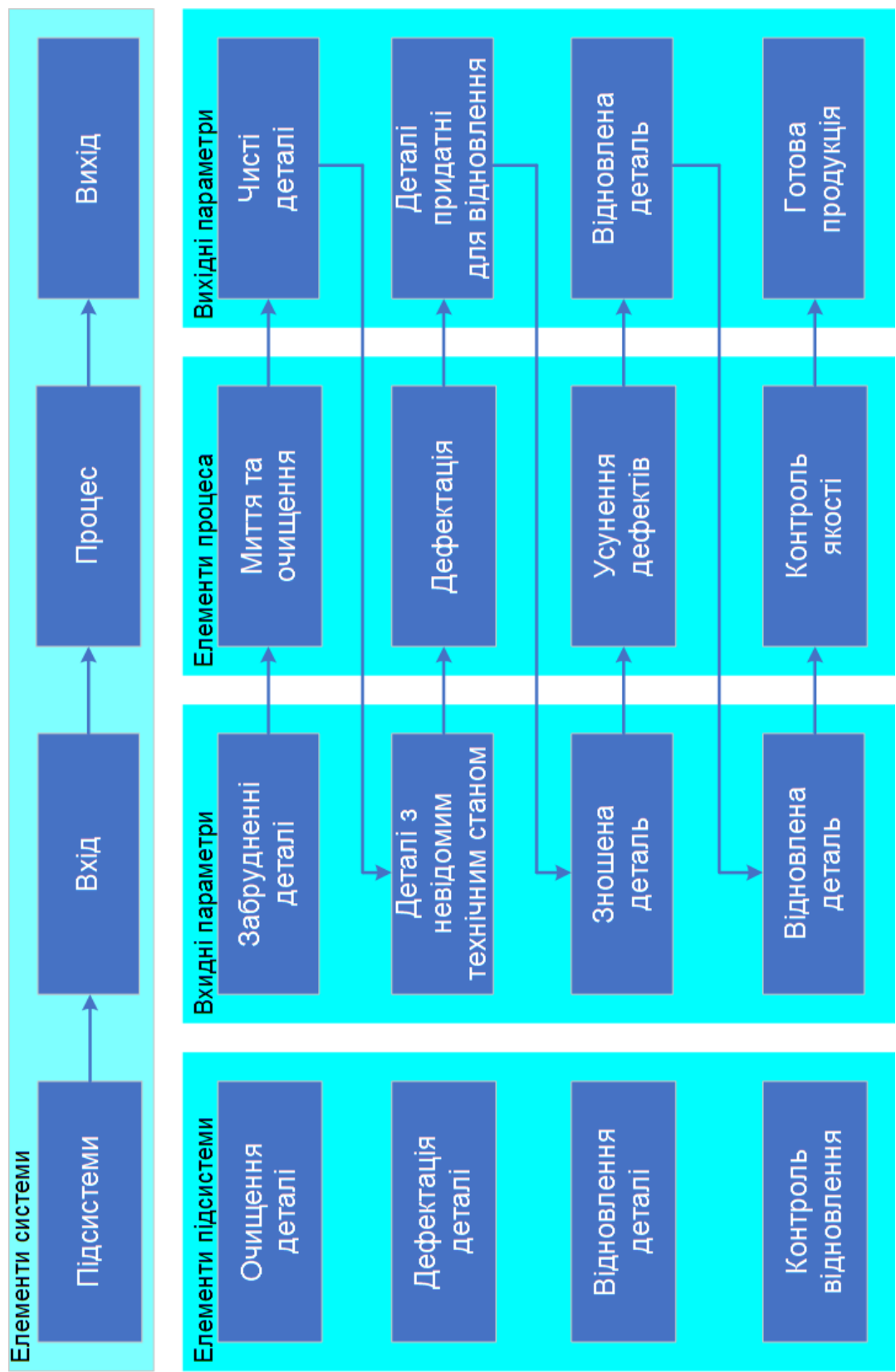


Рисунок 1 - Взаємозв'язок між елементами технологічного процесу відновлення деталі

Відповідно до представленої схеми (рис.1) при відновленні деталі елементарними об'єктами при «Вході» є зношена деталь. Далі об'єктами «Процесу» слід розглядати відновлення деталі. Таким чином на «Виході» слід очікувати відновлену деталь.

Розглянемо більш детально типовий технологічний процес відновлення деталі, який починається з очищення забруднених деталей.

Очищення деталей є важливою технологічною операцією, оскільки для ефективного виявлення дефектів та вибору способу відновлення необхідно працювати з добре очищеними від бруду поверхнями. Нехтування операцією якісного очищення та миття може призвести до появи дефектних деталей на складальних операціях, виявлення їх при обкатці, випробуванні чи експлуатації. Ефективним засобом очищення деталі є їх миття. Миття деталей – складний фізико-хімічний процес видалення з поверхні деталей залишків палива, мастила, бруду, нагару, накипу, абразивних та металевих часток, яке в ремонтному виробництві виконується такими способами: струменевим, ультразвуковим, пневмомеханічним, хімічним, хіміко-термічним та ін.

Після очищення – зношені деталі надходять на операцію дефектації, на якій визначають величини зносу робочої поверхні та наявність руйнувань деталей. На цьому етапі визначається можливість відновлення деталей. У процесі дефектації деталі сортують на три групи [2]:

- придатні для експлуатації;
- ті, що потребують ремонту або відновлення;
- непридатні, що підлягають заміні.

Деталі першої групи не потребують ремонту, третьої – відбраковують. Для деталей другої групи необхідно призначити раціональний метод відновлення.

В ремонтному виробництві використовуються різноманітні способи відновлення деталей. Останнім часом широкого застосування знайшли комбіновані технології, які поєднують в собі переваги різних методів, в тому числі модифікації поверхонь та нанесення покриттів. Це дозволяє досягти більш високі експлуатаційні властивості деталей [4].

При виборі оптимального способу відновлення деталей використовують наступні критерії [5]:

1. Технологічний критерій, який враховує технологічні можливості способу відновлення зношеної поверхні конкретної деталі.
2. Критерій довговічності, який розраховується за формулою:

$$K_0 = \frac{T_g}{T_n}$$

де T_g – термін служби відновленої деталі, год;

T_n – термін служби нової деталі, год.

3. Економічний критерій, який характеризує витрати на відновлення деталі за виразом:

$$C_v < K_d \cdot C_n,$$

де C_v – собівартість відновлення деталі;

C_n – собівартість нової деталі.

Заключним етапом технологічного процесу відновлення деталей є контроль якості відновлення, при якому виконують перевірку відповідності показників якості продукції встановленим вимогам.

Якість відновлених деталей визначається технологічними можливостями процесу відновлення, внаслідок яких формуються фізико-механічні властивості, структурний стан матеріалу, геометрія та інші характеристики поверхні.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ремонт машин та обладнання: Підручник /О.І.Сідашенко, О.А.Науменко, Т.С.Скобло та ін. За ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с.
2. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія/ Є.А. Фролов, С.І. Кравченко, С.В.Попов, С.М.Гнітько. – Полтава, 2019. – 201 с.
3. Шепеленко І.В. Створення нових методів інженерії поверхні деталей машин і механізмів/ І.В. Шепеленко, Е.К. Посвятенко // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.135–136.

Goran Milentijević, Marko Agatonović, Milutin M. Milosavljević (Faculty of Technical Sciences, University of Kosovska Mitrovica, Serbia)

OPTIMIZATION OF THE LABORATORY PROCEDURE FOR THE SYNTHESIS OF N-ALKYL, N,N-DIALKYL AND N-CYCLOALKYL-O-BUTYLTHIOCARBAMATE

This paper presents the optimized synthesis of N-alkyl-, N,N-dialkyl- and N-cycloalkyl-O-butylthiocarbamates by the ammonolysis reaction of sodium-butylxanthogenacetate (NaBuXAc) using primary, secondary and cycloalkylamines. Also, an overview of the comparative synthesis procedures of thioncarbamate starting from potassium butylxanthate (KBuX) and corresponding amines in the presence of different oxidizing agents: hydrogen peroxide, sodium hypochlorite and potassium peroxodisulfate is given. The structure of the synthesized compounds was confirmed by IR, ^1H and ^{13}C NMR and MS instrumental methods and elemental analysis, and the purity was determined by the gas chromatography method. The obtained products are used in the flotation process of copper and zinc ore in the mining industry. The described procedures are characterized by mild reaction conditions, a high degree of conversion, and by-product extraction, and the obtained results can be applied to the industrial level of production.

У цій статті представлено оптимізований синтез N-алкіл-, N,N-діалкіл- і N-циклоалкіл-О-бутилтіокарбаматів реакцією амонолізу натрій-бутилксантогенацетату (NaBuXAc) з використанням первинних, вторинних і циклоалкіламінів. Також наведено огляд порівняльних процедур синтезу тіонкарбамату з бутилксантогенату калію (KBuX) та відповідних амінів у присутності різних окислювачів: пероксиду водню, гіпохлориту натрію та пероксодисульфату калію. Структуру синтезованих сполук підтверджено інструментальними методами IR, ^1H і ^{13}C NMR, та MS елементним аналізом, чистоту – методом газової хроматографії. Отримані продукти використовуються в процесі флотації мідної та цинкової руди в гірничодобувній промисловості. Описані процедури характеризуються м'якими умовами реакції, високим ступенем конверсії та вилученням побічних продуктів, а отримані результати можуть бути застосовані на промисловому рівні виробництва.

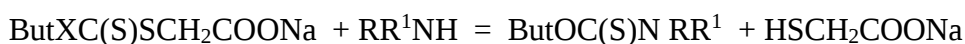
INTRODUCTION

Thiocarbamates are compounds that are basically derivatives of thiocarbamic acid [1], namely thiol- and thioesters. Their structural characteristics, such as the direct connection of the thioacyl group and nitrogen, contribute to their pronounced biological activity [2]. These compounds have a very wide spectrum of action, so they are industrially produced (patented procedures) and used as fungicides [3, 4, 5], bactericides [4, 6], herbicides [7, 8], germicides [9], pesticides [10, 11, 12], insecticides [13, 14], etc. Also, alkylthiocarbamates are used as polymerization accelerators and selective float reagents [15].

