

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**



**ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ.  
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ**  
**ІХ Міжнародної**  
**науково-технічної конференції**

Краматорськ 2011

## УДК 621.9

Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали дев'ятої Міжнародної науково-технічної конференції 31 травня – 3 червня 2011 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 128 с.

**ISBN 978-966-379-496-9**

В збірнику наведені матеріали до вирішення актуальних проблем важкого машинобудування, конструювання, виготовлення та експлуатації машин, верстатів, інструментів, розробки та впровадження прогресивних енергозберігаючих технологій.

### МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова

**Федорінов В.А.**, к.т.н., проф., ректор ДДМА

Члени комітету:

**Алієв І.С.**, д.т.н., проф., проректор з НДР ДДМА

**Антошок В.С.**, д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"

**Братан С.М.**, д.т.н., проф., зав. каф. СевНТУ

**Бушуєв В.В.**, д.т.н., проф., зав. каф. МДТУ "СТАНКИН", Росія

**Вітренко В.О.**, д.т.н., проф., зав. каф. СУНУ ім. В. Даля

**Внуков Ю.М.**, д.т.н., проф., проректор з НДР ЗДТУ

**Гавриш А.П.**, д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"

**Грабченко А.І.**, д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"

**Гусєв В.В.**, д.т.н., проф., зав. каф. ДонНТУ

**Дашич П.**, проф. ВТМІ, Трстенік, Сербія

**Дюбнер Л.**, докт.-інж., проф., МТУ, Магдебург, Німеччина

**Залога В.О.**, д.т.н., проф., зав. каф. СумДУ

**Ілларіонов Р.**, проф., проректор ТУГ, Болгарія

**Калафатова Л.П.**, д.т.н., проф. ДонНТУ

**Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА

**Клименко С.А.**, д.т.н., проф., заст. директора ІНМ ім. В. Бакуля НАН України

**Ковальов В.Д.**, д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА

**Луців І.В.**, д.т.н., проф., зав. каф. ТНТУ ім. І. Пулюя

**Матюха П.Г.**, д.т.н., проф., ДонНТУ

**Мельничук П.П.**, д.т.н., проф. ректор ЖДТУ

**Михайлов О.М.**, д.т.н., проф., зав. каф. ДонНТУ

**Мироненко Є.В.**, д.т.н., проф., декан ДДМА

**Нечепасєв В.Г.**, д.т.н., проф., зав. каф. ДонНТУ

**Новіков М.В.**, академік НАН України, директор ІНМ ім. В. Бакуля НАН України

**Павленко І.І.**, д.т.н., проф., зав. каф. КДТУ

**Петраков Ю.В.**, д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ "КПІ"

**Равська Н.С.**, д.т.н., проф., НТУУ "КПІ"

**Разживін М.О.**, ген. директор ВАТ "КЗВВ"

**Рамазанов С.К.**, д.т.н., проф., зав. каф. СЧУ ім. В. Даля

**Струтинський В.Б.**, д.т.н., проф., зав. каф. НТУУ "КПІ"

**Суков Г.С.**, к.е.н., ген. директор ЗАТ "НКМЗ"

**Тимофєєв Ю.В.**, д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"

**ISBN 978-966-379-496-9**

© ДДМА 2011

**MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE, YOUTH AND SPORTS OF UKRAINE  
DONBAS STATE ENGINEERING ACADEMY**



**HEAVY ENGINEERING.  
PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT**

**MATERIALS**  
of the IX International  
scientific and technical conference

Kramatorsk 2011

Heavy engineering. Problems and prospects of development. Materials of the ninth international scientific and technical conference May 31 – June 3, 2011 / Under the general edition V. Kovalov. – Kramatorsk: DSEA, 2011. – 128 p.

**ISBN 978-966-379-496-9**

In the collection are materials for solving urgent problems of heavy engineering, design, manufacture and operation of machines, machine tools, tools, development and deployment of advanced energy saving technologies.

#### INTERNATIONAL PROGRAM COMMITTEE

Chairman

**Fedorinov V.A.**, Ph.D., Prof., rector DSEA

Members of program committee:

**Aliev I.S.**, Dr., Prof., vice-rector DSEA  
**Antonjuk V.S.**, Dr., Prof., NTUU "KPI"  
**Bratan S.M.**, Dr., Prof., head of dep. SebNTU  
**Bushuev V.V.**, Dr., Prof., head of dep. MSTU "STANKIN", Russia  
**Dašić P.**, Prof. of HTMS of Trstenik, Serbia  
**Dubner L.**, Dr., Prof., MTU, Magdeburg, Germany  
**Gavrish A.P.**, Dr., Prof., NTUU "KPI"  
**Grabchenko A.I.**, Dr., Prof., head of dep. NTU "KhPI"  
**Gusev V.V.**, Dr., Prof., head of dep. DonNTU  
**Ilarionov R.**, Prof., vice-rector of TUG, Bulgaria  
**Kalafatova L.P.**, Dr., Prof., DonNTU  
**Klimenko G.P.**, Dr., Prof., head of dep. DSEA  
**Klimenko S.A.**, Dr., Prof., vice-director ISM NAS of Ukraine  
**Kovalov V.D.**, Dr., Prof., head of dep. DSEA  
**Lootsiv I.V.**, Dr., Prof., head of dep. TNTU  
**Matyukha P.G.**, Dr., Prof. DonNTU  
**Melnichuk P.P.**, Dr., Prof., rector ZhSTU  
**Mihailov A.M.**, Dr., Prof., head of dep. DonNTU  
**Mironenko E.V.**, Dr., Prof., dean DSEA  
**Nechepaev V.G.**, Dr., Prof., head of dep. DonNTU  
**Novikov N.V.**, Academician NAS of Ukraine, director ISM NAS of Ukraine  
**Pavlenko I.I.**, Dr., Prof., head of dep. KSTU  
**Petrakov Y.V.**, Dr., Prof., head of dep. NTUU "KPI"  
**Ramazanov S.K.**, Dr., Prof., head of dep. EUNU  
**Ravskaya N.S.**, Dr., Prof., NTUU "KPI"  
**Razgivin N.A.**, General Director KZTS  
**Strutinskij V.B.**, Dr., Prof., head of dep. NTUU "KPI"  
**Sukov G.S.**, Ph.D., General Director NKMZ  
**Timofeev Y.V.**, Dr., Prof., head of dep. NTU "KhPI"  
**Vitrenko V.A.**, Dr., Prof., head of dep. EUNU  
**Vnukov Y.N.**, Dr., Prof., vice-rector ZSTU  
**Zaloga V.A.**, Dr., Prof., head of dep. SSU

**ISBN 978-966-379-496-9**

© DSEA 2011

# КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ковалев В.Д.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Развитие производства продукции тяжелого машиностроения требует серьезной научной подготовки с учетом экологических факторов. Подразумевается применение интегрированной стратегии защиты окружающей среды от производственных процессов и стремление увеличить полную эффективность производственных систем с уменьшением использования ресурсов и энергии с переработкой отходов.

В производственном цикле предложен интегрированный подход для уменьшения загрязнения окружающей среды и нагрузки для экосистемы. Новое оборудование должно создаваться в соответствии с экологическими принципами на основе оценки жизненного цикла, причем должен учитываться весь комплекс создания стоимости. Требования к инновационным управленческим методологиям включают быструю интеграцию передовых технологий и новые бизнес-стратегии для более «зеленого» производства. Разработка нового оборудования, в частности станков, с точки зрения экологии, должно базироваться на подходах, которые также включают экономические и социальные аспекты.

При этом необходимо уменьшение материалоемкости и движущихся масс, повышение эффективности использования материалов, совмещение операций, увеличение точности обработки на станках с большим рабочим пространством. В основе большей части компонентов надо использовать высококачественные материалы, модульные конструкции. Дизайн станка и конструкции его узлов должны быть структурно, динамически и термически оптимизированы на основе связанного статического, динамического и термического моделирования. Кроме того, предлагается адаптивное управление оборудованием на основе гибких структур и моделей, основанных на компенсации упругих, динамических и тепловых смещений. Адаптивные интеллектуальные высокоэффективные системы и процессы в производстве позволяют улучшить экологическую эффективность, сократить производственное время и затраты.

Ключевой технологией для повышения конкурентоспособности и экологической эффективности является высокая скорость обработки на модульном оборудовании.

Экологически эффективная оптимизация оборудования – предпосылка для увеличения конкурентоспособности. Потребность в экологически-инновационных высокоэффективных технологиях демонстрируется производителями оборудования и конечными пользователями в различных отраслях промышленности, в том числе на предприятиях тяжелого машиностроения.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ РАДИАЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Абхари П., Алиева Л.И.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При выдавливании относительно высоких фланцев на трубных заготовках возникает такой дефект формы, как утяжина на внутренней поверхности заготовки [1]. По результатам конечных элементов построены диаграммы для определения размеров фланцев, при которых не будет происходить образование утяжины, при радиальном выдавливании в средней части трубы с двухсторонней подачей из латуни (Л70) (рис. 1).

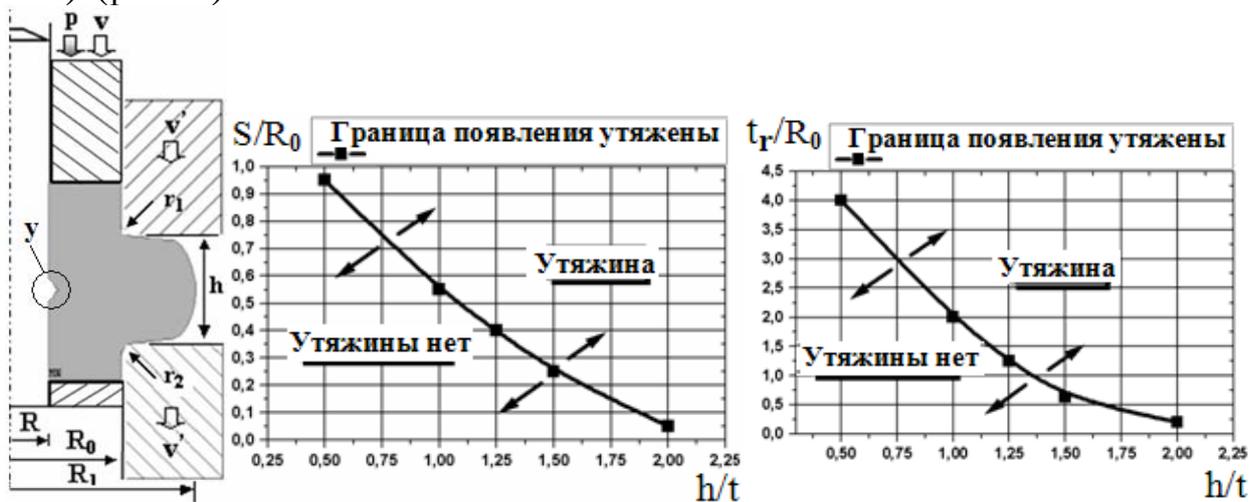


Рисунок 1 – Диаграммы для определения размеров детали, выдавливаемой без утяжины, в процессе радиального выдавливания фланца с двухсторонней подачей в средней части трубы ( $S$  – ход пуансона,  $t = R_0 - R$ ,  $t_r = R_1 - R_0$ ,  $V' = 0,5V$ )

Установлено, что на возникновение утяжины влияют механические характеристики материала. Так, при выдавливании по одной и той же схеме заготовок из разных материалов утяжина будет быстрее образовываться на заготовке из менее пластичного материала.

Для выдавливания втулки с относительно высоким фланцем без утяжины был применен способ выдавливания с подвижной полуматрицей, при выдавливании по которому образование утяжины не происходит.

Следует сделать вывод, что необходимо дальнейшее исследование и разработка процессов (в частности способа выдавливания с подвижной матрицей), которые обеспечат избежание образования утяжины на внутренней поверхности втулки.

## Литература.

1. Алиева Л. И. Формоизменение в процессе радиального выдавливания высоких фланцев / Л. И. Алиева, П. Абхари, Я. Г. Жбанков // Вісник ДДМА – 2009. – № 1(15). – С. 27–32.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КРУГА, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Азарова Н.В., Сидоров В.А., Цокур В.П.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Шлифование характеризуется большими скоростями вращения шлифо-вальных кругов, в результате чего даже незначительный дисбаланс порождает значительные периодические силы, приводящие к возникновению вибраций шлифовального круга. Учитывая высокие требования к точности поверхностей, получаемых шлифованием, проблема колебаний становится особенно важной при обработке на шлифовальных станках.

Дисбаланс шлифовального круга является одним из мощных источников вынужденных колебаний, возникающих в процессе обработки.

Целью работы является экспериментальное определение амплитуды и частоты радиальных колебаний алмазного круга при плоском врезном шлифовании, что необходимо для расчета формы и размеров единичных срезов, а также параметров шероховатости обработанной поверхности.

Регистрацию колебаний осуществляли с помощью анализатора спектра вибрации модели 795М. Определяли частоту и амплитуду радиальных колебаний шпиндельной бабки и шлифовального круга. Данные измерений записывали в энергонезависимую память с последующей передачей их в базу данных на персональный компьютер для анализа.

Колебания шлифовального круга оценивали колебаниями оси шпинделя. Произведенные измерения показали, что вынужденные колебания, вызванные неуравновешенностью шлифовального круга при установке его на стандартные фланцы, имеют составляющую с частотой 37 Гц, что соответствует частоте вращения шпинделя 2230 об/мин. Наиболее интенсивна первая гармоника, амплитуда которой на холостом ходу составляет 2,07 мкм, а при шлифовании несколько больше 2,36 мкм. Амплитуды высших гармоник значительно меньше основной. Закрепление шлифовального круга на фланцах при помощи предложенного нами устройства приводит к значительному снижению амплитуды радиальных колебаний шлифовального круга, обусловленных установкой круга на фланцы. Так, амплитуда первой гармоники не превышает 0,9 мкм.

Составляющая колебаний шпиндельной бабки с частотой 37 Гц, измеренная на холостом ходу при хорошо отбалансированном круге имеет амплитуду 0,24 мкм, амплитуды высших гармоник не превышают 0,02 мкм. Смещение оси шлифовального круга на 100 мкм приводит к увеличению амплитуды основной гармоники в 3,3 раза до 0,79 мкм.

Таким образом, вибрация неуравновешенного круга проявляется в виде синусоидальных колебаний с частотой вращения круга (частотой вращения шпинделя шлифовального круга). В спектре колебаний при этом присутствует значительный пик на частоте вращения. Так как дисбаланс приводит к увеличению нагрузок, в большей степени проявляются и другие пики на частотах, кратных частоте вращения (гармониках).

## ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ПРИВОДОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

Алешичев П.В., Олейник В.А.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

### ***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

Современные земляные работы требуют значительных энергозатрат, снижение которых в современных экономических условиях имеет безусловно важное значение.

***Анализ исследований и публикаций.*** В источниках, посвященных динамическому разрушению грунтов, приведены схемы для вибрационного, ударного, высокоскоростного разрушения грунтов, основы расчетов. Приводы землеройных машин на основе волновой цепной передачи для импульсного разрушения, имея высокую тенденцию к развитию и внедрению изучены недостаточно.

***Постановка задачи.*** Целью данной работы является исследование более эффективного и простого в использовании привода для исполнительных механизмов землеройных машин, для обеспечения динамического разрушения грунта и уменьшения энергозатрат процесса копания грунта, по сравнению с традиционным приводом.

***Изложение материала и результаты.*** Решение задачи возможно за счет замены конструкции привода, а именно – передаточного механизма на самотормозящие механизмы с передачей движения за счет гибкой связи (волновая цепная передача). В ходе теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на имитационном стенде расположенном в лаборатории кафедры ПТМ ДГМА, получены математические модели, описания движения ковша драглайна с комбинированным приводом тяги на основе волновой цепной передачи, которые доказывают эффективность приводов на основе волновой цепной передачи. При копании ковш перемещается по забою с помощью комбинированного механизма тяги дискретно, обеспечивая дополнительное разрушение связей частиц грунта, контролируя процесс наростообразования. Предварительные экспериментальные исследования, проведенные на стенде с помощью тензоэлектрического измерительного устройства, подтверждают справедливость теоретических исследований. Данные о снижении энергоемкости процесса копания зафиксированы документально.

***Выводы и направления дальнейших исследований.*** Одним из направлений дальнейших исследований является изучение процессов разрушения грунтов при использовании волнового цепного привода в напорном и подъемных механизмах, что позволит снизить энергозатраты на процесс разрушения грунтов за счет оптимального сочетания кинематических параметров приводов подъема и напора.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ШТАМПОВКЕ ВТУЛОК**

Алиева Л.И., Мартынов С.В., Акименко И.К.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Для получения деталей типа втулок с внутренним фланцем используют наряду с традиционными методами обработки металлов, такими как литье, механообработка, горячая объемная штамповка, способы точной объемной штамповки, проводимых на холодно. При холодной объемной штамповке достигается: деформационное упрочнение, отсутствие надразов, направленность волокна вдоль конфигурации штампованной заготовки, деформационное упрочнение. Штамповка позволяет получать детали, требующие минимальной обработки резанием, а иногда и полностью исключает применение последней. При этом повышается коэффициент использования металла, динамическая и статическая прочность детали.

Одним из эффективных способов получения полых деталей с внутренним фланцем является высадка фланца из трубной заготовки, характеризующаяся течением металла в поперечном к оси направлении. Характерной особенностью процесса высадки является сложный режим силового воздействия, как на деформируемую заготовку, так и на элементы штамповой оснастки. Помимо давления деформирования, необходимо знать давление на стенке матрицы, подвергающейся растягивающим окружным напряжениям, для определения количества бандажей, их размеров и материала составных деталей бандажированной матрицы. В литературе отсутствуют данные для определения приведенного давления деформирования и давления на стенке матрицы при высадке внутренних фланцев из трубной заготовки.

При снижении относительной высоты фланца, радиуса кромки, приведенное давление и давление на стенке матрицы увеличивается. В первом случае возрастает степень деформирования при поперечном течении, а во втором – объем деформированного во фланцевой зоне металла. Также следует отметить, что при уменьшении радиуса оправки давление возрастает из-за увеличения площади контакта металла с пуансоном.

Энергетическим методом получены расчетные зависимости приведенного давления деформирования и давления на внутренней стенке матрицы при высадке внутренних фланцев из трубчатой заготовки. Установлено влияние высоты фланца, внутреннего радиуса фланца, радиуса оправки и трения на силовые параметры процесса формообразования втулок с внутренним фланцем. Превышение расчетных данных над экспериментальными составило для энергетического метода 8%.

# ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ҐРУНТІВ

Альошичев П.В., Ніколаєнко Д.В.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Використання нових технічних рішень є найважливішим напрямком підвищення ефективності будь-яких об'єктів техніки, в тому числі і землерийних машин. При використанні нових конструкцій важливо на етапі проектування оцінити ефективність можливих конструкційних рішень.

У джерелах, присвячених математичному моделюванню робочих процесів землерийних машин, наведені алгоритми та різні методи для знаходження графіку функції та аналітичної залежності за експериментальними значеннями.

Основна мета роботи – розробка математичної моделі об'єкту. Визначення параметрів робочих процесів будівельних машин в більшості випадків проводиться експериментально після чого отримуємо, як правило, таблично задану функцію. Оскільки робота з таблицями є дуже трудомісткою і займає багато часу, то ми шукаємо більш раціональне рішення.

Для вирішення поставленої задачі ми скористалися методом найменших квадратів (середньоквадратичне наближення). Побудова емпіричної формули складається з двох етапів: підбору загального вигляду цієї формули і визначення кращих значень в ній параметрів. Загальний вигляд формули іноді відомий з фізичних міркувань.

В ході лабораторних досліджень процесу руйнування ґрунтів були отримані осцилограми обробка яких дала таблицю значень переміщення робочого органу від часу. Вирішували поставлену задачу за допомогою програми Excel яка допомогла полегшити розрахунки і скоротити їх. Апроксимуючи експериментальні дані отримали графік функції на рис. 1.

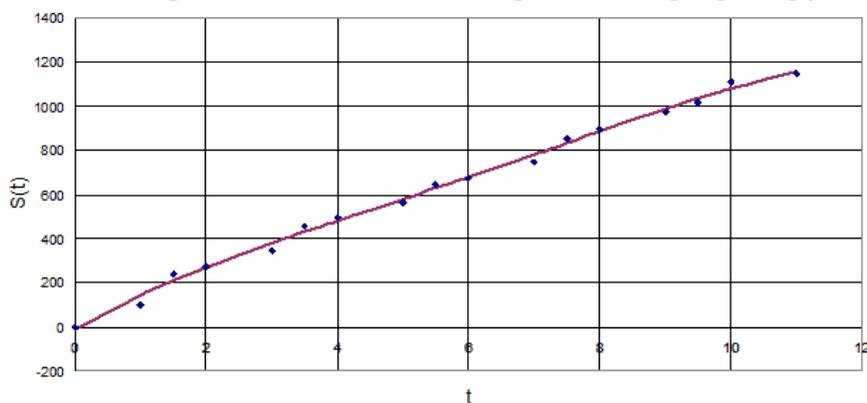


Рисунок 1 – Графік функції

Аналітична залежність матиме вигляд:

$$S(t) = -0.09627t^4 + 2.339166t^3 - 20.0384t^2 + 171.8983t - 10.7759$$

Аналітична залежність для руйнування ґрунтів з приводом на основі хвильової ланцюгової передачі приведена вперше.

## **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ОБТОЧУВАННЯ ЗБІРНИМИ ТОКАРНИМИ РІЗЦЯМИ**

Андронов О.Ю., Самара А.О.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Процес механічної обробки деталей на важких токарних верстатах у значній мірі визначається якістю процесу експлуатації різального інструменту, що залежить від безлічі випадкових факторів, які супроводжують цей процес, де одним з найважливіших показників є надійність інструменту. Різальний інструмент є невід'ємною частиною (найбільш уразливим елементом) технологічної системи механічної обробки. Рівень надійності технологічної системи токарних різців для важких верстатів й процесу її обслуговування визначається в більшій або меншій мірі всіма показниками надійності процесу експлуатації інструмента.

Спостереження за експлуатацією технологічної системи механічного оброблення деталей різцями на важких токарних верстатах довели, що ринок інструментів для обточування деталей на важких верстатах постійно поповнюється досконалішими конструкціями інструментів та новими марками інструментальних матеріалів.

Дослідження умов експлуатації різальних інструментів при обробленні деталей на важких верстатах показав, що поряд зі зношуванням, значне місце займає руйнування різальної частини та інших деталей різців у вигляді викрашувань і руйнувань.

Для збірних інструментів з твердосплавними пластинами для важких верстатів найбільш актуальним для забезпечення високої надійності експлуатації є можливість підвищення їх міцності. Одним з вирішальних факторів, що визначають міцність твердих сплавів при всіх умовах виявляються їхні структурні параметри. Вплив обробки імпульсним магнітним полем твердосплавних різальних пластин для токарних різців важких верстатів підвищує безвідмовність твердосплавних різальних пластин. Величина показника експлуатаційної здатності різальної пластини збільшилась на 20 відсотків. На основі випробувань розроблено рекомендації з вибору режимів різання з урахуванням раціонального рівня надійності збірного різця.

## **ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ**

Аносов В.Л., Гузенко В.С., Миранцов С.Л.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При торцевом фрезеровании на тяжелых станках на виброустойчивость процесса резания существенное влияние оказывает глубина фрезерования. С одной стороны сравнительно массивные подвижные узлы и детали, невысокая жесткость узлов и контактов в подвижных и неподвижных соединениях, несовпадение центров жесткости с центрами масс определяют необходимость рассмотрения многомассовой системы со многими степенями свободы. С другой стороны ударный характер работы при торцевом фрезеровании, нестационарность составляющих силы резания по величине и направлению и перемещение точки приложения силы резания при фрезеровании, что при определенных сочетаниях их параметров вызывает пересопряжение зазоров в кинематических парах.

Одним из путей повышения производительности за счет снижения уровня колебаний при черновом торцевом фрезеровании является увеличение сечения срезаемого слоя путем использования конструкций фрез с делением среза по ширине.

Использование прерывистой режущей кромки позволяет уменьшить интенсивность напряжений и деформаций. Это, в свою очередь, снижает основную часть энергозатрат на резание и сказывается на уменьшении составляющих силы резания, что позволяет управлять автоколебательным процессом. При этом значительно изменяется влияние геометрических параметров режущих кромок инструмента, жесткости технологической системы, а также сил сопротивления (демпфирования) при работе каждого зуба фрезы на амплитуду автоколебаний.

Схема прерывистой режущей кромки может быть реализована конструкцией фрезы, в которой ножи имеют различный вылет и углы в плане. Поскольку динамическая характеристика резания прямо пропорциональна силе резания, а, кроме того, имеет место запаздывание силы резания с увеличением толщины среза по экспоненциальному закону с постоянной времени стружкообразования  $T_p$ , можно за счет деления среза по ширине управлять интенсивностью колебательного процесса. Предложен метод расчета динамической жесткости процесса резания при торцевом фрезеровании крупными сборными фрезами с учетом нелинейных упругих элементов.

На основании физической модели возникновения автоколебаний разработан метод управления интенсивностью автоколебательного процесса, заключающийся в делении среза по ширине на каждом зубе, что обеспечивает как изменение толщины среза, так и изменение глубины резания.