Thiocarbamates can be obtained by the reaction of O,S-diethyldithiocarboxylic acid in an aqueous or alcoholic solution with primary or secondary amines, as well as by the reaction of monothiocarboxylic acid chloride O-esters with amines [16]. Thiocarbamates are also obtained by reacting, in one step, alkaline xanthates, amines and an oxidizing agent [17]. The synthesis of thiocarbamates from thiols and isocyanates can be performed in the presence of a catalyst with and without the presence of a solvent [18]. Apart from known synthesis procedures [19-23], thiocarbamates can also be obtained by reaction of sodium or potassium xanthate in aqueous

solution with primary or secondary amines and in the presence of elemental sulfur [24]. Thiocarbamates can also be obtained by the reaction of xanthates and amines in the presence of nickel(II) sulfate heptahydrate as a catalyst [25], and by the oxidation reaction of amine salts of xanthogenic acid using hydrogen peroxide or sodium hypochlorite, a high yield of isopropylthiocarbamate is achieved [26]. By oxidation of amine salts of dithiocarbamic acids using ammonium peroxodisulfate as an oxidizing agent, thiuram disulfides are obtained [27], so potassium peroxodisulfate was used analogously in the reaction of oxidation of amine salts of xanthogenic acid in our manuscript.

In this manuscript, the synthesis procedures of *N*-alkyl-, *N,N*-dialkyl- and *N*-cycloalkyl-*O*-butylthiocarbamates are described: by the reaction of the sodium salt of *n*-butylxanthogen acetic acid (NaButXAc) and the corresponding amines (Figure 1), then two catalytic procedures syntheses: 1) by the reaction of isobutanol, amine and bis(benzotriazolyl)methanethione in the presence of the catalyst 1,5-diazabicyclo[5.4.0]undec-5-ene (DBU) (picture 2), and 2) by the reaction of potassium butylxanthogenate (KButX) and amines in the presence of a Pd catalyst on activated carbon. Three comparative synthesis procedures starting from KButX and amines in the presence of different oxidizing agents are also presented: potassium peroxodisulfate [27] (Figure 3), hydrogen peroxide and sodium hypochlorite [26].



Where are: R i R¹: R = alkyl, iso-alkyl or cicloalkyl and R¹ = H in reaction with monoalkyl amines,

R = alkyl i R¹ = alkyl in reaction with di-alkyl amines.

Figure 1. Synthesis *N*-alkyl, *N,N*-dialkyl and *N*-cykloalkyl-*O*-nbutylthioncarbamates by aminolysis of sodium-butylxantogenacetate

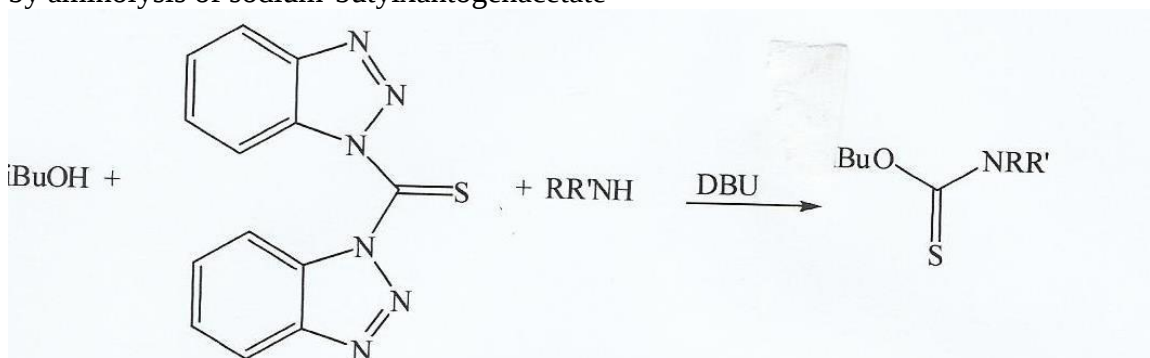


Figure 2. Synthesis of *N*-alkyl, *N,N*-dialkyl and *N*-cykloalkyl-*O*-n-butylthioncarbamates from butanol, amine and bis(benzotriazolyl)methanethione in presence of DBU catalyst

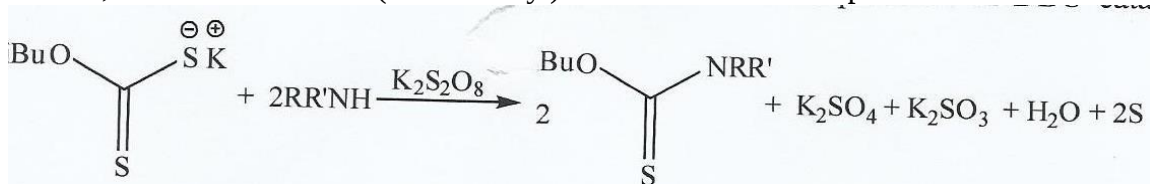


Figure 3. Synthesis *N*-alkyl, *N,N*-dialkyl and *N*-cykloalkyl-*O*-n-butylthion-carbamates from potassium isobutylxanthate and amines in presence of potassium peroxodisulfate

EXPERIMENTAL PART

In the experimental part of the work, the synthesis of *N*-alkyl-, *N,N*-dialkyl- and *N*-cycloalkyl-*O*-butylthiocarbamates was carried out using different procedures, and all products were characterized by FTIR, ¹H and ¹³C NMR data, which are given in tables 6 and 7 The purity

was determined by the gas chromatography method (tables 3-5) and confirmed by determining the elemental analysis of the compound (table 6).

Optimization of the synthesis procedure by aminolysis of NaButXAc with n-propylamine was carried out in relation to: reaction time, molar ratio of NaButXAc and amine, and then the synthesis of N-alkyl-, N,N-dialkyl- and N-cycloalkyl-O-butylthiocarbamate was carried out according to the defined optimal procedure. Also, the procedure for synthesis by oxidation of amine salts of n-butyl xanthogenic acid using different oxidizing agents: potassium peroxodisulfate, hydrogen peroxide and sodium hypochlorite [26] was given. Thioncarbamate synthesis was performed using two catalyzed procedures, in the presence of the catalyst 1,5-diazabicyclo[5.4.0]undec-5-ene (DBU) and Pd on activated carbon.

2.1. Synthesis of sodium chloroacetate (NaClAc)

Sodium monochloroacetate was synthesized according to the literature procedure [15].

2.2. Synthesis of sodium-n-butylxanthogenacetate (NaButXAc)

16.8 g (0.08 mol) of 89% potassium n-butylxanthogenate was placed in a 250 cm³ three-necked flask equipped with a magnetic stirrer, a reflux condenser, a thermometer and a dropping funnel and 50 cm³ of water was added. The substance is dissolved with stirring (pH 12, the temperature of the solution decreases). After complete dissolution, 15 cm³ (0.08 mol) of 35.2% NaClAc solution is added using a dropping funnel over the course of one hour, while maintaining a temperature of 28 to 30 °C. If working with purified KButX, whose solution has a pH of 7, the pH is adjusted to 12 by adding sodium carbonate. The yield is 88.6%. IR (cm⁻¹): 3439.26; 2981.51; 2424.61; 1590.52; 1417.81; 1404.45; 1219.21; 1148.04; 1116.02; 1064.16; 1052.85; 952.86; 772.47; 685.01; 564.28.

2.3. General procedure for the synthesis of thiocarbamate by ammonolysis of sodium n-butylxanthogenacetate (Method A)

65.0 cm³ (0.08 mol) of NaButXAc is added to a 250 cm³ three-necked flask equipped with a magnetic stirrer, reflux condenser, thermometer, and dropping funnel, turn on the stirrer, and slowly, using the dropping funnel, add 0.16 mol of the amine. The temperature starts to rise up to 35 °C and stays at that value for 0.5 hours, and then starts to decrease. Turn on the heating to bring the reaction mixture to a temperature of 45 °C and continue stirring for another hour. The color of the reaction mixture changes from yellow to brown and finally to pale blue when the reaction is complete. After cooling, the reaction mixture is transferred to a separatory funnel, the organic phase is separated from the aqueous part, acidified with hydrochloric acid solution (1:1) to pH 2. After separation, the organic layer is washed twice with warm distilled water, dried with anhydrous sodium sulfate and predistilled by fractional vacuum distillation.

Product yields and purity (determined by gas chromatography - GC) are presented in Table 3.

2.3.1. Optimization of the synthesis of N-n-propyl-O-n-butylthiocarbamate (Method A) in relation to the molar ratio of reactants

In a manner analogous to method 2.3, the synthesis of N-n-propyl-O-n-butylthiocarbamate was carried out, whereby the amount of n-propylamine was changed: 0.14 mol, example 2; 0.12 mol, example 3; 0.10 mol, example 4; 0.08 mol, Example 5 and 0.06 mol, Example 6. The reaction yields of Examples 2-6 and the results of GC analysis are given in Table 2.

2.3.2. Optimization of the synthesis of N-n-propyl-O-n-butylthiocarbamate (Method A) in relation to reaction time

In a manner analogous to method 2.3, the synthesis of N-n-propyl-O-n-butylthiocarbamate was carried out, whereby the total reaction time was varied (initial time when

the reaction is exothermic and subsequent heating) at a constant mole ratio of reactants, namely: 1.2 hours, example 7; 1.4 hours, example 8; 2.0 hours, Example 9 and 2.5 hours, Example 10. Reaction yields of Examples 7-10 and GC analysis results are given in Table 2.

2.4. General procedure for the synthesis of thiocarbamate from potassium n-butylxanthate and amine in the presence of potassium peroxodisulfate (Method B)

0.250 mol of 88.0% KButX and 100 cm³ of water are added to a 500 cm³ three-necked flask equipped with a reflux condenser, dropping funnel, thermometer, and magnetic stirrer. After dissolution with stirring, 0.137 mol of amine sulfate solution [26] is added, whereby the amine salt of xanthogenic acid is formed. After that, the prepared solution of potassium peroxodisulfate (35.5 g (0.130 mol) 98% of potassium peroxodisulfate dissolved in 75 cm³ of water) is added gradually, using a dropping funnel, over the course of 1.0 hours, maintaining the temperature of the reaction mixture from 25 to 30 °C. When the potassium peroxodisulfate solution is added, the suspension of the amine salt of xanthogenic acid passes into the solution, when the reaction is complete. The reaction mixture is filtered on a Bichner funnel, sulfur is separated as a filtration cake, and the filtrate is thiocarbamate dispersed in the aqueous phase. The filtrate is transferred to a separatory funnel, the thiocarbamate is extracted twice with 50 cm³ of diethyl ether, the organic phase is dried with anhydrous sodium sulfate and purified by vacuum distillation. Product yield and purity were determined by gas chromatography (GC), and the results are presented in Table 4.