## **ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС КОМПЕНСАЦІЇ ПОХИБКИ ПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ВАЛІВ**

Антонюк В.С., Мережаний А.Г.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Темпи розвитку сучасного машино- та приладобудівного виробництва вимагають широкого впровадження високоточних верстатів із числовим програмним керуванням, що значно підвищують точносні параметри деталей машин та механізмів, зменшують трудомісткість їх виготовлення та можливість появи браку. Це обґрунтовує необхідність створення і впровадження систем активного керування якістю виробу. Крім того, при організації переналагоджуваного дрібносерійного виробництва неможливо заздалегідь на стадії програмування визначити оптимальні умови обробки, тому керування верстатом необхідно здійснювати з урахуванням поточного характеру процесу різання, та здійснювати корекцію програми на основі проміжних вимірів.

Технологічна система верстата являє собою пружну систему, деформації якої під впливом сил різання викликають похибки розмірів і геометричної форми оброблюваних деталей. Оскільки жорсткість окремих ланок технологічної системи невисока, а виникаючі при обробці сили різання значні, то розміри віджимів можуть перевищувати величину припустимих похибок і призводити до значної сумарної похибки обробки.

Тому необхідним є створення програмно-апаратного комплексу цифрової обробки сигналів в технологічній системі виготовлення деталей на базі мікропроцесорного блоку для компенсації похибки пружної деформації при механічній обробці на токарних верстатах з числовим програмним керуванням.

В основу підвищення точності механічної обробки валів покладена схема при якій спочатку проводять чорнову обробку поверхні, а потім виконують вимірювання відхилення отриманого розміру від заданого, вводять корекцію у програму обробки і проводять чистову обробку поверхні.

Застосування програмно-апаратний комплекс компенсації похибки пружної деформації при токарній обробці валів, що єдиним перспективним методом керування якістю технологічного процесу є застосування адаптивних систем керування, які забезпечують високу точність обробки деталі без введення жорсткої траєкторії руху різального інструменту. Використання таких систем дозволяє приймати ефективні рішення з корекції режимів обробки та траєкторії руху різального інструменту з урахуванням впливу зовнішніх факторів, що особливо в умовах дрібносерійного виробництва значно підвищує якість виготовлення деталей на токарних верстатах з ЧПК.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН, ОСНОВАННАЯ НА МЕТОДЕ ТЕРМОЭДС

Бабенко С.А., Красовский С.С., Хорошайло В.В., Полупанов В.П.  
(ДГМА, АО НКМЗ, г. Краматорск, Украина)

Основой высокопроизводительной и качественной эксплуатации станочного оборудования является надежность процесса резания. Надежность процесса резания оценивается по стабильности результатов обработки (точность, производительность, качество обработанной поверхности) и надежности работы режущего инструмента, оцениваемой, в свою очередь, по действительному периоду стойкости.

Вопросы надежности и стабильности автоматически выполняемого процесса резания в режиме расчетной производительности до сих пор остаются до конца не разрешенной проблемой. Основным организационно-техническим приемом повышения надежности процесса обработки на автоматизированном станочном оборудовании является снижение режимов резания до уровня, обеспечивающего стабильную величину стойкости инструмента. Для обеспечения заданного периода стойкости твердосплавных режущих пластин за счет назначения оптимальных режимов резания на основе предварительной диагностики был использован метод термоЭДС, основанный на эффекте Зеебека, который состоит в том, что в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, возникает термоЭДС, если контактирующие проводники поддерживают при разных температурах.

Величина термоЭДС зависит от свойств материала режущей пластины. Причем термоЭДС чувствительна к микроскопическим количествам примесей, к ориентации кристаллических зерен, к зернистости режущей пластины, к качеству кобальтовой связки (процент растворимости в ней вольфрама). Для измерения термоЭДС был использован прибор, основанный на эффекте Зеебека. Замкнутая цепь, состоящая из двух разнородных металлов, места соединения которых поддерживаются при различных температурах представляет собой термопару.

Для корректировки постоянного коэффициента  $C_V$  в формуле скорости резания проведены стойкостные испытания твердосплавного инструмента марки Т14К8 путем резания подшипниковой стали ШХ15. Режимы резания:  $V = 60 \dots 150$  м/мин,  $S = 0,14 \dots 0,46$  мм/об,  $t = 0,5 \dots 2$  мм. В результате обработки экспериментальных данных была получена зависимость для коэффициента  $C_V$  для пары ШХ15 – твердый сплав Т14К8 и были скорректированы функциональные зависимости для определения допустимой скорости резания.

В результате испытаний установлена корреляционная связь между величиной термоЭДС и допустимой скоростью резания. Метод термоЭДС может быть использован для входного контроля режущих свойств пластин. Путем математической обработки экспериментальных данных предложена формула расчета скорости резания с учетом свойств контактной пары твердый сплав – стальная заготовка.

# **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ СО СФЕРИЧЕСКИМ КОНЦОМ ПОСРЕДСТВОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Басова Е.В., Добротворский С.С.  
(НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина)

Операции высокоскоростного фрезерования инструментом со сферическим концом на сегодняшний день нашли широкое применение при обработке сложнопрофильных поверхностей, особенно при обработке скосов, криволинейных поверхностей различной кривизны и не только (т.е., когда применение другого инструмента исключено). Оценка составляющих силы резания необходима для прогнозирования и управления качеством обрабатываемой поверхности, что особенно важно на чистовых операциях изготовления детали.

Таким образом, целью данной работы является разработка геометрической модели силы резания в процессе фрезерования инструментом со сферическим концом для дальнейшего определения ряда явлений, влияющие на силу резания при различных направлениях подачи (влияние областей находящихся в зацеплении, влияния области при вершине инструмента на силу в  $z$ -направлении и др.) и качество обработанной поверхности.

Учитывая, что в процессе резания заготовка разрушается под воздействием острой режущей кромки, а энергия процесса резания в единицу времени может быть представлена двумя составляющими, как энергия сдвига в единицу времени и энергия трения в единицу времени, был разработан энергетический метод прогнозирования силы резания в трех направлениях. Он потребовал разработку новой 3D модели процесса фрезерования инструментом со сферическим концом. Этот метод похож на подход верхней граничной оценки в обработке металлов давлением. В отличие от известных отечественных и зарубежных работ, в которых канавка делилась на множество мелких режущих кромок, в данной работе представлена цельная стружечная канавка. Взяв во внимание тот факт, что при использовании в механической обработке концевых фрез со сферическим концом скорость удаления материала (скорость резания) в разных точках рабочей поверхности режущей кромки будет различна, мы определили, что для оценки влияния силы резания на качество обрабатываемой детали достаточно учесть среднюю скорость резания. Хотя такое ограничение предопределяет возникновение некоторых отклонений между теоретическими и фактическими результатами. Однако с другой стороны это значительно упрощает разработку модели прогнозирования силы резания при высокоскоростном фрезеровании сложных поверхностей концевыми фрезами со сферическим концом с небольшим воздействием на объяснение явлений протекающих в процессе резания.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА**

Бережная Е.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При эксплуатации подъемно-транспортного оборудования наиболее интенсивному изнашиванию подвергаются детали, находящиеся в непосредственном контакте с рабочей средой, причем изнашивание протекает в условиях абразивно-ударного воздействия со стороны перемещаемых материалов, твердость которых зачастую превышает или имеет близкие показатели к твердости материалов, из которых изготовлены сами детали. Упрочнение деталей путем нанесения покрытий электроконтактной наплавкой позволяет снизить расход легированных сталей при одновременном повышении ресурса работы машин. Процесс электроконтактной наплавки производится на специальных установках общей деформацией упрочняющего материала и поверхностного слоя основного металла, нагретых в очаге деформации до пластического состояния короткими (0,02...0,16 с) импульсами тока 7...30 кА. Образующиеся при этом сварные точки частично перекрывают друг друга. Величина силового воздействия при электроконтактной наплавке на 2...3 порядка выше, чем в случае центробежного индукционного, вибрационного и др. технологических вариантов получения покрытий на основе порошковых материалов. При этом скорость нагрева порошкового слоя может достигать нескольких тысяч градусов в секунду. Сочетание двух активирующих факторов позволяет осуществлять процесс наплавки в среднем в 100 раз быстрее, чем, например, при индукционном способе нанесения покрытий. При нанесении покрытий на поверхность детали в режиме спекания сохраняется большое количество полезных свойств порошковых материалов, которые чаще всего теряются при доведении их до температуры плавления. Образование прочного соединения между деталью и присадочным материалом объясняется процессами, близкими по своему характеру к схватыванию металлов при прокатке. Соответствие предъявляемым к изделию требованиям гарантируется широким ассортиментом наплавочных материалов: проволоки и ленты сплошного сечения, порошковые и спеченные. Однако, как и любому технологическому процессу электроконтактной наплавки свойственен ряд недостатков, к которым относятся: дробление компонентов шихты при уплотнении сердечника порошковых композиционных материалов, что приводит к уменьшению количества частиц исходной фракции, обеспечивающей необходимую износостойкость наплавленного слоя в процессе эксплуатации изделия; кратковременность протекания импульса электрического тока. Из чего следует, что способ электроконтактной наплавки нуждается в дальнейшем усовершенствовании и внедрении высокоскоростных технологий и новейших материалов, что приведет к повышению производительности процесса электроконтактного нанесения износостойких покрытий. Кроме того, внедрение новейших материалов, основанных на создании покрытий с заранее заданными свойствами, позволит значительно удешевить процесс восстановления изношенных деталей машин и снизить расход дорогостоящих высоколегированных сталей.

## ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ НАПЛАВКА ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМСНАРЯДОВ

Бережная Е.В., Кассов В.Д., Малыгина С.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Износостойкость деталей и рабочих устройств земснарядов достигается конструктивными разработками, применением износостойких высокопрочных материалов, а также поверхностным упрочнением. Применение порошковых электродов (проволок, лент) для решения задач упрочнения и восстановления имеет ряд преимуществ. Предложены выражения для расчета с достаточной точностью химического состава наплавленного слоя с учетом долей участия основного металла  $\varphi$ , металла предыдущего валика в последующем  $\delta$  и относительного шага  $\alpha$  для различных режимов наплавки. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что требуемый химический состав наплавленного металла достигается во втором-третьем слое независимо от шага наплавки  $\alpha$ . Для получения минимальных отходов наплавленного металла после листовой проточки наплавку следует вести порошковой проволокой с относительным шагом  $\alpha = 0,7$ . При этом доля оставшегося металла после механической обработки составит 78%. Предложены формулы для расчета доли участия металла предыдущего валика в последующем  $\delta$  и доли участия основного металла в валике  $\varphi$  при наплавке порошковой лентой в зависимости от относительного шага наплавки  $\alpha$ , коэффициента усиления  $\beta$  и параметра валика  $p$ . Наплавку порошковой лентой необходимо вести на режимах, обеспечивающих низкие значения величины отношения высоты усиления валика к его ширине (параметр  $p \leq 0,3$ ) и с относительным шагом наплавки  $\alpha \geq 0,7$ . При этом, если коэффициент  $\beta \geq 2$ , то требуемый химический состав металла будет достигаться уже во втором слое наплавки. Для получения минимальных отходов металла после механической обработки слоя наплавку порошковой лентой необходимо вести с относительным шагом  $\alpha$ . Его оптимальное значение находится в пределах 0,75...0,90 в зависимости от параметра валика  $p$ . При увеличении  $\alpha$  от 0 до значения  $(1 - 2p)$  величина  $\gamma = 1$ , дальше монотонно уменьшается до нуля.

На основе выявленных закономерностей влияния различных минералов и легирующих присадок на характеристики массопереноса электродного металла и переход легирующих элементов установлен комплекс статистически значимых параметров, определяющих физико-химические условия взаимодействия фаз и состав металла при наплавке порошковыми электродами. Это концентрация легирующих элементов, газошлакообразующих компонентов в порошковом электроде, основность исходного шлака и окислительный потенциал газовой фазы защитных материалов. Разработана статистическая математическая модель комплексного легирования наплавленного металла через сердечник порошкового электрода в виде системы нелинейных уравнений. Разработана методика расчета состава порошкового электрода для наплавки комплексно легированного сплава.

# УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЗУБОНАРИЗАННЯ ГІПЕРБОЛОЇДНОГО ІНСТРУМЕНТА ЦИЛІНДРИЧНИМ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМ КОЛЕСОМ

Білозьорова В.В., Вітренко О.С.  
(СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, Україна)

Проведено експериментальне дослідження процесу нарізання зубців гіперboloїдною багатозахідною фрезою.

Було досліджено профілювання гіперboloїдної заготовки. Гіперboloїдна пара, що створюється, повинна складатися з циліндричного колеса будь-якої ширини та гіперboloїдного колеса, виготовленого для розглядаємої пари. Для отримання гіперboloїдного інструменту необхідно використовувати лише одну половину гіперboloїдної заготовки, причому починаючи від координати 16 мм від горлового перетину та закінчуючи на товщині зуба, що дорівнює 0,3...0,4 мм (отримано експериментально та доведено теоретично за допомогою складеного програмного забезпечення). Використовувати одну частину однополосного гіперboloїда від горлового перетину потрібно для уникнення особливих точок. Це дозволяє створювати гіперboloїдний інструмент будь-якої товщини, що не викликає потім порушення профілю нарізуємих циліндричних зубчастих коліс.

Згідно з задачами роботи було виконано нарізання гіперboloїдного зубчастого колеса для подальшого створення гіперboloїдної багатозахідної фрези на основі технологій та режимів різання, що приведені в методиці досліджень.

Нарізання гіперboloїдного зубчастого колеса вперше було здійснено за допомогою осьової подачі та спільного використання дискового різця та інструментального циліндричного зубчастого колеса, що дозволило скоротити час виготовлення та підвищити точність обробки. Була досліджена можливість пакетного зубонарізання циліндричних зубчастих коліс отриманим гіперboloїдним інструментом. Проведені дослідження показали, що за рахунок особливої форми зубців отриманого гіперboloїдного інструмента, можливе нарізання циліндричних зубчастих коліс практично будь-якої ширини.

Була проведена оцінка результатів точності обробки при формоутворенні циліндричних зубчастих коліс:

- розсіювання точності форми циліндричного зубчастого колеса – 0,005...0,024 мм – для запропонованого способу формоутворення та 0,007...0,032 мм – для стандартного способу формоутворення;
- середні величини мікронерівностей по параметру  $Ra$  дорівнюють 12...16 мкм – для запропонованого способу формоутворення та 17...22 мкм – для стандартного способу формоутворення.

Запропонована багатозахідна гіперboloїдна фреза не потребує затилування при її профілюванні, має менше навантаження на ріжучу кромку та за рахунок особливої форми зуба не потребує частішої переточки ріжучих кромки.

## **ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗАННЯ НЕЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ІНСТРУМЕНТАМИ, ОСНАЩЕНИМИ НАДТВЕРДИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

Білявський М.Л.  
(ДК «Укртрансгаз», м. Київ, Україна)

Серед найважливіших задач сучасного машинобудування особливе місце приділяється підвищенню ефективності обробки деталей машин. Дана задача включає в себе досягнення високої продуктивності з забезпеченням заданого рівня якості оброблених поверхонь деталей. Потенціал наукових досліджень з удосконалювання та розвитку процесів обробки виробів з різних матеріалів інструментами, оснащеними надтвердими матеріалами (НТМ), неухильно зростає. В сучасному металообробному виробництві для фінішної обробки загартованих сталей та чавунів широко використовують способи високопродуктивного різання інструментами, оснащеними НТМ. При виборі областей використання та умов раціональної експлуатації різальних інструментів, оснащених НТМ, важливим є вивчення процесу природи та механізму зношування різального інструмента. Використання переваг полікристалічних надтвердих матеріалів, а відтак інтенсивне впровадження високопродуктивних способів різання інструментами, оснащеними НТМ, при обробці незагартованих сталей є неможливим по причині катастрофічного зношування різального інструмента. Тому мета досліджень полягає у встановленні причин інтенсивного зношування інструментів, оснащених НТМ, при різанні незагартованих сталей та пошук методів підвищення ефективності їх обробки. В ході проведення наукових досліджень було встановлено, що причиною інтенсивного зношування інструмента, оснащеного НТМ, при різанні незагартованої сталі є інтенсивна дифузійна та адгезійна взаємодія між інструментальним та оброблюваними матеріалами, що спричинена фізико-механічними характеристиками оброблюваного матеріалу. Авторами пропонується провести початкове поверхневе пластичне деформування незагартованої сталі, з метою зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару оброблюваного матеріалу, що призведе до зменшення інтенсивності адгезійної взаємодії та до підвищення стійкості різального інструмента, оснащеного НТМ. В подальшому планується розробка прогресивних конструкцій комбінованих різальних інструментів, оснащених НТМ, для обробки циліндричних, плоских поверхонь та отворів торцевих фрез, з попереднім пластичним деформуванням незагартованих сталей, виконання експериментальних досліджень обробки плоских поверхонь деталей із незагартованих сталей, пошук раціональних режимів комбінованої обробки.

## ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ПРОЦЕССЕ СКВОЗНОЙ ПРОШИВКИ ВТУЛОК

Бондарева Е.Н., Алиева Л.И.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Детали типа втулок широко применяются во всех отраслях промышленности. Одним из ресурсосберегающих способов получения втулок является безотходная сквозная прошивка.

Суть способа (рис. 1) заключается в том, что в контейнер 1 загружается несколько сплошных заготовок 2, из которых пуансон 3 прошивает верхнюю заготовку. По мере прошивки каждой заготовки в контейнер снизу добавляют очередную сплошную заготовку, чем обеспечивается полунепрерывность процесса прошивки [1].

Исследования деформированного состояния при прошивке проводились методом конечных элементов в пакете Deform-3D.

Установлено, что наибольшие деформации сосредоточены на внутренней поверхности получаемой втулки, а наименее проработанной частью детали является ее наружная часть (рис. 2). В тоже время установлено, что характер распределения деформаций во всех прошиваемых заготовках – одинаковый.

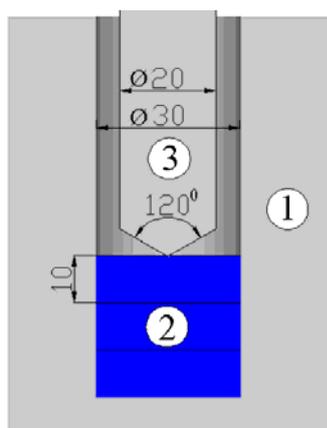


Рис. 1. Схема сквозной прошивки заготовок

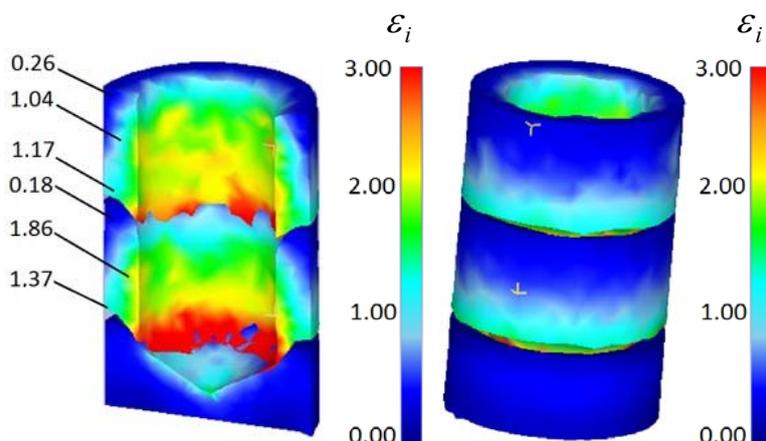


Рис. 2. Поля распределения интенсивности деформаций  $\epsilon_i$  по сечению и объему получаемых заготовок

На основании полученных данных можно сделать выводы, что для получения равномерного распределения деформаций, а значит и равномерного распределения механических свойств, по сечению и объему заготовки необходимо исследовать применение фасонированных заготовок с неплоскими торцами или последующих операций штамповки, которые обеспечат лучшую проработку наружных слоев втулки.

### Литература.

1. Алиева Л.И. Новые способы выдавливания для безотходного изготовления полых деталей типа втулок и колец / Л. И. Алиева, О. В. Чучин, Е. Н. Бондарева, Я. Г. Жбанков // Обработка материалов давлением. Сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2010. – №3. – С. 86-91.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ШЛИФОВАНИИ

Братан С.М., Ревенко Д.В.  
(СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

В процессе комбинированного шлифования на формирование микрорельефа поверхности могут оказывать влияние механическое, электрохимическое и электроэрозионное воздействие. Окончательное формирование микрорельефа готовой детали, как правило осуществляется в отсутствие эрозионного воздействия на поверхность заготовки, поэтому задача прогнозирования параметров шероховатости поверхности сводится к аналитическому определению этих параметров при плоском электрохимическом шлифовании.

Основными параметрами качества обработанной поверхности являются ее шероховатость и глубина дефектного слоя; по ГОСТ 2789-73 регламентируется шесть следующих параметров шероховатости:  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$ ,  $Sm$ ,  $S_b$ ,  $t_p$ . Обычно определение этих параметров сводится к табулированию профилограмм и дальнейшим вычислениям по таблицам.

Наиболее часто используются высотные параметры шероховатости  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$ . Это связано с тем, что они более просто определяются на практике по профилограммам, либо с помощью измерительных приборов. Аналитическое определение этих параметров для схемы плоского комбинированного шлифования возможно на основе анализа теоретических зависимостей.

Полагая, что профиль шлифованной поверхности является стационарным случайным процессом с нормальным распределением ординат, получим выражение для оценки значений высотных параметров шероховатости:

$$Ra = \frac{2}{\pi G v \sum_{i=1}^n \left[ \frac{H - Q_{ЭХ.В} - Q_{ЭХ.ВП}}{2} - i(Q_{ЭХ} + Q_{М.ЭХ}) \right]^{\nu-1}}$$

Наибольшее влияние на шероховатость поверхности и глубину дефектного слоя оказывают зернистость круга, геометрия режущих кромок, радиальная подача и скорость круга.

Предложены зависимости для расчета параметров шероховатости по входящим технологическим факторам, исходя из предположения, что профиль шлифовальной поверхности является стационарным случайным процессом с нормальным распределением ординат, при этом сделано допущение, что форма круга представляет собой идеальную окружность. Учет отклонений формы круга может существенно повысить точность полученных аналитических зависимостей, что является задачей последующих исследований.

## **ОПЕРАТИВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

Васильченко Я.В., Сукова Т.А., Полунина Л.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Альтернативным направлением энергосбережения является создание ветровых энергетических установок. В рамках крупного международного энергетического проекта по созданию ветровых электростанций для США, Германии, Нидерландов в 2010 году этой продукции только на АО НКМЗ изготовлено 220 единиц общей массой более 4000 т. В связи с этим в структуре производства предприятия тяжелого машиностроения все более возрастает доля деталей – тел вращения для современных машин. Также изготавливаются другие детали: уникальные роторные валы (диаметр – до 2000 мм, длина – до 2500 мм, масса до 14 т) для комплектации ветровых энергетических установок.

Тяжелые условия работы валов и большая ответственность их с точки зрения обеспечения надежности работы всей турбины требуют особо тщательного подхода к выбору материалов, способов изготовления заготовок и последующей механической обработки, а также методики и средств контроля качества обрабатываемых валов на всех этапах технологического процесса. Вал – основная и наиболее нагруженная деталь ротора. На вал ротора турбины действуют крутящий момент, соответствующий передаваемой турбиной мощности; изгибающий момент от собственного веса и веса, насаженных на него деталей; силы неуравновешенного давления пара вдоль оси.

Целью исследования является повышение производительности обработки валов роторов ветрогенераторов за счет совершенствования технологических систем их изготовления и оптимизации режимов резания с учетом динамического состояния станочной системы.

Исследование технологического процесса и изменение его с учетом современных требований к режимам и инструменту показало, что применение прогрессивного инструмента позволяет повысить производительность обработки на 20...25%. Но для реализации совершенствования технологического процесса должна осуществляться разработка нового оборудования с учетом повышенных режимов резания и возможности оптимизации процесса резания в реальном времени.

С учетом проведенных исследований структурной устойчивости системы можно сделать вывод о том, что оптимизация параметров технологического режима на основе учета динамического состояния способствует уменьшению влияния на процесс резания не только колебательных, но и теплосиловых возмущений, т.е. обеспечивает возможность адаптации системы к их действию. С точки зрения практики это означает повышение не только качества обработки деталей, но и стойкости режущего инструмента, т.е. не только параметрической, но и эксплуатационной надежности системы в целом.

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ТЯЖЕЛОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ**

Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Савелова И.К., Савелов Д.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В настоящее время актуальной исследовательской задачей является глубокий экспериментальный и аналитический анализ статической, динамической и геометрической точности поведения станков. Поведение механической структуры станка отображает сопротивление многокоординатной системы деформациям, которое можно проанализировать методом конечных элементов и методами многообъектного моделирования. Статическая жесткость станка определяется соотношением между механическими нагрузками, такими как масса, усилие зажима, сила трения, сила резания и сила ускорения, и деформацией его компонентов. Использование метода конечных элементов позволяет проанализировать статическую жесткость структуры станка, а также влияние одиночных структурных компонентов на системную жесткость. Развитие модульной статической и динамической оптимизации станка основывается на таких подходах, как конечно-элементные модели с подвижными соединениями структурных компонентов.

Динамическое поведение станка влияет на стабильность процесса механической обработки. Для того чтобы увеличить скорость съема материала, основополагающим является детальное знание о поведении токарных станков. Поэтому для оптимизации операций на станке проведен анализ интегрированного процесса и станочной структуры и их взаимодействие. Смоделировано динамическое поведение станка и процесс механической обработки. Кроме того, рассмотрены механические нагрузки и температуры при стружкообразовании.

Результаты моделирования использованы при создании системы адаптивного оптимального управления работой тяжелого токарного станка для обработки крупногабаритных деталей.