2.5. General procedure for the synthesis of thiocarbamates from KButX and amines in the presence of hydrogen peroxide (Method C)

In a manner analogous to the previously described procedure [26], the synthesis of thiocarbamate was carried out in the presence of hydrogen peroxide as an oxidizing agent, and the yields and purity of the product determined by the gas chromatography method (GC) are given in Table 4.

2.6. General procedure for the synthesis of thiocarbamates from KButX and amines in the presence of sodium hypochlorite (Method D)

In a manner analogous to the previously described procedure [26], the synthesis of thiocarbamate was carried out in the presence of sodium hypochlorite as an oxidizing agent, and the yields and purity of the product determined by the gas chromatography method (GC) are given in table 4.

2.7. General procedure for the synthesis of thiocarbamate from n-butanol, amine and bis(benzotriazolyl)methanethione in the presence of DBU (Method E)

40 cm³ of dry dichloromethane and 5.2 g (18.4 mmol) of bis(benzotriazolyl)methanethione are added to a 250 cm³ three-necked flask equipped with a reflux condenser, dropping funnel, thermometer and magnetic stirrer, then slowly from the dropping funnel 18, 4 mmol of amine in 30 cm³ of dichloromethane during 15 minutes. After stirring the mixture for 5 minutes, a solution of n-butanol (18.4 mmol) and DBU (17.7 mmol) in 20 cm³ of dichloromethane was added at 0 °C under a nitrogen atmosphere. After half an hour of stirring at 0 °C, the reaction mixture was warmed to room temperature and continued stirring for 2 hours, and then continued heating at 50 °C for 2 hours. After completion of the reaction, the reaction mixture was washed with 5% NaHCO₃ solution, twice with water to remove the liberated benzotriazole, and then dried with anhydrous sodium sulfate. By evaporating the

solvent under reduced pressure, the remaining oily mass is purified by vacuum distillation. The yield and purity of the product determined by the gas chromatography method (GC) are presented in Table 5.

2.8. General procedure for the synthesis of thiocarbamates from KButX and amines in the presence of 5% Pd on activated carbon (Method F)

100 cm³ of deionized water and 0.17 mol KButX are added to a 250 cm³ three-necked flask equipped with a magnetic stirrer, reflux condenser, thermometer and dropping funnel, turn on the stirrer and slowly add 2 g of commercial catalyst 5% Pd on activated carbon. After adding the catalyst, 0.17 mol of amine is slowly added dropwise to the resulting dispersion. The temperature starts to rise to 35 °C and stays at that value for 0.5 hours, and then starts to decrease. Turn on the heating so that the reaction mixture is brought to a temperature of 80 °C and maintained for 10 hours.

After cooling, the catalyst is removed by filtration and the reaction mixture is transferred to a separatory funnel. The organic phase is dissolved in 50 ml of ether, separated from the aqueous layer and washed with warm distilled water, and the organic layer is dried with anhydrous sodium sulfate and distilled by fractional vacuum distillation. The yield and purity of the obtained products (determined by the gas chromatography method - GC) are given in table 5.

2.9. Structural instrumental analysis.

¹H NMR spektri su snimani na aparatu Bruker AC 250, na 250 MHz pri snimanju ¹H NMR i 62.89 MHz pri snimanju ¹³C NMR spektara. Spektri su snimani na sobnoj temperaturi u deuterisanom hloroformu (CDCl₃) u 5 mm kivetama. Hemijska pomeranja su izražena u ppm (δ) vrednostima u odnosu na TMS (tetrametilsilan) u ¹H NMR spektrima i rezidualni signal rastvarača u ¹³C NMR spektrima.

EI (electron impact) maseni spektri su snimani na aparatu Thermo Finnigan Polaris Q masenim spektrometrom sa jonskim trapom, koji uključuje Trace GC 2000 (ThermoFinnigan, Austin, TX, USA), integrisani GC-MS/MS sistem. DIP (direct insertion probe) mod je korišćen za nanošenje uzoraka u kolonu. Ionizacioni uslovi: temperature jonskog izvora 200 °C, maksimalna energija pobuđivanja elektrona 70 eV, jačina struje 150 μA.

FTIR spektri su snimani u transmisionom modu na aparatu BOMEM (Hartmann&Braun).

Elementarna analiza je urađena na aparatu VARIO EL III Elemental analyzer, i dobijeni rezultati analize su u velikoj meri saglasni sa izračunatim vrednostima (±0,3 %).

Gasnohromatografska analiza:

Gasnohromatografska analiza je rađena na aparatu Perkin-Elmer 8700, koji je opremljen plameno-jonizujućim detektorom i punjenom kolonom sa 5 % OV-210 na Gas-Chrom Q: dužina 2 m, prečnik 0.3175 cm (1/8"). Uslovi izvođenja gasno hromatografske analize:

- Temperatura injektora: 250 °C;
- Temperatura detektora: 270 °C;
- Temperatura kolone programski mod: 50 °C (5 min) → 10 °C/min → 130 °C (15 min)
- Noseći gas: azot (čistoća 99,99 %) - protok 1 cm³/min.
- Protok vazduha: 250 cm³/min (čistoća 99,99 %);
- Protok vodonika: 25 cm³/min (čistoća 99,99 %).

RESULTS AND DISCUSSION.

The research in this work is focused on examining the possibility of applying the well-known method of synthesizing thioncabamate from NaButXAc and amine [15] and applying the

acquired technology on a semi-industrial level. Also, synthesis methods starting from KButX and amines in the presence of various oxidizing agents were examined: sodium hypochlorite, hydrogen peroxide and potassium peroxodisulfate. In addition, thioncarbamate syntheses were performed from KButX and amines in the presence of a 5% Pd catalyst on activated carbon and synthesis from n-butanol, amines and bis(benzotriazolyl)methanethione in the presence of DBU catalyst. All the mentioned methods are experimentally and technically acceptable for syntheses of thioncarbamates on a semi-industrial level and meet the principles of green technologies.

As part of the study of thioncarbamate synthesis, described by Method A, the NaButXAc synthesis procedure was optimized in relation to the molar ratio of the reactants NaClAc and KButX and the pH of the reaction medium, whether technical or purified KButX was used. The optimization results are given in Table 1.

Table 1. Effect of reactants molar ratio and pH on yields of NaiBuXAc (reaction time 1.0 hour; temperature 30 °C)

Experiment number	KButX (mol)	NaMHA (mol)	Mole ratio of reactants	pH reaction mixtures	Yield (%)
1.	0,08	0,08	1,0:1,0	12	88,9
2.	0,08	0,096	1,0:1,2	10	89,0
3*.	0,08	0,08	1,0:1,0	12	94,8

* Purified KButX (pH adjusted with sodium carbonate)

As can be concluded from Table 1, changing the molar ratio of the reactants has no effect on the increase in product yield (88.9% at a molar ratio of 1:1: 89.0% at a molar ratio of 1:1.2). Using purified KButX, at the same mole ratio of reactants 1:1, the product yield increases to 94.8%.

The continuation of the work refers to the optimization of the synthesis procedure of N-n-propyl-O-n-butylthiocarbamate described by Method A by varying the following synthesis parameters: molar ratio of reactants and reaction time at a temperature of 35 to 45 °C. The test results for defining the optimal conditions for the synthesis of N-n-propyl-O-n-butylthiocarbamate are presented in Table 2.

Table 2. Yields of the N-n-propyl-O-n-butylthioncarbamata with respect to reactants molar ratio (NaButXAc and n-propylamine) and reaction time

Exam.	NaButXAc (mol)	n-propylam. (mol)	Time (h)	Yield (%)	GC cleanliness (%)
1	0,08	0,16	1,5	87,6	99,1
2	0,08	0,14	1,5	87,5	98,6
3	0,08	0,12	1,5	85,0	97,9
4	0,08	0,10	1,5	82,2	97,8
5	0,08	0,08	1,5	70,6	86,8
6	0,08	0,06	1,5	55,2	78,8
7	0,08	0,16	1,2	86,9	97,8
8	0,08	0,16	1,4	87,2	98,8
9	0,08	0,16	2,0	87,7	99,0
10	0,08	0,16	2,5	87,6	99,0

Reaction temperature from 35 to 45 °C

Based on the results shown in Table 2, it can be seen that the optimal amount of n-propylamine used is 0.16 mol and NaiBXAc 0.08 mol, whereby a yield of N-n-propyl-O-isobutylthiocarbamate of 99.0% was achieved, in course 1, 5 hours. Extending the reaction time

has no effect on the yield and purity of the product, while reducing the amine concentration to equivalent to NaButXAc and less, significantly affects the yield and quality of the product.

Table 3 shows the results of the yield and purity of the synthesized thiocarbamates according to Method A, obtained according to the defined optimal synthesis conditions..

Table 3. Yields and purity of N-alkyl, N,N-dialkyl i N-cykloalkyl-O-n-butylthion-carbamates obtained by method A

	Amine	Reaction temp. (°C)	Time (h)	B. Point (°C/20 mmHg)	GC cleanliness (%)	Yield (%)
1	EtNH ₂	30-40	1,5	120-122	98,2	80,0
2	nPrNH ₂	35-45	1,5	130-132	99,1	87,4
3	nBuNH ₂	35-50	2,0	140-142	98,3	82,2
4	sekBuNH ₂	30-48	2,1	137-139	99,2	82,1
5	iPrNH ₂	32-50	2,5	128-130	99,4	80,1
6	iButNH ₂	34-50	2,0	148-150	98,7	86,1
7	iPentNH ₂	32-50	1,7	192-193	99,1	87,2
8	cPrNH ₂	30-40	2,0	134-136	97,6	70,2
9	cPentNH ₂	32-55	2,0	180-182	97,9	76,6
10	cHeksNH ₂	30-55	2,5	179-180	98,8	80,6
11	Et ₂ NH	30-50	2,0	144-146	98,4	88,8
12	Pr ₂ NH	30-50	2,0	178-179	99,0	90,8
13	Bu ₂ NH	30-50	1,7	192-194	99,3	92,2

Based on the results presented in Table 3, it can be seen that satisfactory yields and purity of the product are obtained by applying the mentioned method. In addition, it can be observed that higher yields were achieved in the reactions of secondary amines than primary ones. The highest yield was achieved during the synthesis of N,N-dibutyl-O-n-butylthiocarbamate. It is evident that the steric hindrance of the nucleophilic attack of amines by alkyl groups decreases with the shift of the branching, which can be stated on the basis of the increase in the yield of N-isoalkyl-O-thiocarbamates in which the branching of the alkyl groups is further away from the nitrogen atom. In the case of cyclic amines, the yield decreases from cyclohexyl to cyclopropylamine. Such a result indicates that the influence of the steric effect of different conformational forms of cyclic amines is the smallest in the case of cyclohexylamine, which indicates that the nucleophilicity of the amino group in the equatorial position of cyclohexane is more pronounced. The yields and purity of synthesized N-alkyl-, N,N-dialkyl- and N-cycloalkyl-O-n butylthiocarbamates, obtained according to methods B, C and D, using different oxidizing agents, are shown in table 4.