Разработан программный комплекс для реализации системы адаптивного оптимального управления процессом механической обработки на тяжелых станках, многоуровневая система принятия решений с элементами искусственного интеллекта.

Разработаны методики выбора информативных параметров и диагностических каналов, методика самообучения системы адаптивного управления на основе искусственного интеллекта.

Внедрение разработанного интегрального комплекса оптимального управления адаптивной технологической системой тяжелых станков позволило повысить точность и качество, увеличить производительность на 20%, снизить себестоимость обработки за счет оптимизации управляющих технологических параметров, разработанных новых средств измерения и диагностики.

# ЗАГАЛЬНА ІЄРАРХІЧНА СИСТЕМА КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСАХ

Веселовська Н.Р.  
(ВНАУ, м. Вінниця, Україна)

При проектуванні верстатних комплексів виникають проблеми, які пов'язані з вибором оптимального засобу, варіанта апаратури, конструкції і програмних засобів за деяким критерієм. Існує безліч варіантів підходу до розв'язання цієї задачі, однак застосування різних критеріїв ефективності переважно призводить до протилежних результатів (системи найкращі за одним критерієм виявляються потім найгіршими за іншим). Проблема побудови верстатного комплексу з заданими властивостями нерозривно пов'язана з питанням формування критерію та обмежень. У традиційній формі це забезпечення діагностування в процесі виготовлення якісної продукції в необхідній кількості у встановлені терміни при мінімально можливих економічних витратах. Тут критерієм є витрати, а обмеженнями – система якісних показників продукції і програма їх випуску. Слід відзначити, що в загальному випадку система критеріїв і обмежень багатоваріантна – за критерій може бути вибраний параметр будь-якого зі структурних елементів виробничого процесу, кожний з яких характеризується якісними, кількісними, тимчасовими й економічними показниками. Очевидно, що для кожного конкретного випадку критеріальним може виявитися будь-який параметр з цих груп. Під критерієм ефективності розуміють якісний або кількісний показник, що дозволяє вибрати найкращий варіант системи чи об'єкта при їх проектуванні та експлуатації. Для оцінювання ефективності систем дослідження застосовують векторні, багатокomпонентні критерії, бо отримати критерій у вигляді скалярної функції рідко вдається. Критерії можуть висловлюватися на різних рівнях абстракції. До основних вимог, що висуваються до критеріїв відносять: об'єктивність; конкретність; простота; представництво; системність; оптимальність; універсальність. Всі критерії можна поділити на детерміновані і статистичні, часткові (локальні) і узагальнені (глобальні), адитивні і мультиплікативні. Як правило, критерії повинні задовольняти всі висунуті вимоги. Якщо критерій не задовольняє вказані вимоги, то його якість буде нижчою й інколи це вносить плутанину при розрахунках.

Забезпечення ефективності та якості процесів механічної обробки на верстатних комплексах є основним призначенням діагностування. Теорія і засоби, що розвиваються в діагностиці, в прикладному аспекті направлені на вирішення двох основних задач: контроль і моніторинг факту несправності та пошук конкретної несправності об'єкта та процесу, щоб на основі отриманої інформації організувати їх раціональне відновлення. В роботі розглядається загальна ієрархічна система критеріїв оцінювання ефективності процесів механічної обробки на верстатних комплексах.

## **РАЗВИТИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПУТЕМ СОЗДАНИЯ НОВОГО ИНСТРУМЕНТА**

Витренко А.В., Воронов А.Э., Кузнецова М.Н.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

В данном исследовании рассматривается влияние схем формообразования на производительность, качество и себестоимость изготовления зубьев цилиндрических зубчатых колес. Для достижения поставленной цели разрабатывается конструкция зуборезного инструмента, полученного в пространственном станочном зацеплении согласно схемы формообразования третьего класса. Профиль зуборезного инструмента был найден как огибающая нарезаемого цилиндрического прямозубого или косозубого зубчатого колеса.

В отличие от существующих схем формообразования гиперболоидного зуборезного инструмента, данная схема отличается тем, что передняя режущая кромка производящего зубчатого колеса движется вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперболоида вращения. Это позволяет получить множество разнообразных по конструкции гиперболоидных фрез.

Для определения работоспособности предложенного инструмента еще на стадии его проектирования были определены следующие основные геометро-кинематические параметры обработки зубьев, такие как: относительная скорость скольжения зубьев; суммарная скорость движения контактирующих поверхностей; угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактных линий; удельные скольжения на зубе зуборезного инструмента и нарезаемом зубе; приведенная кривизна контактирующих поверхностей, длина контактных линий.

В производственных условиях были определены основные режимы нарезания цилиндрических зубчатых колес в зависимости от конструктивных параметров и геометрии зуборезного инструмента. Показано, что производительность нарезания зубьев может быть увеличена в 2...4 раза. Зуборезный инструмент, полученный согласно разработанной схеме формообразования представляет собой однополостной гиперболоид вращения. Задние углы по боковым поверхностям и по вершине зуба получаются автоматически и лежат в пределах 7...20°, что исключает необходимость такой операции как затылование. Как следствие это приводит к снижению себестоимости изготовления инструмента на 70%. Совпадение основной инструментальной поверхности с производящей поверхностью приводит к значительному повышению точности обрабатываемых зубьев.

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРО-КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Витренко А.В., Черноволов В.В., Воронцов С.Б.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

Большое значение на эффективность работы гиперболоидных инструментов оказывает правильный выбор таких параметров, как угол скрещивания осей, число заходов инструмента. В свою очередь эти параметры зависят от условий контактирования поверхностей зубьев инструмента и изготавливаемого колеса. Поэтому, при выборе рациональных параметров инструмента необходимо предварительно проанализировать целый ряд геометро-кинематических показателей, и выбрать наиболее предпочтительные условия контактирования.

В теории формообразования эти вопросы рассмотрены для целого ряда зубообрабатывающих инструментов. Однако для гиперболоидных инструментов эти вопросы рассматривались применительно только к эвольвентным зацеплениям, причем графическая интерпретация показателей практически не проводилась. Современные системы компьютерного поверхностного моделирования способны оказать существенную помощь в решении этих вопросов.

В системах автоматизированного проектирования широко используются различные сплайны, такие как кривые Безье, NURBS – кривые и т.д. Однако теория сплайнов практически не используется в теории формообразования и теории зубчатых зацеплений. В свою очередь использование сплайнов позволяет унифицировать описание профилей зубьев колес и инструментов, исходных контуров производящих поверхностей. В результате во всех аналитических выражениях для определения контактных линий, контактирующих поверхностей и поверхностей зацепления, геометро-кинематических показателей не зависимо от вида зацепления – эвольвентного, циклоидального, зацепления Новикова и т.д. фигурирует одно и то же выражение для описания профиля и вспомогательных участков, изменяется только значение констант. Это позволяет разрабатывать алгоритм и программные модули для синтеза инструментов и зубчатых колес, устанавливать ассоциативную связь между теорией и компьютерным моделированием.

В результате проведенных исследований определены и построены контактные линии и контактирующие поверхности, проанализированы условия обката, получены и построены линии, которые позволяют анализировать приведенную кривизну и суммарную скорость перемещения точек контакта в направлении, перпендикулярном линии контакта, относительную скорость скольжения и угол между вектором относительной скорости и контактной линией.

## **ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ВИНТОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ЛИНЕЙНЫМ КОНТАКТОМ ЗУБЬЕВ**

Витренко В.А., Кашура М.А., Кузнецова М.Н.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

Рассматривается винтовая зубчатая передача с линейным контактом зубьев, а также найдено станочное зацепление цилиндрических производящих инструментальных зубчатых колес с квазигиперболоидными зубчатыми колесами. Найден профиль зуборезного инструмента, применяемого для обработки прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес в пространственном станочном зацеплении.

Предлагаемый инструмент получают на заготовке вида однополостной гиперболоид вращения. Основной червяк, на базе которого изготавливается зуборезный инструмент, имеет линейный характер касания зубьев с контактирующей и обрабатываемой эвольвентной поверхностью. Проектируемый зуборезный инструмент имеет геометрические задние углы которые получаются автоматически в процессе его изготовления. Передняя режущая грань такого инструмента располагается под любым углом, зависящим только от обрабатываемого материала, его свойств и твердости.

Точность обрабатываемых зубчатых колес значительно выше, чем точность обрабатываемых зубчатых колес при помощи серийного инструмента. Также значительно снижается усилие резания при одновременном повышении производительности зубонарезания.

Для изготовления гиперболоидного инструмента применяют инструментальные цилиндрические зубчатые колеса, заточенные по передней грани под углом, зависящим от марки и твердости обрабатываемого материала. Это объясняется тем, что рассматриваемые инструменты работают при подаче направленной вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперболоида.

При нарезании зубьев при помощи предложенного инструмента, относительная скорость скольжения, а также приведенная кривизна сопряженных зубьев имеют различные значения вдоль длины контактной линии в направлении от горлового сечения. В результате такой геометрии и кинематики уравнения связи имеют различную форму для сечений, расположенных симметрично от горлового сечения.

Относительная скорость скольжения, являющаяся главным движением резания, выравнивается по всей высоте обрабатываемого зуба. Это приводит к тому, что сдвиг и деформация в процессе резания совпадают, а значит, получается высококачественная обработка зубчатых колес.

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ НАКАТКИ ЗУБЦІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Вітренко О.С., Білозьорова В.В.  
(СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, Україна)

Вирішенням проблеми підвищення точності накатки з одночасним зниженням її собівартості за рахунок розробки нових інструментів та схем формоутворення їх поверхонь займалися багато науковців, серед яких слід відзначити роботи Іноземцева Г.Г., Литвина Ф.Л., Перепелиці Б.А., Равської Н.С., Родіна П.Р., та інших. Аналіз розглянутих шляхів підвищення точності накатки зубців дозволяє розділити їх на дві основні групи. Перша оснований на усуненні недоліків такої обробки за рахунок ускладнення технології обробки, а друга – на розробці принципово нового інструмента і, як наслідок, розробки нових схем його формоутворення. Другий шлях є найбільш ефективним. Існуючі в промисловості методи накатки зубців та інструмент, що використовується для цього, мають істотні недоліки. Це призводить до того, що з одного боку накатаного зуба утворюється западина, а з другого – бугор, що призводить до відхилення профілю зуба, від правильної евольвентної форми. Тому в роботі розглянуті умови підвищення стомленої міцності зубців циліндричних зубчастих коліс, яке здійснюється за рахунок накатки зубців за допомогою спеціально спроектованих багатозахідних накатних інструментів.

Для розв'язання питання підвищення точності накатки зубців циліндричних зубчастих коліс необхідно дослідити нову схему формоутворення накатного інструмента. Було проведено дослідження визначення профілю накатного інструмента в залежності від схеми його формоутворення. Багатозахідний накатний інструмент, маючий змогу накатувати зубчасті колеса будь якої геометрії, повинен бути виготовлений за допомогою зубооброблювальної рейки. В цьому випадку він має принципово нову геометричну форму, огинаюча котрої є однополосний гіперболоїд. Для спрощення процесу виготовлення накатника твірне зубчасте колесо треба рухати вздовж прямолінійної формоутворюючої однополосного гіперболоїда, в цьому випадку таке колесо в своєму відносному русі опише прямозубу рейку.

Гіперболоїдний накатник та циліндричне інструментальне зубчасте колесо, що виготовляється, обертаються навколо своїх осей, схрещених під кутом  $\gamma$  з кутовими швидкостями  $\omega_1$  та  $\omega_2$ . Крім того, інструментальне колесо подається з подачею  $S$  вздовж прямолінійної утворюючої однополосного гіперболоїда. Рівняння такого колеса у векторно-параметричному вигляді:

$$\vec{r}_1 = x_1(\psi)\vec{i} + y_1(\psi)\vec{j} + z_1(k)\vec{k},$$

де  $\psi, k$  – криволінійні координати вздовж та поперек зуба.

У результаті виконаних досліджень розроблена принципово нова схема формоутворення гіперболоїдного інструмента для зміцнювальної обробки зубців циліндричних зубчастих коліс, який дозволяє накатувати циліндричні зубчасті колеса з будь-якою кількістю зубців.

# ВПЛИВ КУТІВ УСТАНОВКИ ОСІ СФЕРИЧНИХ КІНЦЕВИХ ФРЕЗ НА ЇХ КІНЕМАТИЧНІ ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ

Вовк В.В., Золотов О.С.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Оброблення фасонних поверхонь сферичними кінцевими фрезами в авіа- і машинобудівній промисловості проводиться на 3-х або 5-ти координатних верстатах з ЧПК. У разі 5-ти координатної обробки можливе надання інструменту кутів випередження і нахилу осі інструменту. Таке розташування призводить до того, що змінюється напрямок вектора подачі відносно осі інструменту, а відповідно і напрямок швидкості результуючого руху різання, відносно якого визначаються кінематичні геометричні параметри, які в найбільш повній мірі визначають протікання процесу різання та явищ, що його супроводжують. Залежності для визначення кінематичних геометричних параметрів з урахуванням кутів випередження та нахилу наведені в [1], але аналіз впливу цих кутів на геометрію не проводився. Крім того, значення кута випередження, з яким працюють на виробництві, знаходиться в межах  $10...15^\circ$  і обґрунтування вибору оптимального значення цього кута залежно від умов обробки в літературі не наводиться.

Розрахунки кінематичних геометричних параметрів в залежності від кутів установки осі фрези проводились відповідно до наведеної в [1, 2] методики. В результаті проведених в роботі досліджень встановлено, що найбільший вплив на геометричні параметри інструменту в кінематичній системі координат мають величина подачі та кут випередження, в той час як кут нахилу не має такого впливу. В результаті розрахунків величин  $\gamma_K$  та  $\alpha_K$  для різних діаметрів фрез, різних форм передніх та задніх поверхонь інструменту та максимальних значень подач, встановлено, що для забезпечення зміни кінематичних геометричних параметрів в межах  $\pm 1^\circ$  в порівнянні зі статичними рекомендується вибирати кути випередження не менше: для фрез  $\varnothing 1$  мм –  $33^\circ$ ,  $\varnothing 2$  мм –  $18^\circ$ ,  $\varnothing 3$  мм –  $12^\circ$ ,  $\varnothing 4$  мм –  $8^\circ$ ,  $\varnothing 5...6$  мм –  $7^\circ$ ,  $\varnothing 7...8$  мм –  $6^\circ$ ,  $\varnothing 9...10$  мм –  $5^\circ$ . Для підвищення мінімальної швидкості різання на різальній кромці величину кута випередження потрібно вибирати максимально допустимою з точки зору можливості обробки сферичною кінцевою фрезою заданої поверхні деталі.

## Література.

1. Вовк В. В., Токунов В. А. Определение кинематических геометрических параметров конических передней и задней поверхностей сферических концевых фрез // Вестник НТУУ «КПИ» Машиностроение. К.: НТУУ «КПИ». – № 59. – 2010. – С. 10-13.
2. Равська Н. С. Основи кінематичної теорії визначення геометричних параметрів різальної частини інструменту // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА. – Вип. 24. – 2009. – С. 9-18.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СБОРОЧНОГО РЕЗЬБОЗАВЕРТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С КОНТРОЛЕМ МОМЕНТА ЗАТЯЖКИ

Водолазская Е.Г., Водолазская Н.В., Искрицкий В.М.  
(ДГМА, г. Краматорск, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

В условиях мелкосерийного и индивидуального производства одним из перспективных направлений решения проблемы качественной сборки резьбовых соединений является использование резьбозавертывающего сборочного инструмента, разновидностью которого являются редкоударные гайковерты, позволяющие осуществлять контроль момента затяжки по числу ударов.

Для разработки рекомендаций по применению этого метода контроля был выполнен расчет необходимого количества ударов гайковерта. Из составленного уравнения энергетического баланса была получена аналитическая зависимость момента затяжки резьбового соединения после каждого удара, из которой можно определять энергию единичного удара, необходимую для достижения требуемого момента резьбового соединения, а следовательно и число ударов гайковерта, для достижения этого расчетного момента затяжки.

Были проведены расчеты значений энергетических параметров размерного ряда десяти типоразмеров гайковертов, а также числа ударов, обеспечивающего контролируемую затяжку резьбовых соединений с диаметром резьбы от 30 до 160 мм. Например, для затяжки резьбового соединения диаметром 48 мм расчетное число ударов составило 25 при использовании разработанного редкоударного гайковерта с энергией единичного удара 100 Дж.

Лабораторные испытания опытного образца такого редкоударного гайковерта проводились на специальном стенде. Было выбрано реальное резьбовое соединение с диаметром резьбы 48 мм и рабочей длиной 500 мм. В процессе затяжки при каждом ударе с помощью тензодатчиков измерялись осевая деформация стрежня болта, угол поворота гайки и угловая скорость маховика. По результатам испытаний получены графические зависимости напряжения затяжки от количества ударов гайковерта. Обработка экспериментальных данных проводилась в соответствии с общепринятыми рекомендациями и с использованием пакета прикладных программ статистической обработки. Исследования продемонстрировали достаточно хорошую сходимость с теоретическими расчетами. Относительная погрешность оказалась ниже общепринятой и составила  $\pm 8,24\%$ .

Таким образом, была подтверждена целесообразность использования резьбозавертывающего инструмента в виде редкоударных гайковертов для сборки резьбовых соединений больших (свыше 48 мм) диаметров.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СБОРНЫХ СВЕРЛ С МНОГОГРАННЫМИ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫМИ ПЛАСТИНАМИ**

Воеводина Т.А., Гринев Ю.А., Царенко Е.Н.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Основной бюджетобразующей отраслью Украины является металлургическая промышленность. В свою очередь, одними из основных видов продукции крупнейшего металлургического комбината «Азовсталь» являются железнодорожные рельсы и рельсовые крепления. В процессе их производства для образования отверстий применяются сборные сверла с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин (МНП). Опыт эксплуатации стандартных сверл по ГОСТ 27724-88 с механическим креплением показывает их относительно невысокую работоспособность. Основной причиной преждевременной потери работоспособности являются выкрашивание режущих кромок и сколы вершин пластин, что вызвано неблагоприятными условиями работы сверла, неравномерной загрузкой режущих кромок, наличием радиальной неуравновешенной составляющей силы резания. Перечисленные недостатки характерны как для отечественных, так и зарубежных стандартных конструкций сборных сверл оснащенных МНП. Обработка отверстий в рельсах на комбинате «Азовсталь» ведется на специальных станках в условиях характерных для массового производства. В таких условиях рациональным является использование специального режущего инструмента, в котором существующие недостатки стандартных конструкций сверл были бы сведены к минимуму за счет обеспечения оптимальных конструктивных и геометрических параметров рабочей части.

Особенностью сборных сверл с МНП является то, что геометрические параметры на главных и вспомогательных режущих кромках зависят от расположения пластин в корпусе. Для решения задачи оптимизации геометрических параметров рабочей части сверла, необходимо знать каким образом они изменяются при различном расположении периферийной и центральной МНП в корпусе сверла. Нами были предложены зависимости для определения статических геометрических параметров в каждой точке главных и вспомогательных режущих кромок сверла. Зная, каким образом изменяются вдоль режущих кромок геометрические параметры, мы можем определить составляющие силы резания и их направление на соответствующих участках режущих кромок, а также величины и направление результирующих сил на периферийной и центральной пластинах. Это позволяет нам определить оптимальные параметры установки МНП в корпусе, обеспечивающие наиболее благоприятные условия работы сверла, минимизацию радиальной неуравновешенной составляющей силы резания и, в конечном счете, повышение работоспособности сборных сверл с МНП.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОГИСТИКИ**

Володченко В.В., Черненко И.Н.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Ужесточение конкурентных требований к качеству функционирования основополагающих процессов предприятий, определяют возрастающее значение информационных коммуникаций и информационного менеджмента как организационных элементов торгово-закупочно-производственных логистических систем.

Достижение высокого уровня логистического менеджмента возможно только на основе современных информационных технологий, главное назначение которых: логистическое взаимодействие всех звеньев инфраструктуры потребительской системы (заготовительных, перерабатывающих, торговых); создание конкурентных преимуществ структурным подразделениям потребительской системы; экономичность логистических операций и снижение издержек на транспортировку, складирование, переработку товаров.

Проблемы информационной логистики исследуются во всех ракурсах многочисленных точек зрения. Однако в теоретическом и практическом аспекте основные информационные потоки в логистике не получили должного изучения как с организационной точки зрения, так и с позиций менеджмента логистики в иерархической структуре звеньев управления. Между тем складывающаяся в Украине экономическая ситуация требует усиления роли организованности и управляемости ею на основе информационных логистических систем, существенно влияющих на эффективность функционирования предприятий.

Таким образом, актуальным является рассмотрение проблем формирования информационного логистического менеджмента, а также исследование информационного обеспечения в процессе управления материальными потоками на внутреннем и региональном рынке.

В связи с этим можно сформулировать следующие основные задачи: выделить понятие информационной логистической системы, наиболее полно отвечающее сущности данной экономической категории; сформулировать общие принципы формирования информационных потоков при планировании материальных ресурсов; выделить из общего числа логистических задач проблемы информатизации материальных потоков и запасов;

Итак, сущность применяемой информационной логистической системы можно сформулировать следующим образом: это определенным образом организованная совокупность взаимосвязанных средств вычислительной техники, различных баз данных и необходимых средств программирования, обеспечивающая решение тех или иных логистических задач (задач по управлению материальными и сопутствующими информационными потоками).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ СПЛАЙНОВ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Воронцов Б.С., Кашура М.А., Черноволов В.В.  
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

Одним из путей повышения качества зубчатых передач является выбор рациональной геометрии поверхностей зубьев, позволяющей повысить контактную прочность и износостойкость изготавливаемых колес. В настоящее время исследовано и предложено большое количество исходных контуров для различных видов передач: эвольвентных, синусоидальных, циклоидальных, комбинированных, с зацеплением Новикова и других. Работы в этом направлении продолжаются.

Основной из причин, препятствующих внедрению таких передач, является отсутствие универсальной математической базы, позволяющей проводить сравнительный анализ передач с различной геометрией зубьев колес, проектировать прогрессивные виды инструментов, выбирать их рациональную геометрию, разрабатывать эталонные поверхностные и твердотельные компьютерные модели инструментов для их контроля на современных координатно-измерительных машинах.

В системах автоматизированного проектирования широко используется создание линий и поверхностей на основе сплайнов. Практически каждый, кто работал в этих системах, сталкивался с этой функцией. Однако до настоящего времени теория сплайнов практически не используется в теории формообразования и теории зубчатых зацеплений.

Основным достоинством сплайнов является то, что с достаточной степенью точности с их помощью можно представить любую гладкую ограниченную кривую, т.е. любой из существующих исходных контуров производящей поверхности можно представить одной формулой, аппроксимировав его с помощью сплайна. Отличие будет только в значениях управляемых параметров, в качестве которых выступают опорные и управляющие точки сплайна.

Использование теории сплайнов позволяет получить универсальное математическое обеспечение для анализа и синтеза производящих поверхностей, зубообрабатывающих инструментов и зубчатых передач с улучшенными геометро-кинематическими показателями.

Разработанное математическое обеспечение и предложенный алгоритм поверхностного моделирования зубьев гиперболоидного инструмента позволяет не только контролировать точность изготовления зубьев гиперболоидного инструмента с помощью современных координатно-измерительных машин и специального программного обеспечения, но и проводить всесторонний анализ условий контактирования зубьев колеса и инструмента, анализировать поведение точек контакта в заданной области, тем самым подтверждая или опровергая результаты теоретических расчетов.

# ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ФЕРОАБРАЗИВНОГО ЗЕРНА ПРИ МАГНІТО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ ПІДШИПНИКІВ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН НА ОСНОВІ МІДІ ТА НІКЕЛЮ

Гавриш А.П., Роїк Т.А., Мельник О.О., Віцюк Ю.Ю.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Підшипники ковзання широко використовуються в поліграфічних машинах, де неможливо або економічно не обґрунтовано використовувати підшипники кочення (в машинах, де мала міжцентрова відстань між осями валів, в побутовій поліграфічній техніці, у важконавантажених машинах, у вузлах, де є необхідність швидкої зміни вала або барабана, в машинах, вузли яких піддаються дії забруднюючого або агресивного середовища).

Безпосередній вплив на зносостійкість підшипників ковзання поліграфічного обладнання чинить технологія фінішного механічного оброблення, насамперед, магніто-абразивного оброблення (МАО) контактуючих поверхонь та одержані при цьому їх параметри якості.

Від величин параметрів якості, які забезпечуються саме на фінішних операціях, у підсумку залежить формування функціональних властивостей робочих поверхонь підшипників, що впливають на зносостійкість, а відтак, і на довговічність вузла і друкарської машини у цілому.

При експериментах досліджувались два типи високооберткових композитних підшипників ковзання на основі нікелю ЭИ929- $\text{CaF}_2$  та міді ДН5МЗКФ9, що призначені для оснащення різних вузлів тертя поліграфічного обладнання в залежності від режимів експлуатації.

У роботі представлено теоретико-експериментальні дослідження для одержання математичного апарату, який відкриває шляхи прогнозування малюнку мікрорельєфу робочих поверхонь підшипників після застосування МАО та надає змогу цілеспрямовано одержувати високі параметри якості контактних поверхонь тертьових деталей поліграфічних машин.

З урахуванням виконаних теоретичних розробок та за допомогою програмного забезпечення було змодельовано вплив зернистості магніто-абразивного порошку (МАП) та технологічних режимних факторів МАО на формування параметрів шорсткості.

В результаті моделювання було встановлено, що при зернистості МАП 50-300 мкм та режимах різання  $\delta = 1$  мм, амплітуді осциляції  $A = 1,5$  мм,  $v = 2000$  об/хв. забезпечується шорсткість поверхонь тертя підшипників у діапазоні  $Ra = 0,08 \dots 0,05$  мкм.