Table 4. Yields and purity of N-alkyl, N,N-dialkyl i N-cykloalkyl-O-n-butylthion-carbamates obtained by the use of different oxidants

Br.	Jedinjenje	Yield (%)			GC cleanliness (%)		
		H ₂ O ₂	NaOCl	K ₂ S ₂ O ₈	H ₂ O ₂	NaOCl	K ₂ S ₂ O ₈
1	BuOC(S)NHEt	87,2	85,1	90,3	98,5	98,3	98,5
2	BuOC(S)NHPr	88,6	86,5	91,7	97,3	97,5	97,2
3	BuOC(S)NHn-But	89,5	86,8	92,6	99,0	99,1	99,1

4	BuOC(S)NHsBut	89,3	87,2	92,4	99,4	99,3	99,0
5	BuOC(S)NHiPr	87,1	85,0	90,2	99,2	99,0	99,1
6	BuOC(S)NHiBut	93,6	92,5	96,7	97,0	97,2	97,7
7	BuOC(S)NHiPent	94,1	92,0	97,3	97,5	97,7	97,8
8	BuOC(S)NHcPr	77,4	75,6	80,2	97,8	98,0	98,6
9	BuOC(S)NHcPen	83,6	82,4	86,7	98,0	98,1	98,4
10	BuOC(S)NHcHeks	87,7	85,6	90,8	97,0	97,2	97,8
11	BuOC(S)N(Et) ₂	93,8	91,7	96,5	97,4	97,6	97,4
12	BuOC(S)N(Pr) ₂	95,2	94,0	98,0	98,0	98,1	98,7
13	BuOC(S)N(Bu) ₂	95,9	95,1	98,2	97,0	97,2	97,8

As can be seen from Table 4, based on the achieved yields of reaction products, the most effective oxidizing agent is potassium peroxodisulfate, followed by hydrogen peroxide, and the lowest yields were achieved using sodium hypochlorite. By considering the results shown in Tables 3 and 4, it can be concluded that the yields are relatively close and slightly higher compared to the yields obtained using Method A. In the event that the influence of the applied synthesis method is considered, it would inevitably lead to the necessity of analyzing the reaction mechanisms based on which can discuss the applied method in detail. The synthesis of thioncarbamate based on method A is, considering the reaction mechanism, determined by the nucleophilicity of the amine, i.e. with the rate of amine attack on the thioacyl group. Of course, in this case, the reaction speed depends on the concentration of both reactants, and the approach of the nucleophile depends on the structure of the alkyl residue and the structure of the substrate [15]. Certain conclusions can be drawn from Table 3, but for a detailed definition of the reaction mechanism, it is necessary to study the kinetics of the system and determine the activation thermodynamic quantities. The reaction mechanism of thioncarbamate synthesis from KButX and amines in the presence of an oxidizing agent consists of two steps: 1) oxidation of xanthate to dixanthate - a fast process and 2) steps that determine the speed of the overall reaction of the system, i.e. nucleophilic heterolysis of the persulfide bond [28], when thioncarbamate is obtained as a product. It was established that during the synthesis of N-alkyl- and N,N-dialkyl-O-ethyl- and O-isopropylthiocarbamates [26] lower yields are achieved in the presence of sodium hypochlorite, which is also the case during the synthesis of N-alkyl, N,N -dialkyl and N-cycloalkyl- O-n-butylthiocarbamate. It was established that active chlorine builds chloramine derivatives that cannot carry out nucleophilic heterolysis of the disulfide bond of dixanthogen [28], which affects the reduction of thioncarbamate yield.

Based on the reproducible results of the optimized laboratory procedure for the synthesis of thioncarbamate using method A, semi-industrial tests were performed, and the synthesis results are given in Table 8.

In addition to the mentioned procedures, two procedures for the catalyzed synthesis of thiocarbamates were examined: 1) starting from n-butanol, amine and bis(benzotriazolyl)methanethione in the presence of the catalyst 1,5-diazabicyclo[5.4.0]-undec-5-ene (DBU), and 2) by the reaction of KiBX and amine in the presence of a Pd catalyst on activated carbon. The yields and purity of the synthesized thiocarbamates using methods E and F are presented in Table 5.

Table 5. Yields and purity of N-alkyl, N,N-dialkyl i N-cykloalkyl-O-n-butylthioncarbamates obtained according to methods E and F

Exp..	Compound	Yield (%)		GC čistoća (%)	
		Method E	Method F	Method E	Method F
1	BuOC(S)NHEt	73,5	47,2	97,5	98,0
2	BuOC(S)NHPr	71,0	45,0	98,8	97,8

3	BuOC(S)NHn-Bu	70,8	44,3	98,2	99,0
4	BuOC(S)NHsBu	66,5	50,0	98,0	98,3
5	BuOC(S)NHiPr	65,6	55,6	97,9	97,6
6	BuOC(S)NHiBu	63,5	61,6	98,2	98,0
7	BuOC(S)NHiPent	60,6	62,5	98,8	98,6
8	BuOC(S)NHcPr	58,6	67,9	97,9	98,1
9	BuOC(S)NHcPen	56,7	68,0	97,8	97,6
10	BuOC(S)NHcHeks	52,0	69,8	99,0	99,3
11	BuOC(S)N(Et) ₂	50,6	74,5	98,9	98,4
12	BuOC(S)N(Pr) ₂	47,0	72,0	99,4	99,6
13	BuOC(S)N(Bu) ₂	45,8	70,3	98,6	98,9

Applied catalytic syntheses of thiocarbamates (Methods E and F), compared to methods A-D, give slightly lower thiocarbamate prions. It is known that method E can be used to obtain dithiocarbamates in good yield [29], i.e. when starting from thioalcohol, which is most likely the reason for the more pronounced nucleophilicity of the sulfur atom. Also, the application of the Pd/activated carbon catalyst did not give satisfactory results from the aspect of possible industrial application. The purity of thiocarbamates obtained using Method F indicates that the products are commercially acceptable even without further purification (vacuum distillation), because the catalyst carrier affects the acceptable purity of the product, which inevitably requires regeneration of the catalyst. The necessity of catalyst regeneration and the low yield make this procedure unacceptable for further tests at a semi-industrial plant.

Table 6. ¹H i ¹³C NMR data, and results of elemental analysis of synthesized N-alkyl, N,N-dialkyl i N-cykloalkyl-O-n-butylthioncarbamates

	¹ H NMR (□/ppm)	¹³ C NMR (□/ppm)	Elementary analysis Calculated / Found
2	6,40 (1H, d, N-H), 4,27-4,13 (2H, q, OCH ₂), 3,57-3,20 (2H, 2q, NCH ₂), 2,15-1,94 (1H, hex, CH(CH ₃) ₂), 1,70-1,52 (2H, sex, CH ₂ CH ₃), 1,05-0,90 (9H, m, CH(CH ₃) ₂ ,CH ₂ CH ₃).	189,8 (C=S), 77,69 (OCH ₂), 44,70 (NCH ₂), 27,70 (CH(CH ₃) ₂), 22,25 (CH ₂ CH ₃), 18,96 (CH(CH ₃) ₂), 1,20 (CH ₂ CH ₃).	%C 60,78; %H 10,66; %N 6,44; %O 7,36; %S 14,75
			%C 60,81; %H 10,70; %N 6,39; %O 7,34; %S 14,76
4	6,17 (1H, d, N-H), 4,26-4,12 (2H, 2d, OCH ₂), 3,90-3,76 (1H, qv, NCH), 2,19-1,92 (2H, m, CH ₂ CH ₃), 1,69-1,42 (4H, m, NCHCH ₃ i CH(CH ₃) ₂), 1,21-0,87 (9H, m, CH(CH ₃) ₂ i CH ₂ CH ₃).	189,16 (C=S), 77,64 (OCH ₂), 50,75 (NCH), 29,22 (CH ₂ CH ₃), 28,84 (CH(CH ₃) ₂), 19,87 (NCHCH ₃), 19,23 CH(CH ₃)CH ₃), 18,96 (CH(CH ₃)CH ₃), 10,20 (CH ₂ CH ₃).	%C 63,62; %H 11,09; %N 5,71; %O 6,52; %S 13,07
			%C 63,58; %H 11,16; %N 5,76; %O 6,46; %S 13,04
5	6,22 (1H, d, N-H), 4,47-4,33 (1H, m, OCH ₂), 4,28-4,15 (1H 2d, NCH), 4,11-3,97 (1H, m, OCH ₂), 2,15-1,90 (1H, m, CH ₂ CH(CH ₃) ₂),	189,12 (C=S), 77,66 (OCH ₂), 45,23 (NCH), 27,66 (CH ₂ CH(CH ₃) ₂), 22,18 (NCH(CH ₃)CH ₃),	%C 54,81; %H 9,78; %N 7,99; %O 9,13; %S 18,29
			%C 54,69; %H 9,82; %N 8,06; %O 9,15; %S 18,28