Виконані з урахуванням розрахункових напрацювань експериментальні дослідження надтонкого магніто-абразивного оброблення підшипників надали змогу одержати величини параметрів якості оброблених поверхонь, які співпадають з розрахунковими значеннями, що підтвердило правильність та коректність виконаного теоретичного дослідження.

## ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ

Гаков С.О., Придворов А.П.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Залізнична колісна пара є одним з найскладніших, металоємних, відповідальних елементів ходової частини рухомого складу. Широке впровадження нових високоефективних ресурсозберігаючих технологій, спрямованих на підвищення зносостійкості, надійності та довговічності деталей рухомого складу в процесі їх виробництва та ремонту висуває підвищені вимоги щодо технологічного забезпечення процесу ремонту колісних пар, а саме, до верстатного обладнання, технологічного оснащення та металорізального інструменту.

Складна термосилова взаємодія залізничного колеса та рейки викликає комплекс фізико-механічних явищ, що призводять до інтенсивного зношування їх контактуючих поверхонь.

Виникаючі види зношування та дефекти коліс призводять до вилучення колісної пари з експлуатації і наступному її відновлювальному ремонту на спеціальних колесообробних верстатах, що полягає у механічній обробці різальним інструментом поверхні кочення коліс до одержання необхідного вихідного профілю.

За результатом аналізу вибірки колісних пар (Краснолиманське вагоноремонтне депо та депо «Дебальцеве») визначено, що основними видами зношувань є зношування термомеханічного походження – 57,4% від загальної кількості деталей, серед яких: повзунів – 25,4%; вищербин – 24,5%; наварів – 7,5%.

Основними типами пластин, що використовуються на колесотокарних верстатах є тангенційні та чашкові пластини. Окрім цього зношування зумовлює необхідність глибоких обточувань, однак, зняття металу при обточуваннях в 5 разів перевищує витрати металу за прокатом. Повне припустиме зношування на залізницях складає 25...35 мм, включаючи «чисте» зношування в результаті взаємодії колеса і рейки та зняття металу при обточуваннях для відновлення профілю та видалення поверхневих дефектів (число обточувань може сягати 5).

За даними фірми «Kennametal-Hertel» (США) щотижня у світі обробляється близько 70 тис. колісних пар. Дослідження, проведені фірмою «Sandvik Coromant» (Швеція), показали, що загальні витрати при обточуванні профілю поверхні кочення однієї колісної пари з нераціональними глибинами різання (тобто перевищуючу висоту шару металу, що знімається, та дефекту, що видаляється – повзуна або вищербини), становлять близько 200 грн. на кожний зайвий міліметр знятого металу.

За даними ВНДІЗТу за останні 5 років щорічно оброблюється від 1600 тис. до 1800 тис. колісних пар вагонів, при цьому в стружку переробляється близько 15...17 тис. тонн колісної сталі. У той же час, на мережі шляхів України триває щорічне збільшення кількості ремонтних обточувань колісних пар (на 3...6% у рік), що супроводжується щорічним зростанням витрат на їх ремонт (на 5...10% у рік).

# РОТОРНІ ВЕРСТАТИ ДЛЯ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ НА БАЗІ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ ТИПУ «КІЛЬЦЕВА ВАННА»: КІНЕМАТИКА ОБРОБКИ ЗАДНЬОЇ ПОВЕРХНІ СПІРАЛЬНИХ СВЕРДЕЛ

Гейчук В.М.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Раніше розроблена математична модель кінематики магнітно-абразивної обробки (МАО) спіральних свердел дозволила провести дослідження, в результаті яких визначені основні параметри кінематики обробки передньої поверхні та стружкової канавки. При обробці задньої поверхні свердел досліджувався також вплив додаткового обертання свердла навколо осі, яка перетинається або є мимобіжною з віссю обертання деталі – так званого «азимутального» обертання. Для дослідження використана заточка по конічній поверхні. Рівняння конічних поверхонь у кінцевих положеннях, що відповідають робочим положенням заточувального інструменту, отримані за допомогою матричних перетворень. Координати точок поперечної та різальної кромки були визначені як координати ліній перетину відповідно двох конічних поверхонь та конічної і гвинтової поверхонь. Для знаходження ліній перетину зазначених поверхонь був використаний метод знаходження рішень систем нелінійних рівнянь, розроблений Драгілевім А.В. Метод Драгілева вирішення цієї задачі полягає в параметризації лінії перетину довжиною дуги та зведення самої задачі до задачі Коші.

В результаті досліджень встановлено:

- при кутах азимутального повороту  $\alpha = -30 \dots 0^\circ$  має місце зсув значень кутів атаки без помітної їх зміни значень. При цьому додатні кути азимутального повороту приводять до змін кутів атаки на 10...25%.
- обробка задньої поверхні характеризується високим ступенем рівномірності розподілу значень показників кінематичної ефективності по довжині різальної та поперечної кромки, як при відсутності так і при наявності кругової подачі. Максимальний розкид значень інтегрального критерію при швидкості кругової подачі  $\omega_s / \omega_{s0} = -5$  складає всього 0,2. Значення інтегрального критерію при цьому досягають значень  $k_{кеф} = 1,6 \dots 1,8$ . Зазначений режим обробки сприятливий для зміцнення задньої поверхні.
- використання азимутальної подачі при МАО задніх поверхонь свердел є недоцільним: за повний азимутальний оберт ( $\alpha = 0 \dots 360^\circ$ ) тільки в двох діапазонах ( $\alpha = 0 \dots 60^\circ$  та  $\alpha = 300 \dots 360^\circ$ ) задня поверхня знаходиться в основному в «активній» зоні.
- використання азимутального повороту свердла при МАО задньої поверхні дозволяє змінювати значення інтегрального критерію кінематичної ефективності в досить широких межах без зменшення рівномірності його розподілу вздовж різальної та поперечної кромки: при зміні кута азимутального повороту в діапазоні  $\alpha = 0 \dots 90^\circ$   $k_{кеф} = 1,6 \dots - 0,6$ . При  $\alpha = 0 \dots 48^\circ$  значення критерію  $k_{кеф} = 1,0$ , що відповідає його оптимальному значенню.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ В СЕРЕДОВИЩІ DEFORM-3D**

Глоба О.В., Кульбачний О.В.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

В машинобудуванні більша частина виробів обробляється різанням. У багатьох випадках працездатність деталей визначається якістю обробки. В силу складного характеру явищ, що відбуваються при обробці деталей різанням, загальна теорія цього процесу на сьогоднішній день відсутня, оскільки методики, які використовуються для проектування процесів різання, являються емпіричними і не відповідають сучасним вимогам. У зв'язку з цим, розробка нових технологічних процесів різанням вимагає проведення великого обсягу експериментальних досліджень. Уникнути цього можна застосовуючи сучасні системи автоматизованого моделювання технологічних процесів, які використовують чисельних методів, зокрема метод кінцевих елементів.

Одним із загальновизнаних світових лідерів в області автоматизованого моделювання процесу обробки, методом скінченних елементів є пакет Deform.

Deform – потужна система моделювання технологічних процесів, призначена для аналізу тривимірного поведінки металу при різних процесах обробки. Програма надає важливу інформацію про поведінку матеріалу і розподілі температур під час процесу обробки.

Використовуючи програму Deform-3D, було виконано моделювання процесу свердління. Була створена і розрахована модель процесу обробки. Результатами розрахунків програми стали значення сил різання, величини пластичних деформацій, значення температури в зоні різання та багато інших важливих характеристик. Отримані дані були порівняні зі значеннями аналітичних розрахунків і результатами експериментів, розбіжність виявилась мінімальною, а це свідчить про правильність роботи алгоритмів, закладених в програмі.

Все це нам можливість використання даного програмного продукту для моделювання більш складних задач, таких як – дослідження впливу геометрії інструменту на характер обробки матеріалу, дослідження обробки багат шарового матеріалу, такого як композиційні матеріали, саме ці теми є дуже актуальними на сучасному етапі розвитку промисловості.

## АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАПЛАВКИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

Голуб Д.М., Плис С.Г.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Использование дисперсионно-твердеющих сплавов с особыми свойствами для изготовления и восстановления наплавкой штамповой оснастки позволяет получить металл с относительно невысокой твердостью в исходном состоянии, что обеспечит возможность провести механическую обработку. Последующее искусственное старение приводит к существенному повышению твердости наплавленного слоя, что обеспечивает получение поверхностных слоев, обладающих высокой износостойкостью. К числу таких сплавов относятся сплавы железо-кобальт-вольфрам, железо-кобальт-молибден, хромо-молибден и др.

Существуют, также, аустенитные дисперсионно-твердеющие сплавы на железо-хромо-никелевой основе. Их твердость после дисперсионного твердения гораздо ниже, чем сплавов на основе Fe-Co-W и Fe-Co-Mo. Кроме коррозионной стойкости эти сплавы обладают стабильностью упругих характеристик при повышенных температурах.

Применяют также высокопрочные мартенситно-стареющие стали, т.к. после наплавки имеют низкую твердость (до 30 HRC). Это дает возможность обрабатывать их режущим инструментом и после несложной термообработки (старения) получать необходимую твердость. Упрочнение мартенситно-стареющих хромо-молибденовых сталей происходит в основном за счет введения в них Ti и Al, которые образуют при старении вторичные фазы. Кроме систем Fe-Co-W в практике для режущего инструмента применяются сплавы систем: Fe-Co-Mo, Fe-Cr-Mo и др. Они обеспечивают приобретение высокой твердости при соответствующих режимах термообработки.

Существует порошковая проволока для наплавки штампового инструмента дисперсионно-твердеющим сплавом для горячей штамповки имеющая состав шихты: 22...24% W; 24...26% Co; 2,6...2,8% FeTi; 1,0...1,5 FeV, стальная оболочка – остальное. После термообработки наплавленного металла его твердость достигает до 50...52 HRC. Состав сплава рекомендован для наплавки горячих штампов.

Предложен состав порошковой проволоки для наплавки деталей, работающих при температурах до 600°C – M25X20Ti10 на никелевой основе. Широкие пределы по содержанию Mo и Cr позволяют получить наплавленный металл заданного химического состава. Состав шихты порошковой проволоки следующий: 2...4% Ti; 0,9...1,2% Al; 10...20% Cr; 11...25% Mo и Ni – остальное. Введение в состав шихты Ti и Al позволяет упрочнить наплавленный металл в процессе отпуска интерметаллидными фазами типа Ni<sub>3</sub>Al и Ni<sub>3</sub>Ti, а также повышают теплостойкость стареющего наплавленного металла при высоких температурах. Структура металла наплавки – безуглеродистый никелевый мартенсит, обладающий высокой прочностью, хорошей пластичностью к обрабатываемостью режущим инструментом.

Проведенный анализ указывает на превосходство безуглеродистых дисперсионно-твердеющих сплавов для наплавки режущих элементов штампов перед сталями, содержащими карбиды.

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ**

Грибков Э.П., Данилюк В.А., Кассов В.Д.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Преимущества порошковых лент привели к росту потребления этого вида сварочного материала, в том числе и для решения задач повышения эксплуатационных показателей и увеличения срока служб деталей машин.

Характер плавления порошковой ленты оказывает существенное влияние на массоперенос электродного металла. При плавлении порошковой ленты наблюдается существование нескольких сварочных дуг, с увеличением коэффициента заполнения нарушается цикличность перемещения дуги и носят хаотичный характер. Это связано с просыпанием сердечника, его уплотнением, степенью контакта оболочки и сердечника. В связи с тем, что проходящий сварочный ток на вылете выделяет тепло, которое приводит к термомодеформационным явлениям в металле оболочки. Изменение длины, периметра и объема металла оболочки нарушает контакт между оболочкой и сердечником порошковой ленты. Это вызывает перераспределение сварочного тока в процессе плавления порошковой ленты, что приводит к отдельному плавлению оболочки и сердечника. Этому способствует степень обжата оболочки и сердечника в процессе изготовления порошковой ленты, что подтверждается результатами исследований процесса плавления порошковой ленты, замером электросопротивления сердечника и контактного сопротивления между оболочкой и сердечником. Процесс плавления и оценку массопереноса электродного металла можно произвести с помощью расчетно-экспериментального метода через показатели плавления. Процесс массопереноса порошковой ленты оценивается через долю сердечника, проходящего через стадию капли.

Проведенными исследованиями установлено, что рассмотренный метод оценки доли сердечника, проходящего через стадию капли, может применяться до определенных значений коэффициента заполнения порошковой ленты. При наплавке легированных сплавов типа сормайт такой предельной величиной коэффициента заполнения является значение 0,5. При наплавке композиционного сплава типа релит-мельхиор процесс массопереноса электродного металла при плавлении порошковой ленты определяется степенью растворения упрочняющих частиц. Изученный характер плавления, массоперенос электродного металла, формирование наплавленного слоя зависят от степени обжата порошковой ленты, которая определяется силой прокатки в процессе уплотнения сердечника в оболочке. Поэтому режимы производства порошковой ленты должны быть определенными и зависят от конструкции оболочки, состава сердечника. Для каждого состава порошковой ленты, с учетом гранулометрического состава компонентов сердечника, формы частиц, прочностных свойств металла оболочки, режимы уплотнения сердечника в оболочке должны быть определенными.

## **ПОВЫШЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ РЕЗАНИЕМ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПУТЕМ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОСЛЕ НАПЛАВКИ**

Гринь А.Г., Бойко И.А., Пресняков В.А.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Проблема обработки резанием наплавленного слоя является достаточно актуальной. Известно, что, после дуговой наплавки форма рабочей поверхности значительно отличается от требуемой даже если применяются формирующие устройства, поэтому количество наплавленных слоев назначается с учетом последующей механической обработки, при которой может сниматься до 50...60% массы наплавки.

Целью работы является повышение обрабатываемости резанием наплавленных поверхностей, в особенности тел вращения путем придания наплавленному слою благоприятной формы поверхности.

Известно, что после наплавки, структура наплавленного слоя имеет литой характер, с явно выраженной ориентацией кристаллов, обладает относительно высокой твердостью и имеет достаточно большое количество дислокаций. Наличие усиления и изменяющегося профиля поверхности наплавленного слоя существенно ухудшают его дальнейшую обработку, особенно при твердости наплавленного слоя выше 40...42 HRC, так как удары при резании разрушают режущие кромки. В таких случаях низкопроизводительная обработка шлифовкой является практически безальтернативной.

В настоящее время обработка резанием наплавленных поверхностей в большинстве случаев происходит после термообработки на минимальную твердость. Придание же необходимых свойств наплавленному металлу происходит после закалки, следующей за операцией обработки. Это увеличивает себестоимость продукции и время ее изготовления.

Авторами была разработана специальная методика наплавки с последующей обработкой давлением, позволяющая придать наплавленной поверхности благоприятный рельеф. Она заключается в том, что в первом слое наплавки расстояние между наплавленными валиками задается приблизительно равным половине их ширины. Следующий слой наплавляется между первыми валиками и в ходе наплавки происходит его пластическая деформация при помощи ролика, который устанавливается на некотором расстоянии позади сварочной головки. При этом наплавленный слой уплотняется, сокращается количество его несплошностей, а поверхность наплавки остается практически без выступов. Таким образом, при последующей обработке удары на режущий инструмент сводятся к минимуму, что позволяет увеличить производительность резания, увеличить стойкость режущего инструмента и наплавленной детали в процессе эксплуатации. Методика была апробирована при наплавке рабочих втулок горизонтального гидравлического пресса порошковыми проволоками ПП-20Х4В10Н4ФТ и ПП-5Х12В5.

## СКЛАД ПРЕСОВАНОГО ПОРОШКОВОГО ДРОТУ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ БРОНЗ

Гринь О.Г., Свиридов О.В.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Відновлення наплавленням робочих поверхонь деталей, що зазнають тертя по металу від дією тиску має важливе значення.

Методом кінцевих елементів були визначені механічні навантаження і напруження які діють в перетинах деталей що сполучаються. Виходячи з умов роботи поверхонь визначенні показники для вибору матеріалу наплавлення. В найбільшій мірі цим вимогам задовольняє алюмінієва бронза.

Для поліпшення фізико-механічних властивостей, зниження пороутворювання наплавленого металу, а також підвищення зварювально-технологічних властивостей дроту в широких діапазонах режимів наплавлення було поставлене завдання створення самозахисного порошкового дроту, що забезпечить високу продуктивність.

Поставлене завдання досягається тим що, склад пресованого порошкового дроту додатково містить алюміній у вигляді крупки зі стружки отриманої при механічній обробці деталей з алюмінію, а плавиковий шпат, кремнефтористий натрій, ферросиліцій, ферромарганець, бор, ванадій, магній фтористий, мідний порошок додаються до складу самозахисного порошкового дроту, що є матеріалом для виготовлення крупки в мідній оболонці.

Виготовлення пресованого порошкового дроту здійснювали наступним чином, в контейнер для пресування разом з крупкою виготовленого з самозахисного порошкового дроту з мідною оболонкою вводили крупку зі стружки отриманої при механічній обробці деталей з алюмінію. Застосування мідної оболонки М1 дозволяє підвищити корозійну стійкість наплавленого металу.

Виготовленим пресованим порошковим дротом діаметром 5 мм наплавляли сталеві пластини розміром 10×100×200 мм. Режим наплавлення: зварювальний струм 550...650 А напруга 30...32 В, швидкість наплавлення 18 м/г. Наплавлення виконували в автоматичному режимі на постійному струмі зворотної полярності.

Пропонований порошковий дріт забезпечує високі механічні властивості наплавленого металу, відсутності пористості, високу продуктивність наплавлення, мінімальне розбризкування наплавленого металу, гарне формування зварного шва.

## ТЕРТЯ ТА ЗНОШЕННЯ ПРИ ОБРОБЦІ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ. МАСШТАБНИЙ ЧИННИК

Гупка Б.В., Гупка А.Б.  
(ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Значна частина триботехнічних задач в даний час вирішується малоефективним, емпіричним шляхом, що призводить до великих матеріальних та енергетичних витрат, не враховуються параметри трибологічної надійності та довговічності машин, механізмів, ріжучих інструментів ще на етапі конструювання. Серед інших причин – це і відсутність комплексної методики дослідження, яка б включала в себе кінетичні критерії оцінки процесів в зоні фрикційного контакту при різанні металів, універсальні машини тертя, параметричні моделі дослідження. Важливу роль відіграє при цьому геометрія контактуючих поверхонь тертя (масштабний чинник), яка визначає значення коефіцієнта взаємного перекриття ( $K_{\text{вп}}$ ). Величина  $K_{\text{вп}}$  суттєво змінює швидкість процесів тертя та зношення при переході від точкового до лінійного контакту і нарешті до контакту по площині. В умовах тертя при різанні металів це призводить до зміни співвідношення швидкостей процесів утворення, трансформації та руйнування захисних вторинних структур (ВС). На обидві поверхні діють перемінні тиски, постійно змінюються площа контакту, шорсткість поверхні, умови тепловідводу, наростоутворення та мікрОВикришування, контактна температура, що призводить до різних інтенсивностей зношення робочих поверхонь різця. Аналізуючи вхідні параметри та умови різання (важконавантажені пари тертя), попередні експериментальні дослідження та дослідження інших авторів, вибрана наступна схема контакту пари тертя: пальчиковий зразок – плоска торцева поверхня диска (контртіло). Положення зразка суттєво впливає на умови мащення та охолодження (характер подачі змащуючо-охолоджуючих рідин в робочу зону різання), що в свою чергу формує конкретні значення параметрів контактного електричного опору (КЕО)  $R$ , інтенсивності зношення  $I$ , коефіцієнта тертя  $\mu$ , температури  $T^{\circ}\text{C}$ . Враховуючи вище перелічене, запропоновано конструкцію трибометра для дослідження процесів в зоні фрикційного контакту при обробці металів різанням.

Побудована параметрична модель досліджуваних процесів. Запропоновані ідеї реалізовані при вирішенні проблеми прискореного припрацювання поверхонь тертя для одержання оптимальної експлуатаційної шорсткості. Наведені дані узагальнені для ряду різних матеріалів пар тертя, мастильних середовищ, вихідних значень шорсткості поверхні і характеристик вторинних структур, силових параметрів навантаження ( $P$ ,  $V$ ). Проведений цикл досліджень дозволив побудувати узагальнений графік залежності основних триботехнічних показників і структурного стану поверхонь тертя від значення  $K_{\text{вп}}$ . Дана схема дослідження дозволила шляхом фізичного моделювання процесів тертя та зношення, що має місце при різанні металів, значно зменшити трудоемність експериментальних досліджень, а також дати фізичне обґрунтування зношенню ріжучих інструментів.

# ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЗОРА МЕЖДУ ПРИТИРОМ И ШЛИФОВАЛЬНЫМ КРУГОМ ПРИ ПРАВКЕ СПОСОБОМ СВОБОДНОГО АБРАЗИВА

Гусев В.В., Медведев А.Л.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Процесс правки шлифовального круга (ШК) способом свободного абразива – является процессом избирательного абразивного износа его связки и материала притира. На интенсивность износа связки оказывает влияние зазор  $H$  между притиром и ШК, который динамически изменяется в процессе работы. От его величины зависит, происходит ли в данный промежуток времени правка ШК или нет. Расстояние между связкой круга и поверхностью притира складывается из высоты выступания зерен из связки  $\Delta R$ , высоты микронеровностей на притире  $Rz$  и величина зазора  $H$ . В дальнейшем принято, что величина  $Rz$  в процессе правки не изменяется.

Процесс взаимодействия абразивных частиц для правки, имеющих нормальный закон распределения по размерам (средний диаметр зерна  $d_3 = 274$  мкм и стандартное отклонение  $\sigma = 43$  мкм) со ШК и притиром начинается при условии  $H + Rz + \Delta R - h_{\min} < d_3 + 3\sigma$ , где  $h_{\min}$  – минимальная глубина внедрения зерен абразива в материал связки, для осуществления пластической деформации. В качестве допущения принято, что зерна имеют сферическую форму, механизм износа – абразивный.

Величина зазора  $H(\tau)$  изменяется во времени  $\tau$  вследствие постоянной скорости подачи притира в радиальном направлении по отношению к поверхности ШК  $V_{np}$  и скоростей износа притира  $V_{np}^u$  и связки ШК  $V_{шк}^u$ .

$$H(\tau) = -V_{np}\tau + V_{шк}^u + V_{np}^u.$$

Скорости износа рассчитываются с применением методики изложенных в работах И.В. Крагельского. При расчетах учитывалось изменяющееся количество абразивных зерен, участвующих в удалении материалов связки ШК и притира (вызывающих пластическую деформацию и микрорезание до момента их разрушения), вследствие изменения зазора.

Такой подход позволил составить динамическую модель процесса правки алмазных шлифовальных кругов способом свободного абразива, рассчитать время правки для обеспечения необходимого выступания зерен из связки  $\Delta R$  из условия обеспечения требуемой режущей способности.

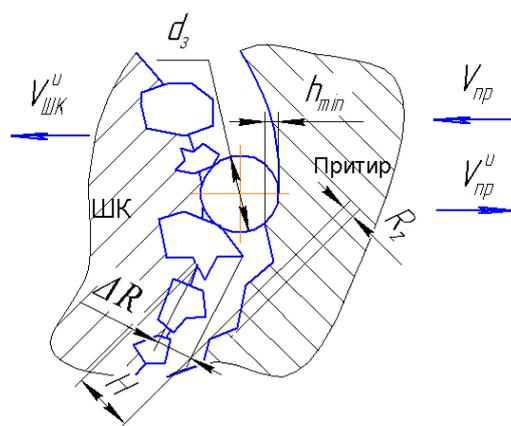


Рисунок 1 – Схема расположения зерна свободного абразива в зазоре между притиром и ШК

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ПОВЕРХНОСТНОМУ СЛОЮ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМИКИ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ**

Гусев В.В., Молчанов А.Д., Семенюк Д.Ю.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Наиболее эффективным способом удаления материала в керамических заготовках является шлифование алмазным кругом. Припуски на чистовое шлифование определяются величиной дефектного слоя, полученного на предыдущей стадии обработки, а также обеспечением требований к геометрической форме и размерам детали.

Исходя из этого, авторами были проведены теоретические и экспериментальные исследования формирования шероховатости и дефектности поверхности керамических изделий при алмазном шлифовании. Было установлено, что при алмазном шлифовании керамики по плоской схеме периферией круга наиболее значимыми факторами формирования высотных параметров микрорельефа и параметров дефектного слоя наряду с характеристикой круга и режимов резания оказывает влияние характер распределения алмазных зерен на рабочей поверхности круга (РПК) по высоте.

Для снижения дефектности и шероховатости, возникающей в результате обработки, следует назначать такие условия и режимы правки круга, при которых обеспечивается равномерная или правосторонняя плотность распределения зерен по высоте РПК при достаточной развитости профиля. Это связано с тем, что наибольшие значения сил резания имеют место на наиболее выступающих зернах из связки. Увеличивая число активных зерен участвующих в удалении материала припуска можно снизить максимальный уровень сил резания на зернах при неизменной производительности обработки. Уменьшается доля микронеровностей сформированных в результате скола материала припуска на алмазных зернах, а значения силы резания на зернах не превышают критических значений, приводящих к образованию медианных трещин в поверхностном слое.

Другим направлением уменьшения высоты микронеровностей и устранения дефектов обработки является применение высокоскоростного шлифования, обеспечивающего механизм пластического удаления припуска. При этой обработке резко возрастают требования к жесткости и виброустойчивости оборудования. Таким образом, существуют такие режимы обработки, при которых прочность керамических изделий не снижается, вследствие обработочной дефектности, а требования к микрорельефу поверхности выполняются.