	1,26-1,12 (6H, q, NCH(CH ₃) ₂), 1,01-0,94 (6H, t, CH ₂ CH(CH ₃) ₂).	21,76(NCH(CH ₃)CH ₃), 18,94 (CH ₂ CH(CH ₃) ₂).	
6	6,40 (1H, d, N-H), 4,28-4,19 (2H, q, OCH ₂), 3,44-3,09 (2H, 2t, NCH ₂), 2,19-1,90 (1H, m, NCH ₂ CH), 1,89-1,74 (1H, qv, OCH ₂ CH), 1,01-0,93 (12H, m, NCH ₂ CH(CH ₃) ₂ i OCH ₂ CH(CH ₃) ₂).	189,94(C=S), 77,75(OCH ₂), 50,40 (NCH ₂), 28,28 (NCH ₂ CH), 27,73 (OCH ₂ CH), 20,05 (NCH ₂ CH(CH ₃) ₂), 19,96 (OCH ₂ CH(CH ₃)CH ₃), 18,97 (OCH ₂ CH(CH ₃)CH ₃)	%C 54,81; %H 9,78; %N 7,99; %O 9,13; %S 18,29
			%C 54,75; %H 9,85; %N 8,11; %O 9,18; %S 18,11
7	6,33 (1H, d, N-H), 4,27-4,17 (2H, q, OCH ₂), 3,61-3,16 (2H, 2q, NCH ₂), 2,15-1,89 (1H, m, NCH ₂ CH ₂ CH), 1,76-1,63 (1H, m, OCH ₂ CH), 1,56-1,38 (2H, m, NCH ₂ CH ₂), 1,01-0,87 (12H, m, OCH ₂ CH(CH ₃) ₂ and (NCH ₂ CH ₂ CH(CH ₃) ₂).	189,63 (C=S), 77,67 (OCH ₂), 37,71 (NCH ₂), 37,29 (NCH ₂ CH ₂), 27,66 (OCH ₂ CH), 25,46 (NCH ₂ CH ₂ CH), 22,29 (NCH ₂ CH ₂ CH(CH ₃)CH ₃), 22,16 (NCH ₂ CH ₂ CH(CH ₃)CH ₃), 18,94 (OCH ₂ CH(CH ₃) ₂).	%C 59,07; %H 10,41; %N 6,89; %O 7,87; %S 15,77;
			%C 59,11; %H 10,38; %N 6,93; %O 7,82; %S 15,76
9	6,32 (1H, 2d, N-H), 4,27-4,16 (2H, 2d, OCH ₂), 2,15-1,81 (3H, m, 1-Cx i 2-Cx), 1,67-1,43 (7H, m, 2-Cx, 3-Cx, CH(CH ₃) ₂).	189,28(C=S), 77,78 (OCH ₂), 56,43 (C1-Cx), 37,78 (C2-Cx), 32,31 (C2-Cx), 27,75 (CH(CH ₃) ₂), 23,56 (C3-Cx), 23,03 (C3-Cx), 18,99 (CH(CH ₃)CH ₃), 18,74 (CH(CH ₃)CH ₃).	%C 57,10; %H 10,12; %N 7,40; %O 8,45; %S 16,94
			%C 57,14; %H 10,04; %N 7,45; %O 8,42; %S 16,95
10	6,23 (1H, 2d, N-H), 3,74-3,66 (1H, m, 1-Cx), 2,12-1,87 (2H, m, 2-Cx), 1,78-1,50 (3H, m, 4-Cx i 2-Cx), 1,44-1,05 (6H, m, 3-Cx, 4-Cx, CH(CH ₃) ₂), 1,00-0,89 (6H, m, CH(CH ₃) ₂).	189,41(C=S), 77,62(OCH ₂), 52,29 (C1-Cx), 32,39 (C2-Cx), 32,05 (C2-Cx), 27,64 (CH(CH ₃) ₂), 25,27 (C4-Cx), 24,60 (C3-Cx), 24,47(C3-Cx), 18,97 (CH(CH ₃) ₂).	%C 59,66; %H 9,51; %N 6,96; %O 7,95; %S 15,93
			%C 59,64; %H 9,58; %N 6,90; %O 7,97; %S 15,91
12	4,22-4,19 (2H, d, OCH ₃), 3,74- NCH ₂ (2H, 2t, NCH ₂), 2,11-1,97 (1H, qv, CH), 1,82-1,52 (4H, m, 2(CH ₂ CH ₃)), 1,00-0,87 (12H, qv, N(CH ₂ CH ₂ CH ₃) ₂) i CH(CH ₃) ₂),	187,76 (C=S), 77,64 (OCH ₂), 27,79 (CH(CH ₃) ₂), 21,20 N(CH ₂ CH ₂ CH ₃) ₂), 19,83 (CH(CH ₃)CH ₃) 19,08(CH(CH ₃)CH ₃), 11,18 (CH ₂ CH ₃),	%C 61,35; %H 9,83; %N 6,50; %O 7,43; %S 14,89
			%C 61,39; %H 9,78; %N 6,48; %O 7,50; %S 14,85

		11,07 (CH ₂ CH ₃).	
13	4,22-4,19 (2H, d, OCH ₂), 3,77-3,70 (2H, t, N(CH ₂) CH ₂), 3,45-3,38(2H, t, N(CH ₂) CH ₂), 1,75-1,50 (4H, m, N(CH ₂) ₂ (CH ₂) ₂), 1,40-1,23 (5H, qv, 2(CH ₂ CH ₃) i CH(CH ₃) ₂), 1,00-0,90 (12H, m, CH(CH ₃) ₂ i 2(CH ₂ CH ₃))	187,59(C=S), 77,64 (OCH ₂), 48,65 (N(CH ₂) ₂) 29,99 (N(CH ₂) ₂ (CH ₂) ₂), 28,70 (CH(CH ₃) ₂), 20,05 ((CH ₂) ₂ (CH ₃) ₂), 19,97(CH(CH ₃)CH ₃), 19,10 (CH(CH ₃)CH ₃), 13,71 (CH ₂ CH ₂ CH ₃), 13,66(CH ₂ CH ₂ CH ₃).	%C 57,10; %H 10,12; %N 7,40; %O 8,45; %S 16,94 %C 57,14; %H 10,16; %N 7,35; %O 8,43; %S 16,92

Table 7. FTIR and MS data of N-alkyl, N,N-dialkyl i N-cykloalkyl-O-n-butylthioncarbamates

Compound	IR, $\nu_{\max}$ cm ⁻¹	MS m/z
2	3259, 3051, 2963, 2935, 2875, 2727, 1705, 1524, 1464, 1406, 1332, 1262, 1199, 1124, 1037, 989, 891, 780	175,29
4	3246, 2966, 2934, 2876, 2727, 1701, 1519, 1456, 1403, 1330, 1272, 1202, 1123, 1049, 1022, 998, 782, 723	189,32
5	3248, 2969, 2935, 2874, 1700, 1519, 1475, 1403, 1368, 1314, 1205, 1120, 1039, 96, 728	175,29
6	3252, 2961, 2934, 2873, 1522, 1468, 1406, 1385, 1332, 1201, 1126, 1090, 997	189,32
7	3259, 2959, 2935, 2873, 1522, 1469, 1405, 1367, 1326, 1243, 1194, 1125, 1046, 989	203,34
9	3251, 2960, 2872, 2111, 1698, 1653, 1519, 1470, 1404, 1347, 1293, 1203, 1168, 1088, 1050, 991, 964, 738, 653	201,33
10	3399, 3244, 2933, 2855, 2662, 2103, 1700, 1515, 1450, 1403, 1347, 1251, 1172, 1015, 970, 892, 744	215,36
12	2964, 2934, 2875, 2730, 1700, 1499, 1465, 1422, 1370, 1318, 1285, 1247, 1226, 1172, 1044, 965, 938, 894, 751	217,37
13	2960, 2933, 2873, 2732, 1735, 1690, 1652, 1501, 1466, 1423, 1274, 1210, 1170, 1042, 965, 916	245,42

Based on the results of laboratory tests on the synthesis of N-alkyl, N,N-dialkyl and N-cycloalkyl-O-n-butylthiocarbamates obtained in this work, semi-industrial syntheses of N-ethyl-O-n-butylthiocarbamate, N,N-di-n-propyl-O-n-butylthiocarbamate and N,N-di-n-butyl-O-n-butylthiocarbamate by the NaButXAc aminolysis reaction according to the attached technological scheme shown in Figure 4. The results of semi-industrial syntheses are given in Table 8.

reaction achieves satisfactory yields and product quality, lower yields are achieved by catalyzed reactions, while in the oxidation reactions of amine salts of xanthogenic acid, the highest yield is achieved by using potassium peroxodisulfate. The structure of the synthesized compounds was confirmed by FTIR, ¹H and ¹³C NMR spectroscopy, as well as by MS spectrometry, and the purity was determined by GC analysis.

Based on the reproductive results characterized by a high degree of conversion, a possible semi-industrial solution of the defined laboratory procedure for the synthesis of thiocarbamate by aminolysis of NaButXAc is presented. Taking into account the importance of the synthesized compounds as selective flotation reagents, by applying a new optimal procedure for their synthesis, significant improvements are achieved in terms of: yield and purity of the obtained compounds, simplicity of the procedure, low impact on the environment and short time of synthesis compared to known synthesis procedures.

REFERENCE

- [1] W. Walter, K.D. Bode, *Syntheses of thiocarbamates*, *Angew. Chem.* **79** (1967) 281-293.
- [2] A.B. Glazsrin, A.N. Denisov, V.P. Talzi, B.P. Savin, *Tiokarbamats, Prommiilennostm po proizvodstvu mineralnih udobreniy, seriz, Himicheskie sredstva zaoitmi rasteniy, Nauchno-isledovalteski institut Tehniko-ekonomicheskii isledovanii, Moskva, 1988, pp. 1–32.*
- [3] D. Minić, *Hemija pesticida, Beograd (1944), str. 282.*
- [4] P.T. Agrawal, Y.A. Ali, S.P. Deshmukh, *Antibacterial and antifungal activities of some novel N-lactosides*, *Int. J. Chem. Sci.* **7** (2009) 775–783
- [5] Y Zhou, L Wang, L Han, F Meng, C Yang, *Synthesis, antifungal activities, and potential detoxification of N-(2,3,4,6-tetra-O-acetyl-β-D-glucopyranosyl)thiocarbamates*, *Carbohydr. Res.* **344** (2009) 1289–1296.
- [6] V.P. Savin, V.P. Talzi, N.O. Bek, *Carbon-13 and proton NMR studies of salts formed as a result of the reaction of heterocumulenes: carbon dioxide, carbonyl sulfide, and carbon disulfide with secondary amines*, *Zh. Org. Khim.* **20** (1984) 1842-1851.
- [7] M.M. Milosavljević, S. Ražić, *Vaprosy himii i himicheskoi tehnologii* **3** (2005) 50-54.
- [8] A. Gerstner, *Herbicide formulation for direct application*, DE102008032537(2010).
- [9] F. Kunihiro, S. Kuniaki, O. Haruki, *Germicidal nad acaricidal compositions*, *US patent 4101670* (1978).
- [10] J. K. Rinehart, *S-naphthyl N-alkylthiolcarbamates*, *US patent 4059609* (1977).
- [11] J. K. Rinehart, *Method of controlling pea aphids*, *US patent 4055656* (1977).
- [12] Kuchikata M, Ikari H, Kuyama H, *Metallic salts of polydithio-carbamic acid as microbiocides and algicides*. JP54028817 (1979)
- [13] Kunihiro F, Kuniaki S, *Germicidal and acaricidal compositions*, *US patent 4101670* (1978).
- [14] H. Kisida, M. Hatakoshi, *Thiocarbamate compounds, and their use*, *US patent 4486449* (1984)
- [15] M. Milosavljević, *Doctoral dissertation, Kinetics and optimization of synthesis reactions thione- and thiolcarbamate*, Leskovac, 2006, p. 1-5.