На основе проведенных исследований определены рациональные режимы резания, характеристика шлифовального круга и условия управления при правке его режущей способности, исходя из требуемых параметров шероховатости и допустимой по прочности дефектности поверхности керамических изделий.

## ДИНАМІКА ШПИНДЕЛЬНИХ РАДІАЛЬНО-УПОРНИХ КУЛЬКОВИХ ПІДШИПНИКІВ

Данильченко Ю.М., Коломієць В.І.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Переважаючим видом опор шпинделів є підшипники кочення. За різними оцінками 90...95% шпиндельних вузлів випускаються саме з підшипниками кочення, спеціально призначеними для цих вузлів (шпиндельними підшипниками). Для прецизійних металорізальних верстатів рекомендовано переважно використовувати підшипники не нижче 2 класу точності, але висока точність їх виготовлення ще не гарантує високої точності роботи зібраних на них шпиндельних вузлів, особливо при виникненні локальних резонансів на частотах вібраційних збуджень підшипників.

При теоретичних дослідженнях динаміки роторних механізмів, зокрема і шпиндельних вузлів металорізальних верстатів, дія підшипників опор, зазвичай, враховується у вигляді полігармонічного вібраційного збудження, тобто як джерело вимушених коливань.

В останніх дослідженнях в цьому напрямку зроблені спроби врахування вібраційного збудження кулькових підшипників як джерела параметричних коливань, що більш точно відображає фізичний процес, але значно ускладнює процедуру розрахунку.

Метою цієї роботи є встановлення умов виникнення параметричних коливань шпиндельних радіально-упорних кулькових підшипників та адекватності застосування математичних моделей коливань шпинделя, в яких ці підшипники розглядаються як джерела вимушених коливань.

Розглядалися прості резонанси в особливому випадку, коли форми параметричних коливань збігаються з власними формами коливань. Розв'язок матричного рівняння параметричних коливань для особливого випадку шукався методом головних координат. Стійкість розв'язків кожного рівняння системи досліджувались за допомогою діаграми Айнса-Стретта.

Для дослідження умов виникнення параметричного резонансу обрано шпиндельний радіально-упорний кульковий підшипник гіперлегкої серії 2-го класу точності SEA 35 фірми SNFA. Враховувались похибки виготовлення доріжок кочення кілець і комплекту кульок та дія інерційного навантаження від комплекту кульок і теплоутворення у підшипнику при обертанні внутрішнього кільця.

За результатами дослідження встановлено, що виникнення параметричних коливань можливе лише на критичних частотах обертання при значному розвантаженні підшипника внаслідок дії інерційного навантаження від комплекту кульок. В інших випадках ці коливання виникають лише при збігу власних частот з частотами збудження. Тобто для цих випадків в математичних моделях коливань шпинделя підшипники його опор можна розглядати як джерела вимушених коливань.

# ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЧНОЇ КОЛИВНОЇ СИСТЕМИ «ШПИНДЕЛЬНИЙ ВУЗОЛ-ОСНОВА»

Данильченко Ю.М., Петришин А.І.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Точність обробки на металорізальних верстатах значною мірою залежить від точності роботи їх шпиндельних вузлів (ШВ). На даний час мінімальна похибка обертання  $\Delta$  шпинделів на опорах кочення сягає 0,2...0,5 мкм. Але досягнення такої точності при роботі на високих частотах обертання неможливе без забезпечення високої динамічної якості ШВ.

Загалом динамічну якість ШВ оцінюють за динамічними характеристиками, основними з яких є частоти і форми власних коливань. Зазвичай, для їх обчислення ШВ уявляється у вигляді стержневої системи із розподіленими і зосередженими масами та пружними елементами, що характеризують підшипники опор. Такий підхід дозволяє достатньо повно оцінити динамічну якість ШВ як окремого вузла, але є недостатнім для його оцінки в складі технологічної системи, тобто з врахуванням умов закріплення в шпинделі інструмента (заготовки) та монтажу ШВ на верстаті.

Метою цієї роботи є дослідження закономірностей формування власних частот механічної коливної системи «ШВ-основа».

Для обчислення власних частот системи «ШВ-основа» використовується узагальнена пружно-деформаційна модель ШВ як складної механічної коливної системи. Визначення гармонічних коефіцієнтів впливу (локальних динамічних податливостей підсистем) ґрунтується на використанні методу початкових параметрів в матричній формі (методу перехідних матриць).

Досліджується шліфувальна головка гільзового виконання. Корпус головки виконано у вигляді гільзи діаметром 65 мм і довжиною 250 мм. Вал шпинделя змонтовано на дуплексованих радіально-упорних кулькових підшипниках типу 36104К, зібраних за схемою «тандем-Х». Система попереднього осьового натягу підшипників – пружна.

Розрахункова модель представлена у вигляді механічної коливної системи, що складається з двох підсистем: шпинделя на чотирьох лінійно-пружних опорах і гільзи, що базується на абсолютно жорсткій основі на двох лінійно-пружних опорах. Шпиндель і гільза розглядаються як стержні із розподіленою масою.

За результатами обчислення встановлено закономірності формування власних частот системи «ШВ-основа» при зміні жорсткостей лінійно-пружних опор гільзи в межах 0,15...400 Н/мкм, а саме:

- при малій жорсткості опор гільзи власні частоти коливань системи фактично визначаються динамічною поведінкою підсистеми гільзи;
- при великій жорсткості опор гільзи збільшується вплив підсистеми шпинделя. При абсолютній жорсткості опор гільзи значення другої власної частоти системи майже співпадає із значенням першої власної частоти власне шпиндельного вузла.

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН ЗА ДОПОМОГО КРИТЕРІЇВ ПОДІБНОСТІ

Дорохов М.Ю., Мартиновська О.В.  
(ДДМА, г. Краматорськ, Україна)

Розробка конструкції експериментальної установки з метою максимально наблизити умови роботи моделі до реального мостового крану виконується з урахуванням методів фізичного моделювання із використанням теорії подібності і розмірностей.

Основним дослідницьким параметром є вертикальна деформація кранового мосту  $x_M$ , яка залежить від ряду параметрів, основним із яких є:  $m_M$  – приведена вага металокопструкції мосту крану;  $m_T$  – вага візка;  $c_M$  – жорсткість металокопструкції мосту крану;  $c_K$  – жорсткість канату;  $D_M$  – коефіцієнт демпфірування металокопструкції мосту крану;  $D_K$  – коефіцієнт демпфірування канату;  $x_M$  – зміна координати металокопструкції мосту крану;  $x_K$  – зміна координати канату приводу.

У зв'язку з цим можна записати:

$$x_M = f(m_M; m_T; c_M; c_K; D_M; D_K; x_M; x_K).$$

Визначення критеріїв подібності виконано методом інтегральних аналогів.

Визначення критеріїв подібності може бути виконано приведенням рівняння до безрозмірного вигляду діленням на один із складових (наприклад  $D_M \dot{x}_M$ ).

Опускаючи знаки диференціювання і замінюючи знаки співвідношення між складовими на знаки пропорційності, після відповідних арифметичних перетворень отримаємо

$$\frac{m_M}{D_M t} \sim \frac{c_K l_K t}{D_M l_M} \sim \frac{c_K t}{D_M} \sim \frac{c_M t}{D_M} \sim 1.$$

Отримані безрозмірні комплекси, складені із перемінних велич і параметрів, є критеріями подібності:

$$P_1 = \frac{m_M}{D_M t}; P_2 = \frac{c_K l_K t}{D_M l_M}; P_3 = \frac{c_K t}{D_M}; P_4 = \frac{c_M t}{D_M}.$$

Після розкриття всіх складових отриманих параметрів, можна зробити висновок, що:  $P_1$  включає в себе найважливіші параметри: вагу металокопструкції; вагу візка; коефіцієнт демпфірування металокопструкції крану; логарифмічний декремент; жорсткості металокопструкції мосту; положення візка.

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Залога В.А., Зинченко Р.Н., Гонщик А.В.  
(СумГУ, Сумы, Украина)

Главной целью исследований в области резания металлов является разработка методов, которые смогли бы обеспечить оптимальное использование станков, улучшить экономическую эффективность производства, достичь высокой точности механической обработки, уменьшить время простоя станка и затраты на режущий инструмент. Диагностика процесса механической обработки и, в частности, состояния режущего инструмента имеет огромное значение на пути к достижению указанных целей, поскольку он позволяет обеспечить быструю реакцию, связанную с исключением появляющихся в процессе резания отклонений.

Методы искусственного интеллекта (ИИ) доказали высокий уровень компетентности при решении многих комплексных инженерных задач. Особо важное значение резания металлов имеет их применение в системах диагностики состояния режущего инструмента. В этом приложении нейронные сети и нечеткая логика используются как основа экспертной системы для определения какого-либо показателя процесса по данным большого числа датчиков, установленных в технологической системе. Чаще всего решения принимаются на основе данных о силе резания, параметрах вибраций, спектре акустической эмиссии, токе и мощности электродвигателя, колебаний скорости вращения шпинделя.

На сегодняшний день существует ряд работ, посвященных мониторингу износа инструмента с применением искусственного интеллекта. Среди отечественных ученых этим вопросом занимаются А.Г. Деревянченко, Л.В. Бовнегра, Л.М. Девин, среди зарубежных – К. Patra, S.K. Pal, К. Bhattacharyya, S.S. Panda, A.K. Singh, D. Dinakaran, S. Sampathkumar (Индия); К. Jemielniak (Польша); М. Balazinski, Q. Ren (Канада), А. Antic, М. Zeljkovic, Р.В. Petrovic (Сербия); Т. Ozel (США), А. Salimi (Иран); Х. Li, S.K. Tso, J. Wang, P. Fu (Китай); А.Д. Норе (Великобритания); А. Gajate, R.E. Haber, J.R. Alique, P.I. Vega (Испания) и др.

Обзор литературы показал, что исследования в области диагностирования состояния режущего инструмента должны проводиться по следующим направлениям: разработка единой методологии применения ИИ в системах диагностики состояния РИ; сравнительный анализ эффективности систем диагностики состояния РИ с использованием сигналов различных видов (вибрации, силы резания, акустической эмиссии, тока и мощности электродвигателя, температуры, скорости вращения шпинделя и др.); разработка гибридной (нейро-нечеткой) подсистемы принятия решений в системах диагностики состояния РИ.

## **СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ТРУДНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

Залога В.А., Зинченко Р.Н.  
(СумГУ, г. Сумы, Украина)

Обработка со снятием стружки все еще остается одним из основных методов образования формы. Наиболее слабым звеном при такой обработке является инструмент, работающий в условиях сложных температурно-силовых режимов нагружения и априорной неопределенности изменения внешних и внутренних воздействий. При механообработке лезвийным инструментом, особенно труднообрабатываемых материалов, инструмент подвержен процессу интенсивного изнашивания. Дороговизна режущего инструмента требует максимального использования ресурса его работы, поскольку только в этом случае возможно получение экономического эффекта от его использования. Износ режущего инструмента, а также поломки, связанные с его затуплением, могут привести к остановке выполнения операции технологического процесса, а в некоторых случаях и к появлению неисправимого брака.

Несмотря на уже достаточно распространенное применение средств и методов диагностики состояния режущего инструмента, они все еще требуют постоянного развития и совершенствования с целью повышения их разрешающей способности, снижения стоимости внедрения и использования, а также снижения степени влияния сложностей, связанных с внедрением и настройкой систем, разработанных для решения конкретных производственных задач. Решение этих проблем невозможно без дальнейшего исследования процессов резания и изнашивания инструментов, установления взаимосвязи явлений, обуславливающих требуемое состояние режущего инструмента, а также совершенствования самих систем диагностики, особенно, разрабатываемых с использованием современных информационных технологий. Как следствие, для решения поставленной задачи, применительно к таким сложным и многофакторным процессам, каким является процесс резания, для поддержания высокой работоспособности режущих инструментов появляется необходимость создания интеллектуальных систем, которые обеспечивают автоматический контроль, диагностирование состояний и прогнозирование отказов инструментов. В этом случае особое внимание должно уделяться проблеме создания интеллектуальных систем, обладающих развитыми свойствами самоприспосабливаемости к изменению условий работы инструмента и его диагностирования.

В соответствии с таким подходом, структура системы диагностики должна качественно измениться и содержать в своем составе аппарат принятия интеллектуальных решений – экспертную систему.

## УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Иванов И.Н., Иванов А.И.

(ДГМА, г. Краматорск, КБМ им. А. Морозова, г. Харьков, Украина)

Повышение надежности, безопасной работы и длительности эксплуатации деталей, узлов и машин в целом является одной из основных задач машиностроения. Решение данного вопроса осуществляется на всех жизненных этапах машины, т. е. при разработке конструкции, технологии ее изготовления и эксплуатации.

Одним из технологических методов является создание оптимальной шероховатости, твердости и характера напряженного состояния сопрягаемых поверхностей. Управление этими параметрами может осуществляться различными путями, одним из которых является поверхностное пластическое деформирование.

Из многообразия существующих процессов ППД наилучшим образом зарекомендовал себя метод многоконтактной турбоцентробежной обработки, который является одним из наиболее эффективных методов повышения несущей способности нежестких и неравножестких деталей.

Отсутствие жесткой связи между приводом и деформирующими элементами, равномерное распределение деформирующих усилий, исключают возможность точного базирования инструмента относительно обрабатываемой поверхности и позволяют эффективно осуществлять обработку в режиме статического и импульсно-ударного нагружения без применения дорогостоящего оборудования.

Схема и режим воздействия деформирующих усилий на обрабатываемые поверхности деталей машин зависит от конструктивных особенностей инструмента и эффективности использования энергии рабочего агента.

Особый интерес представляет импульсно-ударный режим деформирования при котором в процессе пластической деформации в металле возникают ударные деформационные волны. Скорость распространения деформационных волн, значительно меньше скорости звука в металле. При этом скорость перемещения частиц деформируемого металла может превышать скорость распространения деформационных волн, что существенно влияет на технологические возможности процесса отделочно-упрочняющей обработки.

Характерной особенностью метода является возможность создания на обрабатываемой поверхности регулярного микрорельефа, что позволяет повысить износостойкость, контактную прочность и долговечность деталей.

При исследовании состояния поверхностного слоя деталей после многоконтактной импульсно-ударной отделочно-упрочняющей обработки установлено повышение микротвердости поверхностного слоя на 30...40%, снижение шероховатости до  $Ra \approx 0,32...0,16$  мкм, наличие однородной микроструктуры и остаточных напряжений сжатия.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОРЦОВЫМИ ФРЕЗАМИ

Ивченко Т.Г., Полякова К.В., Витохина Д.В.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тепловое состояние режущего инструмента в значительной мере определяет эффективность его использования, в связи с чем весьма актуальны исследования тепловых процессов при торцевом фрезеровании, которое имеет достаточно большое распространение при обработке плоских поверхностей.

Целью настоящей работы является теоретические исследования теплового состояния инструмента и детали в зависимости от условий обработки при торцевом фрезеровании.

Основные особенности фрезерования заключаются в следующем: прерывистость процесса резания; переменности параметров среза; нагрев детали под воздействием участвующих в работе предшествующих лезвий многолезвийного инструмента.

При схематизации компонентов исследуемой системы деталь рассматривается как полупространство, инструмент – как полуограниченный клин. Источники теплоты на передней и задней поверхностях инструмента плоские прямоугольные с размерами, равными размерам контактных площадок лезвия со стружкой и деталью. Для инструмента источники являются неподвижными, для детали – быстро движущимися.

Прерывистость процесса фрезерования определяет необходимость исследования теплового состояния инструмента в условиях как неустановившегося, так и установившегося теплообмена.

На основании анализа теплового состояния инструмента разработана методика расчета тепловых потоков и температур в зоне обработки при торцевом фрезеровании в условиях неустановившегося и установившегося теплообмена. Установлены общие закономерности формирования тепловых потоков и температур с учетом источников теплоты, действующих на передней и задней поверхностях лезвия инструмента. Исследовано влияние на тепловые потоки переменных параметров процесса нестационарного и стационарного резания.

При описании температурного поля в детали в соответствие с методом источников целесообразно использовать известные аналитические выражения для полосового быстро движущегося источника, в которые необходимо ввести поправочные коэффициенты, учитывающие ограниченность источников по ширине.

Разработана методика расчета температурных полей в детали. Исследованы закономерности распределения температур, как по поверхности, так и по глубине детали. Выполнены расчеты максимальной температуры на поверхности детали для различных условий торцевого фрезерования. Разработанная методика будет широко использована для прогнозирования закономерностей формирования температур в зоне обработки в зависимости от условий торцевого фрезерования, а также других видов прерывистого резания.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Ивченко Т.Г., Шумилина И.К., Король К.О.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Оптимизация параметров процесса резания – важнейший резерв снижения себестоимости обработки деталей. Одним из методов оптимизации является метод геометрического программирования (МГП), позволяющий осуществлять одновременную оптимизацию скорости резания и подачи с учетом действующих ограничений по критерию минимальной себестоимости.

Цель представляемой работы – определить оптимальные режимы резания, обеспечивающие минимальную себестоимость обработки при черновом и чистовом растачивании основных отверстий корпусных деталей.

С использованием в качестве критерия оптимизации переменной части себестоимости обработки детали режущим инструментом за один проход на базе МГП разработана методика аналитического определения оптимальных режимов резания в зависимости от параметров механической обработки для различных ограничений. Исследованы ограничения по предельно допустимой прочности пластины и жесткости инструмента при черновой обработке и шероховатости обработанной поверхности при чистовой обработке.

На основании разработанной методики аналитического определения оптимальных режимов резания установлены закономерности изменения оптимальных значений подачи и скорости резания от вылета резца, шероховатости обработанной поверхности и радиусов при вершине лезвия инструмента. С использованием установленных аналитических зависимостей может быть рассчитан коэффициент изменения

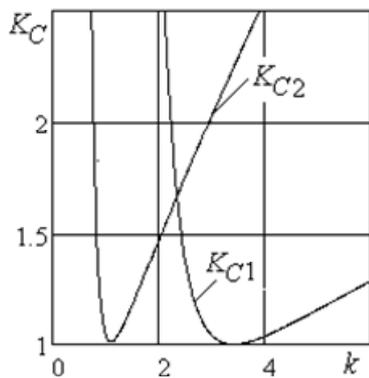


Рис. 1. Зависимость коэффициента изменения себестоимости обработки от степени отклонения  $k$  режимов от оптимальных

себестоимости обработки при отклонении выбранных режимов резания от их оптимального значения для подачи  $S = kS_0$  и скорости резания  $V = k^{(1-\nu)}V_0$  ( $k$  – степень отклонения). Из графика, представленного на рис. 1, следует, что минимальная себестоимость чистовой обработки имеет место при  $k = 1$  ( $K_{C2} = 1$ ), то есть при оптимальных режимах резания. В сравнении с чистовыми, режимы резания, при которых достигается минимальная себестоимость ( $K_{C1} = 1$ ), выше  $k = 3$ . При отклонении режимов резания, как в меньшую, так и в большую сторону от оптимальных, себестоимость как чистовой, так и черновой обработок увеличивается.

Разработанная методика определения оптимальных режимов резания может быть использована для любых видов обработки.

## ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА СТОЙКОСТЬ ПРОТИВ ОТКОЛОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

Кабацкий В.И., Кабацкий А.В., Войнов П.Г.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Холодные трещины, как известно, являются наиболее распространенным дефектом при сварке легированных сталей. При этом активное воздействие на образование и развитие холодных трещин оказывает диффузионный водород.

В ряде работ показано, что перспективным путем борьбы с холодными трещинами может служить модифицирование металла шва и зоны сплавления сварных соединений. Учитывая это, целью исследований было определение влияния основных факторов на стойкость против холодных околошовных трещин (отколов) при различных видах модифицирования сварных швов.

В качестве модификаторов использовались азот и микродобавки активных фазообразующих, а также поверхностно-активных элементов (ванадия, титана, бора, алюминия церия, кальция). Результаты испытаний показывают, что наиболее стабильный эффект повышения стойкости против трещин наблюдается при совместном модифицировании швов ванадием, азотом и РЗМ (церием).

Эксперименты показывают что при очень близком соответствии параметров превращения ( $B_H = 330...360^\circ\text{C}$ ,  $M_H = 320...350^\circ\text{C}$ ,  $M_K = 200...260^\circ\text{C}$ ) соединения могут весьма существенно отличаться по стойкости против отколов. Таким образом, изучение особенностей структуры участка крупного зерна не позволяет однозначно объяснить причины различной стойкости рассматриваемых соединений против образования холодных трещин.

Содержание в наплавленном металле диффузионно-подвижного водорода определялось методом глицериновой пробы. Результаты проведенных исследований показали, что наиболее высокие значения получены при испытании низколегированных электродов типа 10ХГНМТФ, а также электродов с добавками титана, бора и алюминия (1,42 и 1,22 мл / 100 г. соответственно). Электроды с добавками нитридов ванадия занимают промежуточное положение (~0,40 мл / 100 г.). Содержание диффузионно-подвижного водорода снижается при введении в металл церия (~0,30...0,35 мл / 100 г.). Кроме того, следует отметить, что введение в наплавленный металл добавок титана и бора (содержание  $[H]_д$  ~1,2...1,25 мл / 100 г.), титана, бора и алюминия (а также ванадия, титана и бора, содержание  $[H]_д$  ~1,0 мл / 100 г.), при близких содержаниях водорода, показывают различие в стойкости против трещин.

Сопоставление полученных результатов позволяет отметить, что водород при таком содержании оказывает влияние на стойкость против трещин в комплексе с другими факторами. Вместе с тем, довольно низкие во всех случаях величины концентраций  $[H]_{диф}$  свидетельствуют о том, что отмеченные различия, по-видимому, не являются определяющими в объяснении повышения стойкости против трещин. Более точно на этот вопрос можно ответить лишь после изучения кинетики выделения водорода в сварном соединении.

## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДОПУСТИМОЙ ГРАНИЦЫ ФОРСИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ПРИ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ ИНСТРУМЕНТА

Казакова Т.В.

(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Ускоренную оценку качества сборных резцов общего назначения чаще всего производят по результатам форсированных испытаний на прочность методом ступенчато-возрастающей подачи. Общепринятой рекомендацией является выбор допустимой границы форсирования нагрузки (времени работы на ступени) из условия сохранения единства физической природы отказа при ускоренных и эксплуатационных испытаниях.

Исследовали следующие физические признаки природы отказа: размеры разрушений и коэффициенты их вариации; адекватность распределений разрушающей подачи, полученных при различном времени работы на ступени, одним и тем же теоретическим законам, отсутствие существенности различий рельефа изломов. Для исследований использовали резцы PSSNR/L 2525M.

Проверка существенности различий размеров разрушений показала, что различие средних значений не существенно: верхняя доверительная граница размеров разрушений по ширине среза  $b_{\max} = 7,7$  мм, нижняя  $a_p = 9,35...9,17$  мм. Различия коэффициентов вариации размеров разрушений также статистически не значимы.

Для всех принятых значений времени работы на ступени ( $t_{\text{ст}} = 2...300$  с), т.е. независимо от времени форсирования, распределение разрушающей подачи ( $S_p$ ) описывается нормальным законом. Существенность различия рельефа изломов (шага первичных и вторичных микрополосок) также отсутствует.

Точность экспериментального определения влияния различных параметров на рассеивание результатов испытаний не высока. В связи с этим осуществлено статистическое моделирование испытаний на прочность методом Монте-Карло. Полученные при моделировании данные сравнивали с результатами усталостных испытаний твердосплавных образцов, испытаний резанием, а также с результатами специально проведенных экспериментов по определению разрушающей подачи.

Установлено, что с повышением степени форсирования нагрузки средние значения прочности увеличиваются, а их рассеивание (коэффициент вариации  $V_{SP}$ ) уменьшается, о чем свидетельствуют полученные математические модели:  $S_p = 3,86 t_{\text{ст}}$ ,  $V_{SP} = 1,14 t_{\text{ст}}$ .

Целесообразным с точки зрения трудоемкости, точности и стоимости испытаний является время работы на ступени менее 20 с.

# СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ УПРОЧНЕННОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВАНИИ УЧЕТА СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ И РЕЗАНИЯ

Калиниченко В.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Основными направлениями снижения интенсивности изнашивания и повышения стойкости режущего инструмента (РИ) при чистовой обработке является упрочнение РИ и нанесение износостойких покрытий (ИП). Эффективность применения упрочненного РИ зависит от выбора режимов упрочняющего энергетического воздействия (УЭВ) и резания.

Предварительное УЭВ формирует резерв  $\Delta H_{\mu_{упр}}$  повышенной микротвердости  $H_{\mu}$  поверхностного слоя РИ. Интенсивность  $I_h$  изнашивания РИ зависит от соотношения прочности  $\tau_{mn}$  адгезионных связей на срез при пластических деформациях на контакте и микротвердости  $H_{\mu}$  поверхностного слоя РИ по формуле:  $I_h = A_1 \cdot \left( \frac{\tau_{mn}}{H_{\mu}} \right)^{B_1}$ ,

где  $A_1 > 0$ ,  $B_1 > 1$ . Режимы резания влияют на изнашивание РИ за счет температурного фактора. Рост температуры  $\Theta$  резания снижает и  $\tau_{mn}$ , и  $H_{\mu}$ , уменьшая резерв  $\Delta H_{\mu_{упр}}$  на величину  $\Delta H_{\mu_Q}$ . Резерв  $\Delta H_{\mu}$  сохраняется при  $\Delta H_{\mu_{упр}} - \Delta H_{\mu_Q} > 0$ .

Зависимости  $\tau_{mn}$  и  $H_{\mu}$  от  $\Theta$  при скорости резания  $V$ , меньшей или равной оптимуму  $V_0$ , имеют вид:  $\tau_{mn} = \tau_0 + \beta_{хар} \cdot A_r \cdot e^{-a_r \cdot \Theta}$  и  $H_{\mu} = H_{\mu_и} \cdot K_{H_{\mu}} \cdot e^{-a_{H_{\mu}} \cdot \Theta}$ , где  $\tau_0$  – прочность на срез адгезионных связей при отсутствии нормальных напряжений на контакте;  $\beta_{хар}$  – коэффициент упрочнения адгезионных связей при  $V = V_0$ ;  $A_r > 1$ ;  $a_r > 0$ ;  $H_{\mu_и}$  – значение  $H_{\mu}$  до УЭВ;  $K_{H_{\mu}}$  – коэффициент повышения  $H_{\mu}$  после УЭВ;  $a_{H_{\mu}} > 0$ . Снижение  $\tau_{mn}$  при росте  $\Theta$  превалирует над снижением  $H_{\mu}$  при  $a_r > a_{H_{\mu}}$ .

Разработка рекомендаций по выбору режимов упрочнения и резания должна базироваться на учете их совместного влияния на интенсивность изнашивания РИ. Расчетно-теоретические модели для определения режимов упрочняющей обработки и резания при этом должны учитывать логику неравенств  $\Delta H_{\mu_{упр}} - \Delta H_{\mu_Q} > 0$  и  $a_r > a_{H_{\mu}}$ . Модели, разрабатываемые для РИ с ИП, должны учитывать сложный характер контакта рабочих поверхностей РИ с обрабатываемым материалом с наличием на контактирующей поверхности РИ зон целого и разрушенного ИП, закономерности изменения механических свойств материала ип при росте  $\Theta$ , термодинамические явления при резании.

## ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТА

Карпусь В.Є., Іванова М.С.  
(НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)

До формул для розрахунку допустимих режимів різання (подачі, швидкості різання, частоти обертання) осьовим інструментом, виходячи з умов його усталеності та міцності входить осьовий момент інерції  $J$ , величина якого залежить від геометричних параметрів поперечного перерізу інструмента.

Осьові моменти інерції свердла відносно осей  $X$  та  $Y$  в залежності від його діаметру  $d$  визначають за формулами:

$$J_x = 0,039 \cdot d^4; \quad J_y = 0,0039 \cdot d^4.$$

Для зенкерів та розверток величини осьових моментів інерції приймають як для стрижня круглого перерізу, що призводить до похибок в розрахунках. З метою їх зменшення визначимо залежності для розрахунку осьових моментів інерції цих інструментів.

Геометричні параметри поперечних перерізів стандартних зенкерів (рис. 1, а) в залежності від діаметра інструмента  $d_0 = (0,35 \dots 0,5)d$ ,  $B = (0,4 \dots 0,48)d$ ,  $t = (0,02 \dots 0,04)d$ ,  $f = (0,05 \dots 0,1)d$ , а розвертки (рис. 1, б)  $f = (0,6 \dots 0,8)d$ ,  $h = (0,1 \dots 0,15)d$ .

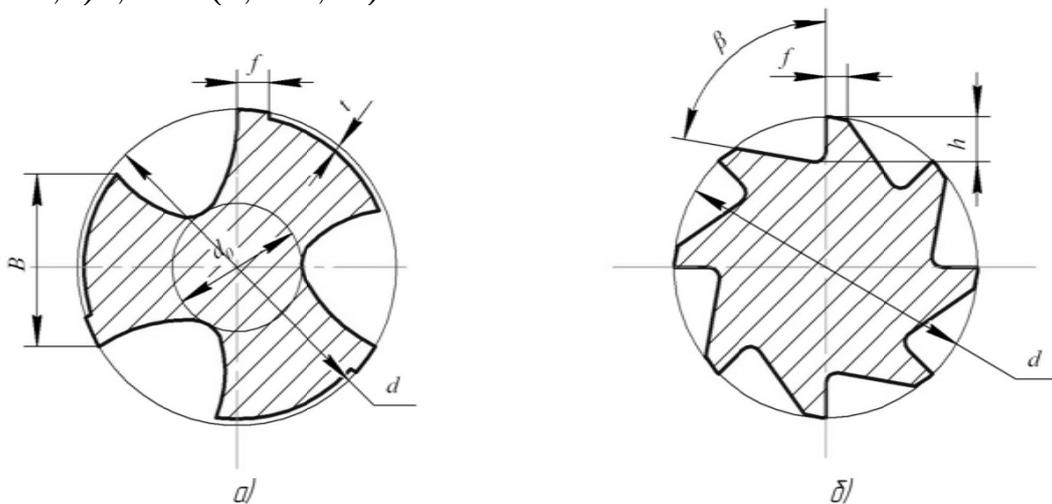


Рисунок 1 – Переріз інструмента:  
а – зенкера; б – розвертки

Розрахунки проводилися 3D-моделюванням інструментів у програмному забезпеченні SolidWorks.

Таким чином, осьові моменти інерції зенкера, в залежності від його діаметру, можна визначити за формулою

$$J_x = J_y = (0,022 \dots 0,026) \cdot d^4,$$

а розвертки

$$J_x = J_y = (0,025 \dots 0,028) \cdot d^4.$$

## КВАЛИМЕТРИЯ СБОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ

Клименко Г.П.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Повышение эффективности металлообработки в значительной степени определяется качеством режущего инструмента, повышение уровня которого приводит не только к повышению производительности труда, но и к экономии дефицитных инструментальных материалов.

Для количественной оценки качества сборных твердосплавных фрез был использован квалиметрический подход, который позволил сравнивать уровень качества различных конструкций сборных фрез, работающих в одинаковых условиях, а также выявить пути повышения качества инструмента.

Разработана иерархическая система свойств, составляющих качество фрез, состоящая из свойств, расположенных на пяти уровнях. Самый нижний уровень состоит из простых свойств, характеристики которых определялись по результатам производственных испытаний фрез в условиях ЗАО НКМЗ, а также на основании статистических данных о работе инструмента в тех же условиях. Количественной характеристикой уровня качества единичных свойств, являлась «оценка», представляющая собой отношение показателя качества оцениваемой конструкции к аналогичному показателю конструкции, принятой за эталон. Комплексные свойства качества фрез рассматривались на трех стадиях: проектирования, изготовления и эксплуатации.

Уровень качества комплексных свойств, вплоть до качества в целом, определялся как математическая свертка оценок свойств более низкого уровня с учетом их весомостей (степени важности), определенных экспертным методом.

Установлено, что для совершенствования конструкций фрез наиболее перспективным путем повышения их качества является улучшение свойства «надежность», главным показателем которого является вероятность безотказной работы. На стадии проектирования фрез была решена задача распределения уровня надежности между элементами конструкции фрезы. Оптимизация уровня надежности произведена по двум критериям: приведенные затраты и расход твердого сплава. Установлено, например, что для фрез, состоящих из шести зубьев целесообразно обеспечить надежность (вероятность безотказной работы) на уровне 0,94. Дальнейшее ее повышение приводит к резкому увеличению затрат без существенной экономии твердого сплава. Рассматривая сборный инструмент как систему элементов с резервом с точки зрения ее надежности, получены математические модели для расчета вероятности безотказной работы фрезы при разных стратегиях ее замены при отказах одного, двух и более зубьев на стадии эксплуатации инструмента. Разработаны рекомендации для фрез с разными числами зубьев по выбору стратегии замены отказавших элементов для обеспечения оптимального уровня надежности фрезы.

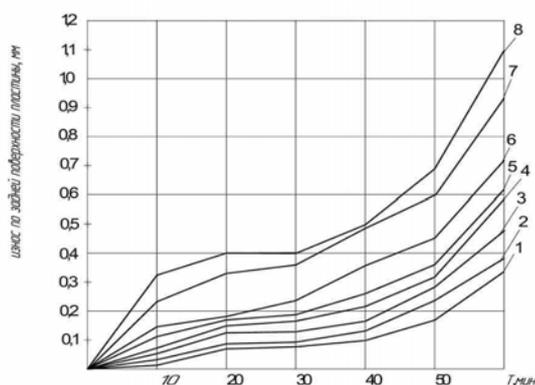
## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ

Клименко Г.П., Денисова А.О.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В связи с необходимостью сокращения простоев станков, расхода режущего инструмента, брака основного производства, улучшения экономических показателей машиностроительного производства особое значение приобретает повышение качества режущего инструмента. Одним из важнейших свойств качества торцовых фрез является их износостойкость. В настоящее время на машиностроительных предприятиях находят применение новые марки инструментальных материалов, в том числе и зарубежных фирм-изготовителей.

Цель настоящей работы – определение сравнительной износостойкости торцовых фрез, оснащенных твердым сплавом различных фирм-изготовителей.

При проведении испытаний для оснащения торцовых фрез были взяты твердосплавные пластины фирм Seco, Ceratizit, Taegu Tec, Iskar, ZCC CT. Испытания проводились в условиях ЗАО НКМЗ. Результаты сравнительных испытаний торцовых фрез, оснащенных пластинами различных фирм-изготовителей, показаны на рис. 1.



*Условия испытаний:*

*Станок – горизонтально-расточной  
TosWarms Dorf;*

*Обрабатываемая деталь – сталь  
7ХГ2ВМ, НВ 270;*

*Режущий инструмент – фреза  
торцовая,  $z=3$ ; Ширина фрезерования  
 $B=24$  мм,  $t=3$  мм,  $S_z=0,18$  мм/зуб,  
 $S_{мин}=970$  мм/мин,  $V=180$  м/мин,  
 $n=1800$  об/мин.*

Рисунок 1 – Результаты сравнительных испытаний торцовых фрез  $z = 4$ : 1, 3 – пластины фирмы Seco; 2, 4 – пластины фирмы Ceratizit; 5 – пластины фирмы Taegu Tec; 6, 7 – пластины фирмы Iskar; 8 – пластины фирмы ZCC CT.

Исследования свойств, составляющих качество торцовых фрез показали, что одним из важнейших свойств является их износостойкость. Результаты испытаний показали, что для фрез с числом зубьев равным трем при фрезеровании плоскости наименьший износ показали пластины фирмы Seco, Taegu Tec и Ceratizit. У пластин этих фирм разница износов статически незначима. Фрезы, оснащенные пластинами фирм Iscar и ZCC CT показали наибольший износ.

Таким образом, сравнительные испытания торцовых фрез в производственных условиях ЗАО НКМЗ, оснащенных пластинами твердого сплава, изготовленными различными фирмами-изготовителями, показали, что наибольшая износостойкость у пластин фирм Taegu Tec, Ceratizit, Seco.

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МНОГОЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА

Клименко Г.П., Денисова А.О.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При работе многолезвийного инструмента, например, сборных торцовых фрез, отказ одного зуба не приводит к потере работоспособности инструмента. В производственных условиях часто эксплуатируют инструмент до полного его отказа, что приводит к резкому снижению безотказности и долговечности инструмента. Целесообразный уровень надежности определяется, исходя из его оптимизации по двум экономическим критериям: себестоимость обработки деталей инструментом и эксплуатационные расходы. Для обеспечения целесообразного уровня надежности, который для торцовых фрез находится в диапазоне 0,82...0,95, получены математические модели для расчетов показателей надежности для различных стратегий замены отказавших элементов сборного режущего инструмента.

Пусть инструмент с числом зубьев  $z$  заменяют (восстанавливают работоспособность) при  $m$  безотказно работающих зубьях.

Если фреза считается работоспособной до выхода из строя всех зубьев, то с точки зрения надежности она представляет собой параллельную систему. Если предположить, что безотказность фрезы обеспечена при отказе  $(z - m)$  зубьев, то режущий инструмент можно представить как систему с резервированием, так как при работе всех зубьев инструмента они находятся примерно в одних условиях, а при отказе одного зуба остальные принимают на себя его нагрузку. При этом интенсивность расхода ресурса резервных элементов до момента выхода из строя хотя бы одного зуба значительно ниже. Если предположить, что надежности всех зубьев равны, то вероятность безотказной работы фрезы определится:

$$R_{\phi} = 1 - [1 - R_z^z]^{m+1},$$

где  $R_z$  – вероятность безотказной работы каждого зуба.

Отсюда число безотказно работающих зубьев фрезы для обеспечения рационального уровня надежности всей фрезы  $R_{\phi}$ :

$$m = \frac{\log[1 - R_{\phi}(t)]}{\log[1 - R_z^z]} - 1. \quad (1)$$

Так, если необходимо обеспечить уровень надежности фрезы  $R_{\phi} = 0,95$  при надежности каждого зуба  $R_z = 0,9$ , используя выражение (1), определим, что замену фрезы с  $z = 10$  необходимо производить при четырех отказавших зубьях.

## **РАЗРАБОТКА ТЯЖЕЛОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Ковалев В.Д., Жеребятъева А.В., Коваленко В.И., Леонов А.С.,  
Сербина О.В., Кучеренко Н.С. (ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Эффективное производство деталей с большими габаритными размерами, таких как роторы и валы ветрогенераторов, газовые и водяные турбины, определяется точностью, производительностью и гибкостью системы механической обработки.

Создан проект тяжелого многоцелевого станка для комплексной обработки деталей типа «ротор» массой до 100 тонн. Станок разработан на базе тяжелого токарного и оснащен фрезерным, расточным, шлифовальным модулем. При проектировании ставились цели улучшенной энергетической и материальной эффективности, сокращения движущихся масс, увеличения точности и рабочего пространства. компоновка и конструкция оптимизированы по динамике и температуре, на основе моделирования упругих и тепловых перемещений, а также компенсации этих явлений. Алгоритмы тепловой оптимизации рассматривают линейные и угловые смещения. Кроме того оптимизирована стратегия процесса механической обработки с минимальными тепловыми смещениями инструмента и заготовки с помощью системы ЧПУ.

Предусмотрены мехатронные системы для компенсации тепловых и упругих деформаций. Система ЧПУ приспособлена, чтобы обеспечивать информацией функции компенсации. Линейные смещения компенсированы регуляторами положения инструмента, а угловые смещения компенсированы структурами, которые активно управляются через ЧПУ. Алгоритмы моделирования выполнены для прогнозируемой компенсации в реальном времени. Система адаптивного управления использует данные от термодатчиков и данные других параметров от подсистем станка и особенностей процесса механической обработки, чтобы обеспечить оптимизированную траекторию инструмента.

В станке применены гидростатические опоры токарного шпинделя, гидростатические направляющие суппортов, гидростатические передачи «червяк-рейка», что обеспечивает высокую точность, жесткость, долговечность станка, а также – возможность выполнения на одном станке черновых и чистовых операций. Гидростатические опоры имеют гарантированный слой смазочного материала между сопрягаемыми поверхностями, толщиной которого можно управлять. Это позволяет компенсировать упругие и тепловые деформации исполнительных органов станка.

Несущие системы станка моделировались методом конечных элементов с целью уменьшения металлоемкости при обеспечении высокой жесткости. При этом проводилось сравнение результатов моделирования с данными натурных экспериментальных исследований секций станины тяжелого станка. Получено удовлетворительное согласование данных теории и эксперимента.

## ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТЯЖЕЛЫХ КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

Ковалев Д.Г.  
(ДГМА, г Краматорск, Украина)

На устойчивость технологической системы при обработке деталей на тяжелых карусельных станках существенное влияние оказывает целый ряд факторов: размер и конструктивные особенности, качество изготовления и регулировки станков, конструкция и состояние инструмента и т. д.

Особенностью эксплуатации режущего инструмента и назначения элементов режима резания на тяжелых карусельных станках является то, что на различных операциях существуют большие отличия в жесткости и, особенно, виброустойчивости технологической системы.

Математическая модель предельной по виброустойчивости глубины резания может быть выражена уравнением  $t_{\max} = C_t D_y^{Z_t}$ .

На основании экспериментально полученных данных численные значения  $C_t$  и показатели степени  $Z_t$  для конкретных значений основного параметра станка при  $200 \leq D_y \leq 6300$  мм –  $C_t = 0,55$ ,  $Z_t = 0,5$  при  $D_y \geq 6300$  мм –  $C_t = 5,6 \cdot 10^3$ ,  $Z_t = -0,55$ .

Сравнение фактически применяемых на тяжелых карусельных станках подач  $S_\phi$ , показывает, что их изменение имеет примерно такой же характер, как и изменение максимально допустимой по виброустойчивости глубины резания  $t_{\max}$ .

Уровень  $t_{\max}$  на тяжелых карусельных и токарных станках практически один и тот же. Уровень же фактически применяемых подач на тяжелых карусельных станках несколько ниже (в среднем на 7%), чем на соответствующих токарных станках.

Объяснить это можно, прежде всего, недостаточной прочностью применяемого инструмента. Снижение подачи особенно характерно при резании с возрастающим в ходе обработки вылетом ползуна и обработке двумя суппортами одновременно.

Существенное влияние на выбор элементов режимов резания оказывает вылет ползуна. Диапазон перемещения и среднее значение вылета ползуна изменяются в зависимости от основного размера станка. По экспериментальным данным установлена взаимосвязь максимально допустимой по виброустойчивости глубины резания  $t_{\max}$  и соотношения вылета ползуна с размером его сечения  $l_n/h_n$ . С ростом этого соотношения резко падает виброустойчивость системы. Математическая модель при этом будет иметь вид:

$$t_{\max} = C_t \left( \frac{l_n}{h_n} \right)^{Z_t}$$

Т. е. следует сделать вывод, что большее влияние вылет ползуна оказывает на подачу чем на скорость.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ С ЗАОСТРЕННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ КРОМКОЙ И ОБРАТНЫМ УГЛОМ НАКЛОНА ПОПЕРЕЧНОЙ КРОМКИ

Ковалева Л.И., Родин Р.П., Пливак А.А.  
(НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

Уменьшить негативное влияние отрицательных передних углов на поперечной кромке спирального сверла можно за счет применения всевозможных подточек поперечной кромки, прорезки поперечной кромки или разработки прогрессивных конструкций спиральных сверл.

С целью улучшения геометрии поперечной кромки предложена конструкция спирального сверла с заостренной режущей кромкой и обратным углом наклона поперечной кромки, выведены зависимости для расчета передних и задних углов в нормальном к поперечной кромке сечении. Однако влияние конструктивных и геометрических параметров сверла на геометрию поперечной кромки не исследовано, отсутствуют также рекомендации по применению таких сверл. Эти задачи решаются в данной статье.

Анализ зависимостей показал, что значения переднего  $\gamma_{II}$  и заднего углов  $\alpha_{II}$  зависят от независимых угла наклона поперечной режущей кромки  $\psi$ , угла в плане поперечной кромки  $\varphi_{II}$ , углов  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Учитывая, что величины углов  $\psi$ ,  $\varphi_{II}$ ,  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  независимы и могут задаваться в широких пределах, возникает задача определения передних  $\gamma_{II}$  и задних  $\alpha_{II}$  углов в нормальном к поперечной режущей кромке сечении.

Исследование влияния углов наклона поперечной кромки  $\psi$ , угла  $\varphi_{II}$  в плане и углов  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  на величины задних и передних углов в нормальном к поперечной кромке сечении проводилось при их изменении в таких диапазонах:  $\psi = 10...80^\circ$ ,  $\varphi_{II} = 10...80^\circ$ ,  $\varepsilon_1 = 0...90^\circ$ ,  $\varepsilon_2 = 0...90^\circ$ .

Графические зависимости  $\alpha_{II}(\varepsilon_1)$  и  $\gamma_{II}(\varepsilon_2)$  при различных значениях углов  $\psi$  и  $\varphi_{II}$  позволили определить параметры заостренной поперечной кромки с обратным углом наклона, при которых задний  $\alpha_{II}$  и передний  $\gamma_{II}$  углы в нормальном к поперечной кромке сечении будут равны выбранным значениям.

Так, для  $\alpha_{II} = 12^\circ$  и  $\gamma_{II} = 20^\circ$  рекомендуются следующие значения параметров кромки:  $\psi = 10^\circ$ ,  $\varphi_{II} = 35...85^\circ$ ,  $\varepsilon_1 = 79...83^\circ$ ,  $\varepsilon_2 = 12...20^\circ$  или  $\psi = 50^\circ$ ,  $\varphi_{II} = 85^\circ$ ,  $\varepsilon_1 = 86^\circ$ ,  $\varepsilon_2 = 30,4^\circ$ .

Таким образом, для выбранных величин переднего угла  $\gamma_{II}$  и заднего угла  $\alpha_{II}$  можно получить различные конструкции заостренной поперечной кромки с обратным углом наклона.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ЭП-912

Кольцов А.Г., Ляховицкий М.М., Соболев Н.Л., Покрасин М.А., Роцупкин В.В.  
(ИММ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва, Россия)

Работоспособность оборудования, используемого в энергетическом, нефтехимическом и других производствах, зависит от гарантированной надежности материалов под воздействием эксплуатационных нагрузок, влиянием окружающей и агрессивных сред. Перспективна оценка физико-механических параметров и структуры материалов акустическими методами по информативным параметрам акустической информации, прямо или косвенно связанным со свойствами материалов. Настоящие исследования проведены акустическим (скорость и коэффициент затухания ультразвука) и дилатометрическим методами, методами акустической эмиссии (АЭ) и фотометрического анализа структурных изображений, испытанием на растяжение.

Опытные данные об относительном температурном расширении образцов использовались при расчете значений скорости и коэффициента затухания ультразвука, а также для построения температурной зависимости плотности сталей, которые при комнатной температуре определялись методом гидростатического взвешивания. Величина модуля Юнга рассчитывалась как  $E = \rho c^2$ , где  $\rho$  – плотность,  $c$  – скорость звука.

Проблема рассеяния света поверхностью конденсированных сред еще не получила достаточного освещения в физической литературе – ее анализ по большей части направлен на выяснение закономерностей явления в оптически однородных средах, лишенных локальных рассеивающих центров и проводится в приближении слабого рассеяния. Мощный импульс для развития работ в этом направлении дает изучение флуктуаций физических переменных, описывающих кинетику фазовых переходов в кристаллических материалах с использованием лазерных источников. Исследования закономерностей отражения видимого света от поверхности твердого вещества могут служить источником информации об энергетическом состоянии электронов веществ и их изменениях от внешних энергетических воздействий, вызывающих структурные изменения посредством изменений в степени дефектности кристаллических решеток или в химическом или фазовом состоянии на его поверхности.

С использованием отмеченного выше исследовался сплав ЭП912-ВД, представляющий собой нержавеющую сталь и используемый в ядерных реакторах. На образцах из сталей 20 (эталон) и ЭП-912-ВД проводились регистрация сигналов АЭ, измерение скорости распространения и коэффициента затухания продольных ультразвуковых волн, испытания на растяжение и произведен фотометрический анализ, что позволило: провести калибровочные измерения; исследовать акустические, акустико-эмиссионные свойства и относительное температурное расширение сталей при температурах 20...1040°C; измерить микротвердость сталей при температурах 20...500°C; провести фотометрический анализ структурных изображений сталей.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ КУЗНЕЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ**

Корчак Е.С., Скрипник А.С.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Инструментальные манипуляторы (ИМ) относятся к вспомогательному оборудованию кузнечно-прессовых цехов машиностроительных предприятий и используются для подачи инструмента в рабочую зону прессы. Конструкция ИМ зависит от компоновки основного оборудования и планировки технологического участка. Как показывает опыт промышленной эксплуатации, несмотря на широкое разнообразие конструкций ИМ их основным недостатком является наличие ударных явлений и отсутствие плавности работы вследствие несовершенства гидравлических систем управления. Управление гидравлическими цилиндрами ИМ осуществляется от гидравлической системы управления основным оборудованием посредством двухклапанных распределителей, рабочая жидкость к которым подводится от насосно-аккумуляторной станции (НАС).

Однако при закрытии впускных клапанов цилиндров перемещения стола и подъема инструмента подвижные части не останавливаются, а продолжают свое движение по инерции до полной остановки, т.е. имеет место их выбег после закрытия регулирующего клапана. Во время этого выбега давление в подводящих трубопроводах цилиндров резко падает, в результате чего возникает гидроудар. Однако стоит заметить, что после монтажа нового или капитального ремонта существующего ИМ таких проблем не наблюдалось. Это было связано, прежде всего, с тем, что значительным было трение в новых уплотнениях цилиндров. После того, как уплотнения прирабатывались и изнашивались начинались колебательные явления в системе управления ИМ. В случае управления работой цилиндров двухклапанным распределителем с распределительными валами точность остановки подвижных частей достаточно низкая, а работа всех клапанов является взаимозависимой.

Новая система управления ИМ выполняется в виде двух двухклапанных распределителей, обеспечивающих заданные режимы работы цилиндров перемещения стола и подъема инструмента. Каждый напорный и сливной клапан распределителей установлены в отдельных корпусах и снабжены средствами управления и контроля. В качестве средств управления клапанами используются индивидуальные следящие сервоприводы, а в качестве средств контроля – бесконтактные датчики линейных перемещений, показывающие текущую высоту подъема соответствующих клапанов.

Средства управления и контроля клапанов программно соединены между собой, а также с соответствующими устройствами системы управления основным оборудованием. Новая система управления ИМ обеспечивает отсутствие взаимозависимости работы клапанов, повышение ремонтпригодности клапанных распределителей, качества управления ИМ, а также ускоренную подачу инструмента в рабочую зону прессы.