- [16] H. Millauer, G. Edelmann, Process for the preparation of thiocarbamic acid O-esters, U.S. Patent 3963768 (1976).
- [17] G. Calcagno, Preparation of thion- and thiol-carbamic esters, U.S. Patent 4298 (1981). 524
- [18] B. Movassagh, M. Soleiman-Beigi, Synthesis of thiocarbamates from thiols and isocyanates under catalyst and solvent-free conditions, *Monatsh. Chem.* **139** (2008) 137–140.
- [19] V.J. Hall, G. Siasios, E.R.T. Tiekink, Triorganophosphinegold(I) Carbonimido- thioates, *Aust. J. Chem.* **46** (1993) 561–570.
- [20] M. Milosavljević, A.D. Marinković, S. Đorđević, Sinteza N- i N,N-dialkil-S-alkiltiol-karbamata premeštanjem N- i N,N-dialkil-O-alkiltionkarbamata, *Hem. Ind.* **60** (2006) 27-32.
- [21] B. Movassagh, Y. Zakinezhad, A New one-pot synthesis of thiocarbamates from isocyanates and disulfides in the presence of Zn/AlCl₃ System, *Chem. Lett.* **34** (2005) 1330–1331.
- [22] F. Karrer, Phenoxy-phenoxy-alkyl-thionocarbamate compounds, U.S. Patent 4060629 (1977).
- [23] P. Reich, D. Martin, Cyanic acid esters. IV. Molecule spectroscopic investigations of cyanic acid esters, *Chem. Ber.* **98** (1965) 2063–2069.
- [24] W. Walter, K.D. Bode, Oxidation products of thiocarboxylic acid amides. XV. Oxidation of thiocarbamic acid O-aryl esters to ortho-substituted aryloxyiminomethanesulfenic acids, *Ann.* **698** (1966) 122–130.
- [25] G. Jonhson, M.F. Rafferty, Amide, sulfonamide, urea, carbamate, thiocarbamate, and thiourea derivatives of 4-hydroxybenzylamine having anti-inflammatory and analgesic activity, U.S. Patent 4980366 (1990).
- [26] S.S. Milisavljević, A. D. Marinković, M. M. Milosavljević, A new procedure for the synthesis of N-alkyl- and N,N-dialkyl-O-ethyl-.and O-isopropylthiocarbamates by oxidation of amine salts of xanthogenic acid,. *Chem. ind.* **64** (5) (2010) 401–409.
- [27] L. Eisenhuth, H. G. Zengel, Proces for the preparation of thiuram disulfides, US patent 4459424 (1984)
- [28] M. Milosavljevic, M. Sovrlić, A. D. Marinkovic, D. D. Milenković, *Monats. Chem.* **141** (2010) 749.
- [29] V. K. Tiwari, A. Singh, H. A. Hussain, B.B. Mishra and V.Tripathi, One-Pot Convenient and High Yielding Synthesis of Dithiocarbamates, *Monats. Chem.* **138** (2007) 653-658.

Predrag Pravdić, Violera Đorđević, Jelena Erić-Obućina, Vladan Obućina
(*Akademija vaspitačko-medicinskih strukovnih studija, Odsek tehničko-tehnoloških studija Kruševac; Akademija strukovnih studija Šumadija, Trstenik; Vojska Srbije, Srbija*)

RECYCLING OF WASTE MOTOR OILS AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT

The development and production of lubricants has always been influenced by requirements for the protection of the environment and human health, which is understandable because lubricant producers affect the state of the environment, directly - through emissions and discharges as a result of the technological process, but also indirectly - through the use of finished products in application. One percent of the world's total oil refining is used for the production of lubricants. In the countries of the European Union, about 13 percent, and in America about 32 percent, of used lubricants end up more or less changed in the environment.

На розробку і виробництво мастильних матеріалів завжди впливали вимоги щодо захисту навколишнього середовища і здоров'я людини, що зрозуміло, оскільки виробники мастильних матеріалів впливають на стан навколишнього середовища безпосередньо - через викиди і скиди в результаті технологічного процесу, але також опосередковано - через використання готової продукції в аплікації. Один відсоток загальної світової переробки нафти використовується для виробництва мастильних матеріалів. У країнах Європейського Союзу близько 13 відсотків, а в Америці приблизно 32 відсотки використаних мастильних матеріалів потрапляють у навколишнє середовище більшою чи меншою мірою зміненими.

1. Introduction

Today, in the era of strengthening the ecological awareness of individuals and communities, the environment, i.e. its protection, is gaining more and more importance in every human activity, including in industrial production, where both technology and products can be harmful. Increasing pollution of the environment is only one of the negative consequences brought about by technological development, along with the positive ones. The greatest benefit from society's efforts to prevent the pollution of the chain of life - air, land and watercourses, and thus endangering the lives of plants, animals and people - is in the development of human awareness of the need to preserve the environment. The question of how the production technology and the products themselves affect the environment is becoming an increasing concern of every branch of industrial activity. The development and production of lubricants has always been influenced by requirements for the protection of the environment and human health, which is understandable because lubricant producers affect the state of the environment, directly - through emissions and discharges as a result of the technological process, but also indirectly - through the use of finished products in application. Advances

in technology have also had a negative impact on the environment, so today every branch of industry is increasingly concerned about how its product affects the environment, and the oil industry is no exception. One of the major pollutants are used industrial oils. Pollution with used oils is a current problem, and it is especially pronounced when owners (of cars, trucks, agricultural machines, etc.) change and dispose of used oils in an uncontrolled manner. Used oils belong to the category of hazardous technological waste, so their disposal prevents possible environmental pollution caused by their improper disposal, i.e. possible spillage. One percent of the world's total oil refining is used for the production of lubricants. In the countries of the European Union, about 13 percent, and in America about 32 percent, of used lubricants end up more or less changed in the environment. Used lubricants have a very harmful effect on the environment, primarily on water pollution, and thus on the health of people, fish and bacteria.

1) Akademija vaspitačko-medicinskih strukovnih studija, Odsek tehničko-tehnoloških studija Kruševac Srbija, thepera81@gmail.com

2) Akademija strukovnih studija Šumadija, Trstenik, Srbija, vdjordjevic@asss.edu.rs

2) Akademija strukovnih studija Šumadija, odsek Trstenik, Srbija, jeric@asss.edu.rs

3) Vojska Srbije

2. Motor and industrial oils

The most significant is the pollution of underground and surface water, and according to some data, a fifth of all polluted water originates from waste oil. A concentration of oil in water of only 1-2 mg per liter already makes the water undrinkable and harmful to health. Another type of danger appears when burning category I and II waste oils. Analyzes of waste oils are defined in the rulebook on types of waste. For used oils intended for thermal utilization, the following parameters are tested: appearance, flash point, temperature value, proportion of halogens, sulfur, water, ash, PCB (polychlorinated biphenyls) and heavy metals, according to the analytical methods specified in the Legal Provisions. They are used to lubricate the cylinders of all types of internal combustion engines, i.e. gasoline (Otto) and diesel engines of all types and types. Motor oils must meet the following requirements: lubricity, cooling, corrosion protection, maintenance of engine cleanliness, optimal ratio of viscosity and different temperatures at which the engine operates, thermal stability, etc. Engine oils are subjected to very difficult operating conditions, especially in diesel or aircraft engines. These oils have multiple roles, i.e. they lubricate, cool, suppress friction and corrosion. Therefore, the oil must have good lubricating properties, chemical stability, high viscosity index and low melting point. Viscosity index (i.v.) and viscosity are the most important properties of motor oils. Viscosity is a measure of the internal friction of a fluid. The viscosity index expresses the change in

viscosity with a change in temperature, and is represented by a relative empirical scale of 0 - 100. A viscosity index of 100 indicates an oil that changes little in viscosity with a change in temperature. Paraffin-based motor oils show a viscosity index close to 100, naphthenic around 40, and aromatic oils have a viscosity index of 0 and below. Oils with a viscosity index below 40 are designated as low viscosity index oils, those with 40 to 80 as medium viscosity index oils, and oils with a viscosity index above 80 are designated as high viscosity index oils. Oils with a high viscosity index are used in aircraft engines and cars that operate at very low temperatures, or in instruments that are subjected to very large temperature changes. Medium viscosity index oils are suitable for almost all industrial engines and cars in warm climates. Oils with a low viscosity index are used in most industrial lubrication and for diesel engines.

3. Collection of waste oils

Owners of waste oils are obliged to ensure the collection and temporary storage of waste oils generated by their activities. Mixing of waste oils of different categories, mixing with other waste as well as mixing with hazardous waste containing PCB/PCT is prohibited. It is allowed to mix only waste oils of category I and II according to the regulations, which are handed over to an authorized collector for shipment for heat treatment. Tanks for the collection of waste lubricating oil must be leak-proof and closed, and in addition to the prescribed mark of the key number of the waste oil, they must also bear the mark of the category of waste oil. Owners of waste oils are obliged to ensure that waste oils are collected separately from other waste in special tanks. Tanks for the collection of waste oil must be leak-proof and closed and bear the mark of the key number of the waste oil (Figure 1.)