## **ОБҐРУНТУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЮ СТРІЛИ ДРАГЛАЙНА ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ**

Крупко В.Г., Граматний О.І.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Вагому частку загального обсягу земляних робіт, які постійно проводяться на Україні, складає розробка нових кар'єрів та обслуговування вже існуючих. Одними з найбільш поширених машин, що при цьому застосовуються є екскаватори-драглайни.

Одним з найвідповідальніших елементів цих машин є металоконструкція стріли. Сприймаючи під час роботи змінні навантаження вона постійно перебуває у стані складного напруження. Для оптимального проектування такої металоконструкції потрібно оперувати точно встановленими значеннями діючих навантажень, обґрунтування яких є метою даної роботи.

Методи визначення навантажень, а також умови виникнення їх максимальних значень наведені у роботах А.М. Холодова, І.П. Крутікова, Ю.А. Ветрова та ін. Результати досліджень даних авторів різняться і у багатьох випадках базуються на експертних оцінках.

Загальна розрахункова схема, використана для даного дослідження, була отримана на базі аналізу існуючих конструкцій стріл драглайнів і режимів роботи цих машин, а також враховуючи можливі параметри забою. Окремо проаналізовані навантаження на конструкцію стріли при таких стадіях циклу роботи екскаватора: копання ґрунту, поворот на розвантаження, розвантаження ковша та поворот у вибій.

Отримані теоретичні результати було перевірено проведенням розрахункового експерименту. У ході цієї частини дослідження, прикладаючи відповідні навантаження, були розраховані напруження у елементах металоконструкції стріли екскаватора ЕШ 11/75 (НКМЗ) методом кінцевих елементів.

Враховуючи результати проведених досліджень можна дійти висновку, що найбільші навантаження на несучі поясні елементи металоконструкції стріли драглайна виникають при відриві наповненого ковша на відстані, близько максимальної, а також при повороті екскаватора на розвантаження із ковшем, підтягнутим до голови стріли. Процес розвантаження ґрунту і повороту у вибій максимальними напруженнями елементів стріли не характеризуються.

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЕКСКАВАТОРІВ–ДРАГЛАЙНІВ

Крупко В.Г., Дерев'янко А.М.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Проблема якості продукції виникла ще в період становлення товарного виробництва і мала місце, в більшому або меншому ступені, на всіх подальших історичних етапах. В даний час ця проблема зведена в ранг технічної (і не тільки технічної) політики промислово розвинутих країн.

Розвиток матеріально-технічної бази і поліпшення умов життя громадян будь-якої країни, залежить від підвищення якості праці та якості продукції.

Виникає необхідність в об'єктивній оцінці якості, що можливе тільки за наявності вимірника рівня якості або показника якості даних машин. Під показником якості екскаваторів розуміється кількісна характеристика визначаючих якостей параметрів, що забезпечують здатність виконувати задані функції в детермінованих умовах експлуатації.

Існуючі методики оцінки рівня якості відрізняються індивідуальними особливостями, викликаними специфікою об'єктів оцінки якості і неоднорідністю вимог, що пред'являються до них в різних умовах. Це привело до створення великого різноманіття методик оцінки якості, які іноді різко відрізняються одна від одної. Крім того, дані методики використовують експертні методи призначення коефіцієнтів, що вносить більшу частку суб'єктивності в саму оцінку.

Мета досліджень – розробка методики оцінки технічного рівня драглайнів і прогнозування основних напрямів їх вдосконалення за рахунок обґрунтування раціональних параметрів виконавчих механізмів.

Оцінка рівня якості проведена за одиничними показниками диференціальним методом, за узагальненим показником – комплексним методом. Ці методи рекомендують робити оцінку якості за питомими величинами, під якими розуміється відношення значень розглянутих параметрів до значень базового критерію порівнянних машин або процесів.

Приведена методика оцінки технічного рівня драглайнів по одиничних і узагальненому показникам якості дозволяє встановити єдині методи оцінки рівня якості, що у свою чергу дозволяє об'єктивно порівнювати екскаватори драглайни, обґрунтовано призначати показники при проектуванні і в результаті сприяє досягненню певного позитивного ефекту.

# ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД ПРИ ПОШУКУ ПРИНЦИПІВ ЗАТИСКУ ІНСТРУМЕНТІВ З ЦИЛІНДРИЧНИМ ХВОСТОВИКОМ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ

Кузнєцов Ю.М., Волошин В.Н.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Завдяки ряду переваг у порівнянні з традиційною обробкою високошвидкісна обробка все ширше впроваджується на підприємствах різних галузей машинобудування. Важливою системою верстатів для високошвидкісної обробки є система «шпиндельний вузол – затискний патрон – різальний інструмент», яка повинна забезпечити високу швидкість різання, що у порівнянні із звичайною обробкою зростає в декілька разів. Затискний патрон (ЗП) служить ланкою, яка зв'язує шпиндель та різальний інструмент, і від нього в значній мірі залежить збалансованість цієї системи. На сьогоднішній день існує ряд ЗП з механічним, гідравлічним, термомеханічним та гідромеханічним затиском, які в певній мірі задовольняють вимоги високошвидкісної обробки. Існує також необхідність створення нових конструкцій ЗП для забезпечення певних умов високошвидкісної обробки, що вимагає вирішення задачі, пов'язаної з пошуком нових принципів затиску. Тому забезпечення системного підходу при пошуку принципів затиску інструментів з циліндричним хвостовиком для високошвидкісної обробки є актуальною задачею.

Задача пошуку принципів затиску відноситься до задачі вибору і пошуку ефективного принципу дії, що не має точних математичних рішень і вимагає застосування евристичних методів. Запропоновано процес затиску розглядати з точки зору такого розподілу енергії після затиску, при якому виключається або зводиться до мінімуму надходження енергії ззовні, а надійне утримання інструменту під дією сил різання відбувається за рахунок внутрішньої енергії. У більшості випадків для забезпечення взаємодії ЗП з хвостовиком інструменту необхідно затратити енергію для переміщення або деформаційного зміщення затискної поверхні (поверхонь) патрона та утримання інструмента в процесі обробки. Ця енергія може бути отримана безпосередньо внаслідок дії відповідного енергетичного поля, або шляхом перетворення різних видів енергії (гідравлічної, теплової, магнітної, електричної, створеної відцентровими силами та ін.). На основі відомих видів енергії та фізичних ефектів при її дії на відповідні об'єкти і виходячи із вимог, які ставляться до ЗП для високошвидкісної обробки, розроблено принципи створення зусилля затиску інструментів з циліндричним хвостовиком. При пошуку принципів затиску враховане те, що охоплення цільного хвостовика інструменту поверхнею (поверхнями) затиску можливе тільки зовні. Напрям прикладання зусилля затиску по відношенню до осі хвостовика інструменту вибраний перпендикулярним. З метою зменшення впливу відцентрових сил, що виникають в процесі обробки, на зусилля затиску силовий контур виконано закритим.

# **АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛУ TWINTEX СТУПІНЧАТИМ СВЕРДЛОМ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ**

Кухановський О.В., Глоба О.В.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Композиційні матеріали сьогодні замінюють метали в багатьох галузях виробництва. Одним із таких є скловолоконний матеріал з поліпропіленовим звязуючим Twintex, котрий знаходить все більше застосування не тільки в авіакосмічній але й в автомобільній та інших галузях. Свердління є найбільш розповсюдженою операцією обробки композиційних матеріалів. Отримання отворів є складною операцією внаслідок високої міцності армуючих елементів при невеликій міцності і жорсткості матриці, яскраво вираженою анізотропією властивостей, високою абразивною здатністю, низькою теплопровідністю. Отримати якісно оброблену поверхню стандартним спіральним свердлом практично неможливо, так, як свердло за рахунок різальних кромки та перемички, виконує розклинюючу дію на оброблюваний матеріал. Найбільш серйозними дефектами, які впливають на поведінку композиту, його несучу спроможність, та термін служби є розслоєння шарів матеріалу на виході із свердла, та тріщини через які з'єднання матеріалів вже не є таким надійним.

У зв'язку із необхідністю покращення процесу обробки композитних матеріалів може використовуватись свердління ступінчатими свердлами, котре дає змогу зменшити сили різання в зоні обробки, завдяки розподіленню їх на декілька різальних кромки в залежності від кількості ступенів свердла. До того як перемичка вийде із матеріалу, вона і первинні різальні кромки свердла рівномірно навантажують матеріал. Після того як перемичка кромки свердла покинула матеріал, сила різання перетворюється на кругову розподілену силу. Також перевага такої конструкції інструменту в тому, що наступна ступінь інструменту з різальними кромками знімає менший припуск матеріалу, а отже сили різання там значно менші. Крім того вторинна різальна кромка вибирає дефекти утворені проходом первинної різальної кромки, яка утворила основний отвір, знімаючи великі припуски матеріалу.

Для розрахунку основних геометричних параметрів інструменту застосовується методика розрахунку, запропонована П.Р. Родіном, котра також дає змогу проаналізувати вплив конструктивних параметрів свердла на його геометрію, з метою їх оптимізації. На основі даних, отриманих в ході розрахунків був спроектований інструмент з оптимальними величинами ступенів свердла та його геометричних параметрів.

Ряд проведених дослідів вже довів правильність використання даних формул та достовірність розрахунків, але експерименти продовжуються. Також ряд експериментів, для визначення розшарування композиційного матеріалу, виконуються на пристрої, розробленим на кафедрі ІТМ ММІ НТУУ «КПІ».

## ПІДГОТОВКА ПОВЕРХНІ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІД ВІДНОВЛЮВАЛЬНЕ НАПЛАВЛЕННЯ

Кущій Г.М.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Відомі методи різання металів (плазмове різання, гідроабразивне, алмазне та лазерне), що характеризуються високою швидкістю виконання, можливістю автоматизації та високою точністю процесу, але при цьому вони мають суттєві недоліки – висока вартість, пожежо- та вибухонебезпечність, обмежений ресурс комплектуючих та здатність лише раз використовувати робочу речовину, негативний вплив на навколишнє середовище. Одним із видів термічної обробки поверхонь є повітряно-дугове різання, що може застосовуватися для виправлення дефектів поверхонь. Основні ускладнення при реалізації процесу повітряно-дугового стругання плавким електродом полягають в забезпеченні стійкості горіння дуги в умовах інтенсивного обдування повітрям. При напрузі холостого ходу джерела живлення рівному 160 В і крутизні характеристики 0,16...0,2 В/А стійке горіння дуги можливе при струмі не менше 450...460 А.

Дослідження були направлені на удосконалення технологічного процесу повітряно-дугового різання з метою зниження впливу втрат тиску повітря на стійкість і стабільність процесу та підвищення стабільності та якості процесу різання. Ручне повітряно-дугове різання плавким електродом виконувалось спеціальною приставкою до зварювального напівавтомата. Приставка складається із струмопідвідного мундштука, повітропідвідного захисного кожуха і сопла. Повітря, що поступає під тиском з повітроосушувача, інтенсивно обтискає дугу і посилює її ріжучі властивості. В якості подаючого механізму використовувався зварювальний напівавтомат типу А-765. Швидкість подання електродного дроту повинна знаходитися в межах 346 м/год. Дуже важливе значення має місце подання повітря по відношенню до дуги (відстань  $S$ ). Дослідним шляхом було встановлено, що найкраща стабільність процесу і чистота обробки спостерігається при величині  $S = 8...16$  мм.

Встановлено, що найбільш ефективно видалення розплавленого металу досягається при супутньому з напрямом стругання подаванні стисненого повітря. Впливи зміни витрати повітря на стійкість дуги і стабільність процесу стругання додатково досліджувалося шляхом осцилографування струму і напруги, аналіз осцилограм струму показує, що при великих витратах повітря горіння дуги супроводжується мікропульсаціями з частотою близько 100 Гц і амплітудою складової 30...50% середньої величини струму. При менших витратах повітря амплітуда мікропульсацій не перевищує 20...25% середньої величини струму. Зі збільшенням витрати повітря відбувається рівномірне збільшення глибини і зменшення ширини канавки. В той же час, покращується чистота дна канавки і ефективність видалення розплавленого металу. Подальше збільшення витрати повітря призводить до нестабільності процесу і коливань ширини канавки. Таким чином, величину витрати повітря необхідно вибирати мінімально можливого за умови відповідності якості стругання необхідним вимогам.

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НАКАТЫВАНИЯ НАРУЖНЫХ РЕЗЬБ НА ДВУХРОЛИКОВЫХ СТАНКАХ**

Липка В.М.

(СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

Накатывание наружных резьб является наиболее прогрессивным способом получения резьбовых деталей в условиях крупносерийного и массового производства.

Целью работы является повышение точности математической модели процесса накатывания наружных резьб роликами на основе анализа ряда факторов, которые ранее не учитывались, что позволит улучшить качество изготовления резьбовых деталей.

Исследован процесс накатывания резьбы на двухроликовых станках, на основе экспериментов проведенных на Мелитопольском моторном заводе (МеМЗ, г. Мелитополь).

В результате исследований установлено, что коэффициент  $C$  в уравнении, зависит от совокупности условий, в которых осуществляется накатывание и может быть определен экспериментально, по предлагаемой в статье методике. Применение указанной методики позволяет существенно повысить точность расчета радиальной силы, которая является важнейшим параметром в процессе накатывания резьбы.

Проведенные на МеМЗ эксперименты для партии болтов М12 из стали 40Х подтвердили правильность предполагаемой методики расчета коэффициента  $C$ , позволяющей точно проектировать технологические процессы резьбонакатывания и инструменты для их осуществления.

Экспериментально установлено, что прочность накатанного винтового профиля при усталостном знакопеременном растяжении в среднем в 3,5 раза выше, чем у профиля, полученного резанием. Еще большее повышение усталостной прочности наблюдается у деталей, изготовленных из легированных сталей с высоким пределом прочности при растяжении, профиль на которых накатан после термической обработки свыше 39 HRC. Особое значение это приобретает, например, при изготовлении крепежа для ответственных резьбовых соединений в автомобильной промышленности. Кроме того, для накатанных резьбовых деталей вместо высоколегированных сталей в ряде случаев можно применять более дешевые углеродистые и малоуглеродистые стали. Это тоже подтверждает целесообразность широкого применения способа накатывания вместо обработки резанием.

## **ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРАНОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

Лубенец С.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Сварные соединения на крановых мостах в процессе эксплуатации имеют значительно меньшее и весьма нестабильное сопротивление усталости, чем определенные в лабораторных условиях при натуральных испытаниях образцов для тех же режимов нагружения.

Длительное действие на металл переменных напряжений может вызвать образование трещин и последующие разрушения. Это явление носит название усталости металла. В основном дефекты и разрушения в металлических конструкциях вызываются усталостью металла. Особенностью разрушений металла от усталости является пониженный уровень напряжений по сравнению с напряжениями, необходимыми при однократном нагружении. Поэтому усталостные дефекты (трещины на элементах) возникают в основном в местах сравнительно мало напряженных.

Усталостные трещины обычно обнаруживаются на всех участках сварных мостов, особенно там, где имеются приваренные к балкам различные конструктивные элементы или выполнены технологические вырезы в элементах для пропуска сварных швов.

Предел выносливости зависит от многих факторов, определяемых экспериментально в зависимости от физических свойств металла, характера нагрузки, условий эксплуатации, абсолютных размеров, геометрической формы элементов (концентрации напряжений), технологических факторов (остаточных напряжений, возникающих при изготовлении конструкции). Возникающие в процессе эксплуатации металлоконструкции усталостные повреждения являются следствием совместного влияния перечисленных факторов.

На сопротивление усталости в сварных соединениях значительное влияние оказывают остаточные напряжения в зоне шва. Сварные соединения имеют различные концентраторы напряжений. Суммируясь с напряжениями, вызванными концентрацией напряжений, остаточные напряжения могут изменять предел выносливости, как в сторону его увеличения, так и в сторону уменьшения.

Улучшение эксплуатационных характеристик сварных соединений может быть достигнуто рациональным выбором форм соединений и снижением неблагоприятного сочетания остаточных напряжений. Наиболее целесообразно повышать долговечность сварных крановых мостов путем улучшения ходовых качеств, т.е. стабилизации уровня нагрузки как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях, что будет способствовать повышению циклической долговечности конструкции моста.

## РОБОТА НАПРЯМНИХ БАГАТОЛЕЗОВОГО ВЕРСТАТНОГО ОСНАЦЕННЯ З АДАПТИВНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Луців І.В., Лещук Р.Я.  
(ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Процес функціонування напрямних верстатного оснащення при багатолезовому різанні з адаптацією має певні особливості. Істотною є його динаміка з врахуванням різниці в коефіцієнтах тертя спокою і руху, яка значно впливає на плавність взаємних рухів елементів оснащення. Авторами обґрунтована розрахункова схема системи, яка представляє собою багатомасову модель. Повзуни з інструментами пов'язані між собою пружними зв'язками (з коефіцієнтами жорсткості) через кінематичний міжінструментальний зв'язок адаптивного типу, який можна характеризувати відповідною передаточною функцією. Математична модель, яка описує дану систему враховує двозначність сил тертя в напрямних, що можна представити таким твердженням: якщо повзун знаходиться в стані спокою, то значення коефіцієнта тертя дорівнює певній величині, а при русі повзуна це значення стрибкоподібно падає. Скачок сили тертя в напрямних при переході від спокою до руху визначає істотну нерівномірність руху системи.

Аналітичний розв'язок відповідних систем рівнянь отримали, використовуючи метод припасовування рішень на різних етапах руху. При низьких частотах обертання заготовки спостерігаються взаємопов'язані перервні рухи повзунів із зупинками і періодичними стрибками. Проте стрибкоподібного руху можна уникнути при вищих обертах заготовки. В результаті визначені критичні умови уникнення стрибкоподібного руху повзунів із різальними елементами при багатолезовій обробці адаптивного типу та величини і тривалості можливих стрибків різальних елементів, які суттєво можуть знижувати чутливість при вирівнювання зусиль різання.

Встановлено, що для забезпечення плавності роботи напрямних багатолезового верстатного оснащення найбільш доцільно правильно підбирати матеріали поверхонь, що контактують в процесі тертя, а також забезпечувати їх раціональне змащування. При цьому різницю в коефіцієнтах тертя спокою і руху можна знизити до 0,01 і нижче. Цій же меті служить використання антистрибкових змащень, коли в мінеральні масла додають спеціальні добавки. Позитивним фактором також є постійне осцилювання повзунів вздовж напрямних, бо внаслідок мізерного часу нерухомого контакту значення коефіцієнтів тертя спокою прямує до значення коефіцієнту тертя руху.

Очевидно, що дієвим способом уникнення стрибків і підвищення чутливості переміщень повзунів є використання напрямних кочення. З точки зору забезпечення симетрії функціонування і підвищення вібростійкості раціональними є прямокутні напрямні. Певним недоліком напрямних кочення є низьке демпфування. Тому у випадках, коли суттєвим є підвищення вібростійкості, доцільно використовувати комбіновані напрямні кочення-ковзання, а, наприклад, при тонкому розточуванні, яке супроводжується малими значеннями зусиль різання – пружинні напрямні.

## ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ШУМА

Любимый Ю.Н.  
(НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина)

В настоящее время жидкие смазочно-охлаждающие технологические средства находят все большее применение в металлообработке. В частности при абразивной обработке требуется подвод в зону резания жидких сред в активированном состоянии. Это позволяет значительно снизить силы резания, уменьшить количество тепла в зоне контакта абразивного инструмента и поверхности заготовки, способствует интенсивной очистке пор шлифовального круга от засаливания, увеличению интервала времени между его правками. Одним из способов активации жидких СОТС может быть их гидродинамическая кавитационная обработка, что исследовалось в работе.

Экспериментальные исследования проводились на специальном проточном стенде СП-02, на котором испытывались различные конструкции кавитационных насадок. При этом измерялись параметры расхода жидкости, ее давления и кавитационного шума. При визуальном наблюдении записывались видимые явления кавитации. Для анализа шума нами использовался программный пакет SpectraLAB v. 4.32.17, который позволяет выполнять спектральный анализ в слышимом диапазоне частот как из заранее записанных звуковых файлов, так и непосредственно со звуковой карты.

В результате обработки экспериментальных данных были составлены трехмерные графики, по которым сравнивались гидродинамические и акустические показатели, а именно: перепад давления в системе, частота кавитационного шума и его амплитуда (мощность). Также получены и проанализированы двумерные графические и функциональные зависимости расхода жидкой среды от этих параметров. Для определения мощности кавитационного шума предложено выражение вида

$$P = P_0 \cdot 10^{\frac{1}{(f_2 - f_1)} \int_{f_1}^{f_2} y(f) df}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность кавитационного шума, Вт;  $P_0$  – опорный уровень мощности, Вт;  $y(f)$  – функция, описывающая характер изменения уровня шума от его частоты, дБ;  $f_1$  – нижний предел интегрирования, Гц;  $f_2$  – верхний предел интегрирования, Гц.

Предложенная методика позволяет выполнить анализ кавитационных процессов по уровню (мощности) шума. Это может быть использовано при определении интенсивности процессов кавитации и при исследовании параметров для анализа наиболее эффективных конструкций насадок. Кавитационный шум может быть использован как косвенный параметр, при помощи которого возможно управление кавитационными процессами.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ МЕХАНИЗМОВ МОСТОВЫХ КРАНОВ ГОРНОШАХТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Лях П.Ф., Ладыга Д.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Опыт эксплуатации подъемно-транспортного оборудования показывает, что срок службы крановых мостов и ходовых колес зависит не только от вертикальных нагрузок (веса поднимаемого груза, собственного веса крана), но и в значительной мере от ряда дополнительных горизонтальных нагрузок, возникающих при перемещении крана вдоль пролета.

Основной причиной появления дополнительных горизонтальных нагрузок могут быть:

- разность частоты вращения приводных колес при отдельном приводе;
- разность диаметров приводных колес при центральном приводе;
- относительная разность установки по высоте подкранового пути;
- относительная разность колеи крана и ширины установки подкранового пути;
- превышение допусков относительного смещения в стыках подкранового пути;
- перекосы установки ходовых колес при проведении монтажных и ремонтных работ;
- нарушение правил эксплуатации грузоподъемных правил (например, работа с одним двигателем при отдельном приводе).

Проведенный анализ показал, что работоспособность ходового оборудования кранов зависит как от интенсивности нагружения механизма, так и от особенностей технологического процесса и технического состояния крана и подкранового пути.

Установлено, что в процессе работы крана ходовые колеса не только перекатываются по рельсу, но и скользят по нему в поперечном направлении, что приводит к дополнительным горизонтальным нагрузкам.

Предложенные методы и средства контроля взаимного положения ходовых колес и подкранового пути дают возможность с достаточной для практики точностью оценить их техническое состояние и наметить пути проведения ремонтно-профилактических мероприятий, направленных на повышение ресурса кранового оборудования.

## МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА БЫСТРОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА РАЗЛИЧНЫМИ ПОРОШКОВЫМИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Майборода В.С., Анисимова А.В.  
(НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

Качество режущего инструмента, изготовленного из быстрорежущих сталей, во многом определяется физико-механическими характеристиками поверхностного слоя, шероховатостью и микрогеометрией рабочих поверхностей. Одной из перспективных технологий финишной доводки режущего инструмента, позволяющей комплексно решать проблемы полирующе-упрочняющей обработки, является технология магнитно-абразивной обработки (МАО) в условиях больших рабочих зазоров при их кольцевом расположении – в «кольцевой ванне». Применение МАО позволяет обеспечить устойчивое повышение эксплуатационной стойкости инструмента не менее, чем в 1,8...2 раза. Выполненные исследования ограничены гаммой применяемых порошковых магнитно-абразивных материалов (МAM). Целью данной работы было исследование влияние МАО режущего инструмента в рабочих зонах большой ширины на установке типа кольцевая ванна магнитно-абразивным инструментом (МАИ), сформированным из порошковых МAM различных составов, типов и размеров на качество обработки. Экспериментальные исследования выполнены на сверлах  $\varnothing 6,8$  мм, изготовленных из быстрорежущей стали. До МАО шероховатость рабочих поверхностей сверл  $Ra = (0,4...0,47)$  мкм, радиус округления режущих кромок  $R = (9...10)$  мкм, поверхностная твердость  $HV_{200} = (9,1...9,3)$  ГПа. После МАО уменьшение параметра  $Ra$  поверхностей инструмента составило  $0,1...0,35$  мкм. Наилучшие результаты получены после обработки МАИ на основе порошка Полимам-Т. При обработке смесями порошков и монофракционными порошками Полимам-Т и Царамам увеличение радиуса кромки составляет  $4...9$  мкм. Наилучшая полирующая и абразивная способность характерна для МАИ, сформированного на базе порошка Полимам-Т, в то время как наибольший наклеп поверхностного слоя сверл проявляется при обработке порошками с округлой формой частиц – увеличение поверхностной твердости составляет  $10...14\%$ . Существенное влияние при МАО оказывают условия фактического контакта частиц порошковых МAM с обрабатываемыми поверхностями, форма реальных пятен контакта и частота контактов частиц МАИ с поверхностью. Частицы МAM с округлой формой, обеспечивают преимущественное пластическое деформирование поверхностного слоя в режиме фрикционного взаимодействия, а острые микровыступы на поверхности частиц МAM выполняют преимущественное микрорезание и микроскобление обрабатываемой поверхности. Для МАО сверл целесообразно рекомендовать смеси порошковых МAM на основе Полимам-Т. Формируется шероховатость с  $Ra < 0,12$  мкм, повышается на  $13\%$  поверхностная твердость, происходит округление режущих кромок до  $15...20$  мкм.

## ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА СТАТИЧНІ ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ВІДРІЗНИХ ФРЕЗ З РІЗНОНАПРАВЛЕНИМИ КРОМКАМИ

Майданюк С.В.