Figure 1. Tanks for the collection of waste oil

The authorized collector of waste oils is obliged to collect waste oils from the owners of waste oils without compensation, then hand them over to the authorized

center for the recovery of waste oils to be determined by the fund, also without charging compensation. For cases where there is no company for the material recovery and/or thermal treatment and/or disposal of oil for the collected waste oils in a certain territory, the authorized collector is obliged to organize the recovery and/or disposal of the waste in question outside that territory with prior consent and has the right to cover costs to be borne by the owner.

4. Generation of waste oils, recycling, processing and possibility of reuse of used oils

Sludges and oily waste represent the greatest danger to nature and our environment, especially when they are handled improperly. Irresponsible handling of these materials can cause many accidents and also serious long-term negative impacts on both the natural environment and people's quality of life. Sludges are often production waste resulting from various industrial processes. These materials are in paste or liquid form and are therefore harmful to the environment when not treated and stored properly. Most of these materials are hazardous and require special handling to minimize risk. Waste oils and oil waste are materials that mainly come from industrial production, but also from everyday traffic. Due to the potentially negative impact of these materials on the environment, it is important to handle them properly and with care. Oil from motor vehicles (cars, tractors, various agricultural machines) is also counted as waste oil, and it is one type of waste oil generation.

In contrast, used oil can be separated as follows:

- clean oils, such as transformer oils or oil from hydraulic drains, which rarely come into contact with rotating elements,
- dark oils, such as motor oils that contain many degradation products.
- water-oil emulsions used for processing iron elements are difficult to regenerate, since they contain additives.

Since the specificity of the marketing of lubricants and related products is based on the close relationship between the manufacturer and the end user, who expects the manufacturer's help in solving a whole series of issues, among others, the solution for removing the used lubricant. The problem of disposal of hazardous waste is generally given too little importance by certain categories of waste producers, collectors and processors. Therefore, the goal is to familiarize the producer of hazardous waste with the handling of such waste as well as the choice of waste collectors and processors. If the familiarization with hazardous waste, in our case used lubricant, is done by the oil manufacturer, it represents a special quality of service, because the lubricant manufacturer knows what it offers to the market and gives the best advice for dealing with used lubricant - hazardous waste. During the exploitation of lubricants, oils are exposed to numerous physical, chemical and thermal effects. Under the influence of these factors, their physical and chemical properties change due to decomposition, oxidation, pollution with dust particles,

metal filings, water, etc. Regardless of all the changes that occur during oil application, used oils can be successfully re-refined by certain, precisely defined technological procedures, and the obtained re-refinates can be used again in the form of different types of lubricants. The results of all toxicological and chemical research so far show that used oils are dangerous environmental contaminants. Therefore, special care must be taken when handling used lubricating oils. Two technological procedures are most often used for the disposal of used oils in order to protect the environment: controlled burning in special furnaces, processing as a secondary raw material, which includes regeneration and re-refining.

5.1. Burning

Incineration, for example, in Slovenia is partially regulated. Several companies are authorized for burning. Waste oils are burned as an energy source, for which the collectors receive a salary according to the criteria set by the processor, that is, the remover. Enterprises have furnaces that allow burning at high temperatures, where many harmful elements burn into stable compounds, which are almost harmless. Even for those burners, it is necessary to prepare the waste oil (the procedures are described below). Collection is relatively expensive, but businesses manage to find their interest. Current legislation defines processed oil as a special waste, which can be burned in certain furnaces. The variant of the burner and the conditions of obtaining determine how the waste oil will be treated. Most of the waste oil would be suitable for processing into fuels. In contrast, regeneration costs are relatively high and the market hardly accepts such products compared to new oils. In addition, they are hardly comparable to fresh ones on the market. Combustion of waste, unprocessed motor oils in inappropriate furnaces causes a lot of damage to the environment. Heavy metals, toxic gases (Sox, Nox, HCl) and toxic combustion residues go into the air with the emissions. Very toxic PCBs and PCTs are formed in electrical devices (eg transformers), which are very stable in cold oils. It is impossible to remove them during re-refining. According to the Basel Convention, their use is very limited. Incineration is carried out in furnaces with a power of more than 3 MW, in which instantaneous combustion is ensured at temperatures higher than 1200 and complete control of flue gases.

5.2. Re-refining

Re-refining produces various base oils and by-products in many different technologies. In essence, all these technologies tend towards base oil for lubricants, primarily mineral hydrocarbons with an increase in the share of synthetic petrochemical products by separating them from synthetic additives and other products, which are created in exploitation. There appears a discrepancy between the desire for various quality base oils and the cost of complex and expensive equipment. Re-refining is mainly the cleaning and removal of solid particles and

water from the used oil. It circulates through certain devices, where it is gradually cleaned. Re-refining is used for highly polluted used oils, where conditioning is not sufficient. The complex process not only removes impurities, such as dissolved substances, water, gases, etc. but also acids, soluble products, inferior oils, unsaturated compounds, sulfur, colored compounds and odors. The re-refining process is similar to the refining of base oils. Re-refined products are similar to new lubricant oils from the refinery. After the cleaning process, the oil is processed in special containers before being fractionated into various ingredients. The weak side of the procedure is that the complex process requires very sophisticated and therefore very expensive equipment. For the same amount of base oil, obtained on the basis of re-refining, ten times the amount of crude oil and four times the amount of energy are required. There is a basis for striving for re-refining - because of the environment.

5.3. Reconditioning

Reconditioning is used mainly as a previous stage of other methods. Reconditioning (restoration, washing) is composed of various procedures, such as filtering and separation. Mostly, in this procedure, highly polluted particles are excreted, which represent a relatively small part of the by-product. The process produces more polluted, more complex lubricating products which, after additional processes, yield base oils and a large part of secondary products. Reconditioning consists of several procedures, such as: mechanical separation, seeding, settling, filtration, absorption, centrifugal separation, magnetic separation and vacuum dehydration. Mechanical separations separate impurities that are soaked in oil, such as mud, various fibers, metal particles and water. Screening is the lowering of oil through metal screens to remove coarse impurities. Settling (seeting) gravitationally separates particles of higher specific gravity (metal particles, water, mud). The process is lengthy. Filtration cleans the finest floating impurities, which cannot be removed by previous procedures (paper, textiles, metal particles, ceramics). We mainly have two filtrations: air (under high pressure) and depth for adsorptive and absorbent media. Absorption removes insoluble oxides from the oil. Adsorption is a more complicated process (it is used to remove active components, colors and odors). Centrifugal separation is more efficient than mechanical separation. It is used for oil cleaning and separation of individuality. It is very fast and efficient. Magnetic separation is used to separate metal particles from used oils, especially workable ones. Vacuum dehydration is a procedure where impurities are removed by distillation under vacuum, such as e.g. solvents and the like. The vacuum prevents oil oxidation. This procedure also removes the remains of light acid molecules. Various combinations of the listed procedures with very complex and diverse equipment are used (steam filters, vacuum ultra filters, working wave vacuum centrifuges, etc.).

5.4. Refinement

At present, a dozen technological procedures are applied in the world, which are based on already known refining procedures. One part of the procedure is based on acid refining with sulfuric acid and treatment with bleaching clay, while the other part of the procedure is based on extraction with different extraction agents or the application of hydrogen in the re-refining process. It is characteristic of extraction procedures that in most cases a minimal amount of waste is produced, and often no waste is produced. Acid refining processes with sulfuric acid are characterized by the creation of a smaller or larger amount of waste material that needs to be disposed of in an environmentally friendly way. In general, the factors that have the greatest influence on the choice of refining procedure for the processing of used oils are:

- composition and quantity of used oils,
- re-refining summary,
- quality of re-refined,
- type and amount of waste products,
- the method of disposal and the possibility of using nus products,
- energy needs,
- environmental protection (emission of flue gases and waste water).

Used metalworking oils, transformer oils and some types of synthetic lubricants are not suitable secondary raw materials for re-refining. After use, they are usually used as industrial fuel, most often in special furnaces in brick or cement factories with complete control of combustion and the chemical composition of flue gases. It is important to note that lubricating greases cannot be regenerated or re-refined. The only way is burning in special furnaces. In the event that used lubricating oils are used in furnaces in workshops, service centers, greenhouses, etc. which are not intended and adapted for such fuels, very toxic and carcinogenic smoke and gases are produced that significantly pollute the atmosphere. As a secondary raw material for re-refining, used motor, transmission, hydraulic and compressor oils are most often used. Re-refined products obtained by re-refining used oils can be used for the production of different types of lubricants. Export would be the last option in case there is no possibility of incineration or regeneration in the home country. And this can be partially regulated by taxes, which can greatly affect the claim in the home country (burning). In Europe, the demand for used oils is increasing rapidly, primarily as an energy source for combustion. Many countries also export it. This increases the opportunities for export, but it would not help our economy, because we import liquid energy. On the other hand, that same energy potential would be exported as a result of poor organization. The United States of America stands out as one of the many examples. In the USA, approximately 3,375,000 tons of used motor oil are processed each year:

- 14% for recycling

- 43% energizing agent for asphalt bases
- 12% energy for power stations
- 12% energy for steel mills
- 5% energy for cement factories
- 5% energy source for naval steam boilers
- 4% energy source for wood and paper processing
- 5% other.

6. Impact of used (waste) oils on the environment

Regardless of the degree of refining of the base oils from which they are produced and regardless of the concentration and character of the additives they contain, waste lubricating oils are often characterized by toxicity and carcinogenicity. The bearers of such properties are various contaminants and oil degradation products that become during use. The degree of toxicity and the potential for carcinogenicity depend on the concentration and nature of the contaminants, i.e. degradation products. Contaminant and degradation product concentrations depend on the length of use of the oil, operating conditions and some characteristics of the engine or industrial systems. Among foreign contaminants, the following were registered:

- lead compounds and other products of fuel combustion, and polycyclic aromatics originating from fuel - in motor oils,
- polychlorodiphenyls and polychlorotriphenyls,
- various solvents, chlorinated hydrocarbons,
- metal filings from cutting oil,
- microorganisms in waste emulsions.

During one period of use, the concentration of polycyclic aromatics increases tenfold in diesel engine oil, and one hundredfold in gasoline engine oil. This means that waste oil from gasoline engines is a bigger environmental problem than oil from diesel engines. However, solid particles in the exhaust gases are also an environmental problem with diesel engines. Hydrocarbons of unburned fuel and unburned oil are adsorbed on them. In addition to the increasing concern of waste oil collection, a huge amount is lost in various ways. There are many possibilities, and the most frequently mentioned are the following:

- spillage during handling
- leakage due to faulty packaging, industrial systems and engines
- burning during use
- spillage during replacement and uncontrolled dumping into garbage, soil, sewage, watercourses.

The biggest environmental problem is individual passenger vehicles, i.e. drivers who change the oil themselves and most often throw it where they arrive. Waste oil can be directly burned in a suitable plant. Incineration is carried out in special furnaces in which instantaneous combustion is ensured at temperatures above

1,200 °C and complete control of flue gases. Waste lubricating greases are incinerated because they cannot be regenerated or re-refined. In the case of burning waste lubricants, it is necessary to have a precise and reliable control of the emission of harmful substances that are created as combustion products, such as e.g. : Pb, Ba, Ca, Mg, Zn, Al, Cr, Cu, Fe, Si and Sn which come from metal-organic compounds - additives. Of the other inorganic elements whose presence is significant, the following should be singled out: S, N, P, Cl and Br. A precise control of all present undesirable impurities must be carried out in order to prevent the uncontrolled release of very harmful acidic oxides: NO_x, N₂O, SO₂, P₂O₅ as well as some halogen acids, polycyclic organic compounds that arise from corresponding polycyclic aromatic compounds. Re-refining produces re-refined base oils, which are used for the production of new lubricants. After separating coarse mechanical impurities, operations such as atmospheric and vacuum distillation, solvent or hydrorefining and others are combined. There is an increasing number of companies in the world that deal with re-refining, that is, the production of re-refined base oils. Regeneration is a relatively simple procedure. Operations include gravity settling of water and other coarse contaminants, oil separation by decantation, and filtration or centrifugation. It can be performed at the user's location, and is applied to hydraulic, reduction, turbine and compressor oils, which have not undergone chemical degradation changes. Engine oils cannot be regenerated. They are contaminated with products of oxidation and thermal decomposition of hydrocarbons, degradation products of additives, water, fuel, carbon and metal particles, and various external contaminants. These oils are directed to re-refining, if they meet the conditions regarding the content of chlorine and polychlorinated diphenyl. Degradation of oil during exploitation cannot be prevented, but it can be slowed down by regular maintenance and proper use of the engine. The period of use of engine oil depends on the oil quality, fuel quality, operating conditions, environmental conditions, age and condition of the engine and many other factors. Rapid contamination, and therefore rapid degradation of the oil, indicate malfunctions in the engine. Regular maintenance can ensure a longer service life for both the oil and the engine. This refers to: the sleepiness and cleanliness of the engine, operating temperatures, fuel supply, ignition and combustion. Over time, the additives wear out and cold and hot deposits, metal filings and acidic substances accumulate in the oil. If the oil is not changed before the additives are used up, there will be engine damage and costs far greater than the cost of a single oil fill. Therefore, the degree of degradation should be determined in time and, based on that, determine the right moment to change the oil. The remaining period of use of engine oil (RUL - Remaining Useful Life) during exploitation can be determined on the basis of laboratory analysis of oil samples from the engine. Based on the physical and chemical data obtained through laboratory analyses, it can be concluded how much an oil has lost its original properties during use, that is, how long it can still be used in the engine. During engine operation, due to increased temperatures, greater contact of oil

droplets with oxygen and the catalytic action of metal particles and metal surfaces, significant physical and chemical changes occur in engine oil. Based on the analysis of these physico-chemical data of the engine oil in use, it is possible to estimate the remaining useful life of the oil (RUL), i.e. to estimate how long the oil can still be used in the application, without causing unwanted consequences on the engine and reducing the quality of the exhaust gases from the aspect of ecology.

Facilities for the preparation and processing of oil and gas, power plants for the transformation and transport of electricity, as well as other energy facilities and facilities can have a significant impact on the environment, especially in accidental situations or breakdowns. The presence of sulfur oxides in the combustion products is a consequence of the oxidation of sulfur from the fuel, which in the combustion process is mostly oxidized to sulfur dioxide - SO_2 , and to a lesser extent to sulfur trioxide - SO_3 . In the atmosphere, SO_2 is further transformed into SO_3 , which with moisture from the air forms fine droplets of sulfuric acid. These wind-blown droplets fall to the ground, causing a gradual decrease in its pH value. An increase in soil acidity slows down the growth of forests and other plants, and an increase in water acidity has a detrimental effect on the growth of flora and fauna in the water. As a result of SO_x emissions, acid rains occur, which have a pronounced harmful effect on plants, and can also cause corrosion. Research has shown that burning coal is by far the largest source of sulfur dioxide emissions. Fuel oil and heating oil contain sulfur, but in a smaller percentage than coal, so that burning emits less SO_2 per unit of energy produced. Nitrogen oxides, commonly referred to as NO_x , have come into the spotlight in recent years, as they have been identified as the cause of many unwanted phenomena. Their harmful effects are related to: the impact on human health, the reduction of visibility and the creation of photochemical smog - the result of NO_x reactions with organic substances in the presence of sunlight, the destruction of ozone in the upper layers of the atmosphere, the creation of harmful ozone in the lower layers of the atmosphere and the creation of acid rain. Over 90% of the nitrogen oxides emitted due to the combustion process are nitrogen monoxide NO , while the rest is nitrogen dioxide NO_2 . However, as nitrogen monoxide NO is converted to nitrogen dioxide in the atmosphere, most environmental regulations treat all nitrogen oxides as NO_2 . By burning fossil fuels, in addition to harmful gases that are emitted, particles are also emitted. The particles further initiate the binding of other substances, influencing the formation of smog in the lower layers of the atmosphere. How many particles will be emitted into the atmosphere depends primarily on the type of energy used, and then on the sector of use, which determines the combustion mode, the existence of filters, etc. The emission of particles and ash from energy consumption in households is conditioned by the existence of a smaller number of boiler plants, which are usually not equipped with devices for management and regulation, as well as the practice of not installing more efficient filters in such plants. Plants in industry usually do not operate at optimal load, often change load, or shut down, all of which contribute to the increase in emissions. In general, from

the point of view of particle emissions, the most favorable is the use of natural gas, and the least favorable is the use of solid fuels, primarily coal. CO₂ is emitted into the atmosphere by the decomposition of solid waste and the burning of fossil fuels (coal, oil, natural gas), wood and wood products, and logging, as natural absorbents, also contributes significantly to this emission. Methane is emitted during the production and transportation of coal, natural gas and oil. Methane emissions are also a result of the decomposition of organic municipal waste and the increase in the number of farms. The increase in ozone content in the troposphere is related to the formation of photochemical smog on a regional scale. NO_x is emitted during agricultural and industrial activities, as well as during the burning of solid waste and fossil fuels. Gases with a very strong greenhouse effect, whose origin is exclusively anthropogenic, are chlorofluorocarbons that are produced in various industrial processes and are used in cooling devices, sprays, etc. Gases with a greenhouse effect occur in stationary thermal energy facilities as a result of burning fossil fuel for energy production. Carbon dioxide, methane and nitrous oxide are emitted directly by burning fossil fuels. Emission sources can be boilers, heaters, fireplaces, ovens, dryers and other equipment or devices that use fuel. Figures 2. and 3. show the consequences of untimely replacement or use of low-quality oil. Therefore, in addition to the correct selection, oil should be purchased from proven manufacturers and sellers.



Figure 2. and 3. Oil leakage on the seals and Damage to the piston

Conclusion

The negative impact of improper handling of waste motor oils is manifold. Contamination of watercourses and soil is the most common. In surface watercourses, there is the creation of a surface film that prevents the penetration of oxygen into the water and thus the reduction of the living conditions of a large number of plant and animal species, the intoxication of microorganisms and the creation of toxic substances. The presence of oil in waterways is a particular danger. protective sanitary zone, which serves to supply settlements and industry with high-quality water. According to some statistical data, one fifth of water pollutants comes from used oils. According to other data, for the sake of

illustration, one ton of used oil in water corresponds in terms of its bad effects to the amount of classic wastewater generated by a settlement of 40,000 inhabitants. You should also know that one liter of oil contaminates a million liters of water, that is, that a concentration of used oil in water of 1-2 mg/l makes the water undrinkable and dangerous to health. The microflora of the surface layers under the influence of waste oils becomes dead for the plant life for a long period of time. Using oil as an energy source in an inadequate way is a big threat to the quality of the atmosphere. In the conditions of the constant increase in energy prices, the use of waste oil in a technically incorrect way is very common, because usually improper burners are used, and the combustion process itself is carried out at low temperatures without the necessary monitoring of the combustion process itself and the concentration of emitted compounds. Bearing in mind the chemical composition of used oil in terms of content of sulfur, nitrogen, chlorine, phosphorus, compounds from additives, and others, combustion products are very harmful to human health, including the fact that some of them have carcinogenic properties.

REFERENCES

- [1] Alberts, Bruce; Johnson, Alexander; Lewis, Julian; Raff, Martin; Roberts, Keith; Walter, Peter. *Molecular Biology of the Cell*. New York: Garland Science, 2002, pp. 62, 118-119.
- [2] Kvenvolden, Keith A. (2006). "Organic geochemistry – A retrospective of its first 70 years". *Organic Geochemistry*. 37: 1. doi:10.1016/j.orggeochem.2005.09.001.
- [3] R.H. Schlosberg, J.W. Chu, G.A. Knudsen, E.N. Suci and H.S. Aldrich, *High stability esters for synthetic lubricant applications*, *Lubrication Engineering*, February 2001, p. 21-26
- [4] ASTM D97 – 12 *Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products*". Retrieved 25 September 2015.
- [5] "Troubled waters: Who Would Believe NASA Used Whale Oil on Voyager and Hubble?". *Knight Science Journalism at MIT*.
- [6] U.S. Energy Information Administration (EIA) — Retrieved 2011-10-02.
- [7] "How Car Engines Work". *How Stuff Works*. Retrieved 25 September 2015.
- [8] Kostianoy, Andrey G.; Lavrova, Olga Yu (2014-07-08). *Oil Pollution in the Baltic Sea*. Springer. ISBN 9783642384769

Наукове видання

МОЛОДА НАУКА - РОБОТИЗАЦІЯ І НАНО-ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Збірник наукових праць

**Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції
12-14 квітня 2023 р.**

За загальною редакцією

д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського and

Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 12,78.
Обл.-вид. арк. 12,27. Тираж 100 пр. Зам. № 4

Видавець і виготівник

Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №1633 від 24.12.2003