(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Працездатність різальних інструментів значною мірою залежить від геометричних параметрів різальної частини та їх зміни в процесі різання вздовж різальної кромки. На кресленнях геометричні параметри задаються в інструментальній системі координат, а саме величинами переднього кута  $\gamma_i$ , заднього кута  $\alpha_i$ , кутом в плані  $\varphi_i$  та кутом нахилу різальної кромки  $\lambda_i$ . Визначення зміни інструментальних геометричних параметрів для відрізних фрез з різнонаправленими різальними кромками були визначені раніше.

Не зважаючи на теоретичне визначення статичних геометричних параметрів, дослідження впливу конструктивних та геометричних параметрів відрізних фрез з різнонаправленими різальними кромками не проводилося. В статті вирішена задача встановлення впливу конструктивних параметрів на геометрію відрізних фрез в статичній системі координат.

Аналізуючи розрахунки, виконані за виведеними раніше теоретичними залежностями формулами, виявлено, що діаметр фрези  $D$  та ширина фрези  $B$  майже не впливає на статичні геометричні параметри інструмента вздовж різальної кромки.

Розрахунки також показують, що головним чином на величину статичного переднього кута  $\gamma_C$  впливає інструментальний передній кут  $\gamma_i$  та інструментальний кут в плані  $\varphi_i$ , а на величину статичного заднього кута  $\alpha_C$  впливає інструментальний задній кут  $\alpha_i$  та інструментальний кут в плані  $\varphi_i$ .

На основі проведених в роботі досліджень встановлено, що в більшій мірі на статичний передній кут  $\gamma_C$  та статичний задній кут  $\alpha_C$  впливає інструментальний кут в плані  $\varphi_i$ . Причому його збільшення при заданому інструментальному передньому куті  $\gamma_i$  приводить до зменшення статичного переднього кута  $\gamma_C$ , а при заданому інструментальному задньому куті – до збільшення статичного заднього кута  $\alpha_C$ .

Інтенсивність збільшення статичного переднього кута  $\gamma_C$  не залежить від інструментального переднього кута  $\gamma_i$  і можна за рахунок вибору інструментального кута в плані  $\varphi_i$  конструювати фрези з заданими значеннями інструментального переднього кута.

Показано, що інтенсивність впливу інструментального кута в плані  $\varphi_i$  на статичний задній кут  $\alpha_C$  залежить від інструментального заднього кута  $\alpha_i$ . Значний вплив інструментального кута в плані  $\varphi_i$  на статичний задній кут  $\alpha_C$  спостерігається при значенні інструментального заднього кута  $\alpha_i > 10^\circ$ .

## **ПОВЫШЕНИЕ СЛУЖЕБНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРЕЗ, НАПЛАВЛЕННЫХ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛЬЮ, МЕТОДОМ ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКИ**

Макаренко Н.А.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

С целью повышения долговечности инструментов металлорежущих станков (например, фрез) рекомендуется наносить износостойкий слой методом наплавки. Однако, наплавленные фрезы в процессе эксплуатации показывают низкие служебные характеристики, что объясняется образованием микропор и неметаллических включений в наплавленном металле. Известно, что микропоры при наплавке образуются за счет наличия водорода, а неметаллические включения носят оксидно-нитридный характер. Поэтому при выборе способа наплавки необходимо учитывать особенности его прохождения. Плазма-МИГ наплавка с применением порошковой проволоки обеспечивает малую глубину проплавления основного металла, ликвидацию дефектов в наплавленном металле, повышение износостойкости наплавленного металла (в случае применения соответствующего состава порошковой проволоки). Были исследованы разработанные составы порошковой проволоки, предназначенные для плазма-МИГ наплавки фрез токарных станков. В состав их шихты, в частности, были включены криолит и фтористый бор. Установлено, что криолит является источником ионов натрия в дуге, чем повышает подвижность дуги, способствует снижению глубины проплавления основного металла. Криолит способствует связыванию водорода, так как содержит в своем составе фтор. Криолит также является шлакообразующим компонентом, который повышает активность шлака, способствует переводу тугоплавких оксидов в оксифториды. Криолит реагирует при нагреве с борным ангидридом. Продуктом реакции является оксид алюминия, растворяющийся во фтористом натрии криолита и поэтому не вызывающий неметаллических включений в наплавленном металле.

Фтористый бор представляет собой газ, который в инертной атмосфере является сильным активатором процесса смачивания твердого металла жидким, что способствует ликвидации наплывов и несплавлений с основным металлом. Борный ангидрид также способствует смачиванию основного металла жидким. Реакция борного ангидрида с криолитом сопровождается выделением тепла, что также способствует нагреву сердечника порошковой проволоки и повышает коэффициент наплавки. Фтористый бор активно удаляет оксиды с поверхности частиц, что способствует уменьшению возникновения шлаковых включений в наплавленном металле. Криолит является источником ионов натрия в дуге, чем повышает подвижность дуги, способствует снижению глубины проплавления основного металла. Криолит способствует связыванию водорода, так как содержит в своем составе фтор. Криолит также является шлакообразующим компонентом, который повышает активность шлака, способствует переводу тугоплавких оксидов в оксифториды. Криолит реагирует при нагреве с борным ангидридом. Продуктом реакции является оксид алюминия, растворяющийся во фтористом натрии криолита и поэтому не вызывающий неметаллических включений в наплавленном металле.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПИНОЛЕЙ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКОЙ

Макаренко Н.А., Богуцкий А.А., Трембач Б.А., Трембач И.А., Грановская Н.А.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В промышленности изготавливаются пиноли токарных станков из стали 45 или стали 40Х с последующей поверхностной закалкой или (часто применяющимся в последнее время) хромированием поверхности, что является достаточно трудоемким процессом. При восстановлении пинолей имеет место применение различных способов наплавки. Известно, что для наплавленного металла характерен значительный разброс показателей механических свойств, вызываемый структурной неоднородностью, наличием включений и дефектов. Важнейшая характеристика наплавленного металла – его износостойкость. Существуют различные способы повышения износостойкости наплавленного металла. В частности, это введение в наплавочный материал компонентов, обеспечивающих заданные свойства, последующая термическая обработка и т.д. Кроме того, улучшить характеристики наплавленного слоя возможно выбором оптимального способа наплавки. Высокие характеристики имеет плазма-МИГ наплавка с аксиальной подачей порошковой проволоки. Данный способ имеет ряд преимуществ: необходима подача только одной присадочной проволоки; при аксиальной подаче проволоки в плазменную дугу упрощается конструкция наплавочной головки, уменьшаются ее габариты; уменьшается количество токоведущих кабелей, подходящих к наплавочной головке. В результате процесс становится пригодным для наплавки крупногабаритных деталей и изделий со сложной конфигурацией, где требуется перемещение наплавочной головки на большие расстояния. Применение в качестве плавящегося электрода порошковой проволоки существенно расширяет возможности плазма-МИГ наплавки.

Для износостойкой наплавки эффективно использовать плазма-МИГ процесс, который имеет ряд известных достоинств, в частности: малую глубину проплавления основного металла, что обеспечивает экономию наплавочного материала при высоком качестве покрытия. Следует отметить, что данный способ не требует различных способов дальнейшей обработки наплавленного металла с целью повышения стабильности его свойств, поэтому целесообразно использовать данный метод не только для восстановления изношенных деталей, но и для их изготовления, например, при изготовлении пинолей токарных станков. Была разработана порошковая проволока трубчатого сечения диаметром 2,8 мм для восстановления пинолей токарных станков, предназначенная непосредственно для плазма-МИГ процесса (учитывающая его особенности), обеспечивающая уменьшение глубины проплавления основного металла, ликвидацию дефектов в наплавленном металле, повышение износостойкости наплавленного металла. Шихта содержит карбид кремния, борфторид никеля и поташ. Медь содержится в виде кремнистой меди, а ванадий – в виде азотированного ванадия.

Процесс наплавки протекал спокойно с минимальным разбрызгиванием, наблюдалось хорошее формирование наплавленного валика.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЛАВНЫХ БАЛОК СВАРНЫХ КРАНОВЫХ МОСТОВ**

Малыгина С.В., Никитин Н.А., Кукенберг Н.С.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Повышение эксплуатационной надежности и экономической эффективности металлоконструкций со сварными коробчатыми мостами во многом зависит от снижения поперечных и выравнивания вертикальных нагрузок в контактах колесо-рельс, создание рациональных сварных узлов, новых форм конструкций и компоновки крановых мостов, а также повышения усталостной прочности за счет рационального использования специальных защитных покрытий для предупреждения основного металла от поражения брызгонесущей средой при выполнении сварки открытой дугой.

Это обеспечивает заданный ресурс по критерию усталости сварных соединений. Эксперименты показали, что в местах взаимного сопряжения элементов, прикрепляемых конструкций, из-за неравномерного распределения напряжений по сечениям, местной передаче усилий, концентрации напряжений и наличия сварочных напряжений, конструкция испытывает действия больших напряжений, чем в отдалении от узла сопряжения, причем эта закономерность имеет более выраженный характер при изготовлении металлоконструкций без использования защитных покрытий. Причиной низкой усталостной прочности участков металла, поврежденных электродными каплями, являются местные внутренние напряжения, которые возникают в ограниченных объемах металла на тех участках поверхности сварного изделия, где упала капля, и резкое повышение твердости металла на этих участках в точке соприкосновения расплавленной капли с поверхностью металла изделия.

Рациональный выбор защитного слоя наряду с правильным конструктивным оформлением узлов, эффективной технологии сборки и сварки позволяет равномерно передать или уменьшить влияние на прочность концентраторов, остаточных напряжений, термический цикл сварочной дуги, сохранить достаточный запас пластичности стали в местах технологических переделов (сварки, резки, гибки, правки).

Установлено, что плоская рама сварных крановых мостов имеет замкнутое поперечное сечение, требующая выполнение сварочных мероприятий по защитному слою с предварительным подогревом, температура которого лимитируется эквивалентом углерода. Кроме того, высокая жесткость деформации увеличивает размах вертикальных реакций, а, следовательно, усилий и напряжений в ее элементах.

Разработанное защитное покрытие на основе жидкого стекла, не только надежно предохраняет основной металл от брызгонесущей среды, но и предохраняет металлоконструкцию от коррозии в период межоперационного вылеживания. При попадании в сварной шов защитное покрытие не ухудшает механических свойств сварных соединений.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Марков О.Е.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В современных экономических условиях при проектировании технологических процессов обработки металлов давлением необходимо разрабатывать новые ресурсосберегающие технологические процессы, которые обеспечивают высокое качество продукции при низких затратах на их производство. Особенно это касается тяжелого машиностроения, так как это направление является приоритетным для Украины. Высокие затраты на ковку вызваны желанием повысить качество поковок за счет увеличения коэффициента укова, как показателя качества. Это приводит к назначению малоэффективной операции – осадки, которая увеличивает энерго- и трудоемкость технологического процесса, однако влияние ее на устранение дефектов металлургического происхождения неоднозначно. С одной стороны повышение степени деформации металла способствует проработке литой структуры металла, с другой – осадка характеризуется неблагоприятным напряженно-деформированным состоянием в осевой дефектной зоне слитка от действия там растягивающих напряжений, что приводит к разрывам осевой рыхлости, которые не устраняются последующей кузнечной протяжкой. Разрушенные прокатные валки имеют в бочке литую дендритную структуру, несмотря на обязательную осадку билета на 50% и уков в диапазоне 3,0...4,0. Поэтому можно сделать вывод, что осадка не способствует проработке литой структуры. Более эффективной с этой точки зрения является кузнечная протяжка, которая более интенсивно измельчает дендритное строение литой заготовки.

Исключить осадку для снижения затрат на ковку и повышения качества поковок, при этом обеспечить возможность получения требуемых сечений поковки возможно за счет применения укороченных слитков специальной конструкции с  $H/D = 0,8...1,2$ . Для проверки вышеизложенного проводилось исследование технологического процессаковки прокатного валка по базовой технологии с осадкой и новой без осадки из укороченного слитка при помощи конечноэлементного продукта Deform-3D (временная лицензия ДГМА). Предлагаемый технологический процесс исключает применение таких операций, как: оттяжка цапфы и билетировка, осадка слитка и связанный с этими операциями подогрев. Все это снижает трудоемкость и энергоемкость процесса в среднем на 25-35%, повышается производительность процессовковки. Полученные результаты показывают, что реализация нового технологического процессаковки укороченного слитка без осадки возможна за один нагрев.

Это позволяет сделать вывод, что обеспечить накопление высокого уровня степени деформации в теле поковки возможно без применения осадки, если применять укороченные заготовки.

## ВЫБОР СОЕДИНЕНИЙ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Мартынов А.П., Московцев Н.Н.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Проблема выбора оптимальных соединений с переходными посадками заключается в диалектическом противоречии между необходимостью обеспечения высокой точности центрирования деталей и прочности соединения, с одной стороны, и удобства его сборки-разборки, то есть, технологичности изделия, с другой стороны.

До настоящего времени при выборе соединений расчетным методом учитывались лишь вероятностные характеристики посадок, и вне области рассмотрения оставались такие вопросы как количественные параметры точности центрирования собираемых деталей, возможность учета при выборе конкретной посадки технологических возможностей наличного металлорежущего и сборочного оборудования.

С целью устранения этого недостатка установлены зависимости, связывающие величины эксцентриситетов соединяемых деталей, натягов, зазоров и усилий запрессовки, что позволило не только получить необходимую величину последнего и установить возможность реализации операции сборки на имеющемся оборудовании, но и предполагаемую несоосность деталей, что может свидетельствовать о возможностях удовлетворения допуска по ТУ.

На основании построенных кривых установлена степень влияния соответствующих параметров, что используется при проектировании.

Изложенная концепция выбора переходных посадок реализована в виде автоматизированной системы, разработанной с использованием современного процесса объектно-ориентированного анализа и проектирования с помощью унифицированного языка моделирования (Unified modeling Language, UML) и унифицированного процесса (Unified Process, UP).

Система предоставляет конструктору возможность с учетом вышеприведенных соображений быстро получить приемлемое решение путем варьирования исходных параметров соединения.

Для выбора соединений впервые используются посадки по ISO 286, а также применяемые в единичном и мелкосерийном производстве, прежде всего, в тяжелом машиностроении, посадки с 9-м качеством, что расширяет возможности обоснованного выбора этого вида неподвижных соединений.

Задачу оптимизации посадки значительно облегчает также визуализация результатов расчетов в виде графиков интегральной функции вероятности  $\Phi(z)$  с разделением площади зоны натягов и зазоров и таблицы с соответствующими параметрами согласно результатам расчетов.

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ**

Мироненко Е.В., Ковалев Д.Г., Онацкий А.И.  
(ДГМА, г Краматорск, Украина)

Тяжелые токарно-карусельные станки предназначены в основном для использования в энергомашиностроении, химическом, тяжелом, транспортном машиностроении, судостроении, самолетостроении, черной металлургии и т. п. Номенклатура деталей, обрабатываемых на карусельных станках, весьма разнообразна, соответственно весьма различны и требования к точности обработки.

Большие габариты и сложность формы обрабатываемых деталей и высокие требования к показателям качества ряда деталей обуславливают целесообразность проведения разнородных операций как черновых так и чистовых при одной установке заготовки.

Для оценки динамического состояния ползуна с инструментом была построена форма колебаний карусельного станка при резании с вибрациями, рассмотрена доля отдельных элементов станка в полном перемещении ползуна относительно планшайбы на частоте вибрации, а также предложены расчетные схемы и некоторые конструктивные рекомендации.

Рассматривая распределение мощности колебательного процесса можно отметить, что 90% энергии колебаний ползуна и инструмента сосредоточено в диапазоне частот до 150 Гц.

Как показал расчет собственных колебаний элементов несущей системы станка на основе приближенных методов, парциальные частоты основных узлов станка находятся в диапазоне частот 50 Гц. Расчет собственной частоты колебаний ползуна с инструментом как упруго заземленной балки при различных вылетах и сравнение с экспериментальными данными позволили сделать вывод, что частота автоколебаний существенно зависит от вылета ползуна. Собственная частота изгибных колебаний ползуна с инструментом может достигать на коротком вылете значений 500...600 Гц.

Экспериментально полученная форма колебаний станка на частоте вибраций позволила оценить долю основных узлов в общем перемещении конца ползуна относительно планшайбы. При этом было установлено, что наибольшие перемещения на этой частоте определяются, изгибными колебаниями в плоскости Oz в значительной степени зависит от закручивания и изгиба поперечины и ее смещение относительно портала, а также от поворота суппорта на направляющих поперечины.

По результатам приведенных исследований установлены границы частот колебаний при которых возникает явление резонанса в узлах тяжелого карусельного станка.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С УЧЕТОМ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА**

Мишура Е.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Рассматривая технологический процесс и технологическую операцию как открытую систему, на которую оказывают влияние внешние факторы, необходимо создание перспективного подхода к повышению эффективности технологических операций механообработки, позволяющего системно повысить их качество. Для этого необходимо обосновать критерий оптимальности, учитывающий влияние на эффективность технологической операции факторов, сопровождающих производственную деятельность. Основой такого подхода может являться применение нового, комплексного критерия оптимальности технологической операции механообработки.

Актуальность такого подхода определяется, прежде всего, тем, что сама технологическая операция является системой связанных и взаимодействующих элементов – составляющих производственной системы.

В задачах, решаемых с помощью оптимизации технологических процессов, вид критериев оптимизации может быть различным. Основные виды используемых критериев оптимизации объединяют в следующие группы:

- экономические критерии: минимальная технологическая себестоимость, наименьшие приведенные затраты, наибольшая прибыль, максимальная рентабельность, минимальный уровень отдельных видов затрат на производство (минимальные затраты по заработной плате), минимальные затраты на электрическую и другие виды энергии, на основные и вспомогательные материалы и другие статьи);
- технико-экономические критерии: максимальная производительность, наименьшее штучное, основное и вспомогательное время, минимальная станкоемкость изготовления изделия.

Эти критерии обеспечивают следование двум принципам, которые лежат в основе разработки производственных процессов: принципам технической и экономической целесообразности. В соответствии с первым принципом технологический процесс должен обеспечить выполнение всех технических требований на изготовление изделия, а второй принцип определяет условия, обеспечивающие минимальные затраты труда и наименьшие издержки производства.

Таким образом, комплексный критерий оптимизации технологической операции механообработки зависит от востребованности конечной продукции, где продукция представляет собой результат технологических услуг, позволяющих с минимальными издержками удовлетворить потребности потребителя и будет представлять собой систему характеристик технологической операции отражающей способность производства генерировать ценность производимой продукции на всех этапах технологического процесса.

## **КЛАССИФИКАЦИИ СТРУЖКИ ПО ХАРАКТЕРУ ЕЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОВТОРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИНСТРУМЕНТОМ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ**

Нечепанев В.Г., Гнисько А.Н., Мышов М.С., Харламов С.Ю.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Обработка профильных пазов сопровождается циркуляцией отделенной стружки с дальнейшим ее повторным взаимодействием с зубьями фрезы. Полученная при обработке Т-образных пазов стружка была классифицирована, в соответствии с фактическим характером ее деформирования, на четыре группы.

Группа 1 – характеризуется отсутствием следов пластической деформации стружки.

Группа 2 – характеризуется пластической деформацией поперечного сечения элемента стружки вследствие его взаимодействия с лезвием инструмента.

Группа 3 – характеризуется либо пластической деформацией продольного сечения элемента стружки, либо комбинированной пластической деформацией и продольного и поперечного сечений. Характер деформирования является следствием взаимодействия элемента стружки с задней поверхностью и/или затылком зуба фрезы.

Группа 4 – характеризуется разрушением элементов стружки на отдельные частицы вследствие их взаимодействия с лезвиями инструмента.

Количественный и процентный состав полученной стружки в соответствии с указанными классификационными признаками приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Классификация стружки по характеру ее деформации (Сталь 45)

Группа	Количество	
	штук	%
1	536	37
2	203	14
3	209	15
4	482	34
Всего	1430	100

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что не менее 63% отделенной стружки повторно взаимодействует с режущим инструментом. Вследствие этого формируется дополнительное усилие на режущий инструмент, которое обуславливает деформацию инструмента и, как следствие, соответствующую погрешность обработки.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ

Нечепаев В.Г., Гнитько А.Н., Мышов М.С., Харламов С.Ю.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

В результате анализа процесса фрезерования профильных пазов установлено повторное взаимодействие отделенных элементов стружки с зубьями режущего инструмента. Следствием такого взаимодействия является пластическое деформирование стружки с формированием соответствующих сил, дополнительная деформация режущего инструмента, и как конечный результат – возрастание погрешности обработки.

Для установления количественных соотношений между параметрами процесса повторного взаимодействия отделенных элементов стружки с зубьями режущего инструмента и соответствующими погрешностями обработки (с последующим установлением возможных путей повышения точности обработки), необходимо выполнить моделирование и анализ рассматриваемого процесса.

Выполненная классификация стружки по характеру ее деформирования в процессе повторного взаимодействия с инструментом при фрезеровании профильных пазов, позволила предложить в качестве первого шага схематизацию такого взаимодействия и формализовать ее до соответствующих расчетных схем.

На рисунке в качестве примера показана схематизация процесса пластического деформирования поперечного сечения элемента стружки.

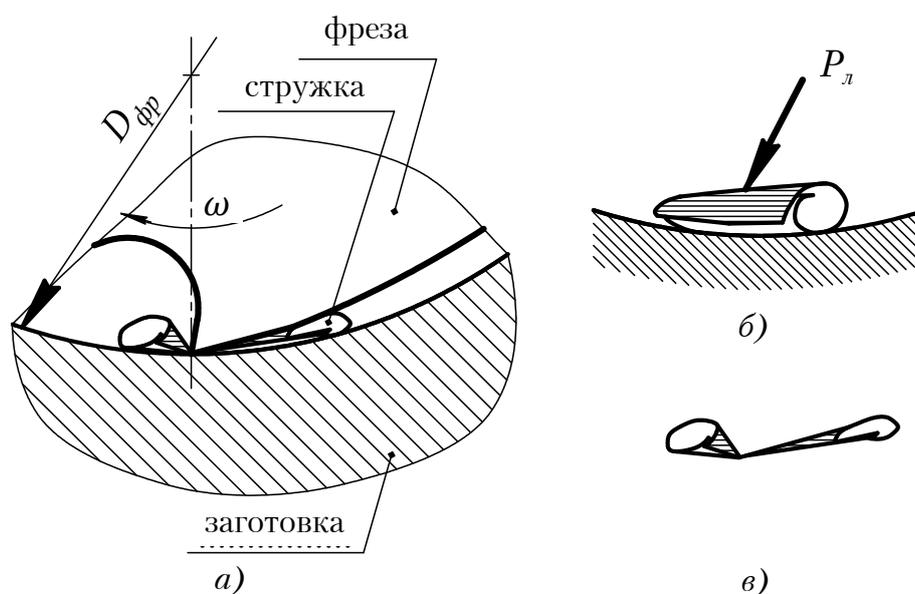


Рисунок 1 – Схематизация процесса деформирования элемента стружки зубом фрезы: а) схема взаимодействия; б) расчетная схема; в) элемент после деформирования

## **ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКЕ-ГЕКСАПОДЕ С 6-ТИ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМОЙ ЧПУ**

Новиков Н.В., Струтинский В.Б., Кириченко А.Н.  
(ИСМ им. В. Бакуля НАН Украины, НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

Одним из путей развития современного станкостроения является разработка станков параллельной кинематики (гексаподов). Данное обрабатывающее оборудование имеет ряд существенных преимуществ по сравнению со станками традиционной компоновки.

Разработка и использование металлообрабатывающего оборудования с параллельными кинематическими связями требует всестороннего изучения данного оборудования и особенностей процессов механической обработки, которые реализуются на данном оборудовании.

В полной мере это можно осуществить только экспериментальным путем на специально разработанном оборудовании. Для проведения исследований разработан станок-гексапод, имеющий шесть независимых приводов изменения длин штанг, которые управляются системой ЧПУ. Станок позволяет производить обработку деталей из неметаллических материалов (дерева, пластмасс), а также деталей из легких сплавов.

При разработке станка проведен анализ имеющихся станков аналогов с определением основных направлений разработок. Выполнены исследования кинематики станка-гексапода. Разработаны методы решения прямой и обратной задачи кинематики применительно к указанной схеме механизма. Разработаны подходы к определению рабочего пространства станка с учетом наличия 6-ти степеней свободы платформы со шпинделем. Определены показатели жесткости упругой системы станка. Для этого разработана специальная методика расчета матрицы жесткости. На основе исследования кинематики и деформативности станка разработан метод нахождения динамических характеристик станка гексапода. При этом, осуществлено математическое моделирование пространственного движения твердых тел, которые составляют динамическую систему станка.

На основе исследований разработаны рекомендации по повышению показателей точности и динамического качества станка гексапода. Они заключаются в периодической калибровке станка с целью определения реальной геометрии его основных элементов.

Для исследования процессов механической обработки использовано специальное инструментальное обеспечение станка и система ЧПУ.

Приведена контрольная обработка деталей с измерением параметров производительности и точности. Сформулированы выводы о положительных свойствах и недостатках разработанного станка гексапода.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ БОКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТРЕЗНЫХ КРУГОВ

Новоселов Ю.К., Левченко Е.А.  
(СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

В соответствии с современными тенденциями развития технологии машиностроения, предусматривающими повышение производительности, точности и качества обработки, все большее значение приобретает процесс абразивной резки.

При дальнейшем развитии производства повышение качества и производительности обработки возможны лишь на базе теории, описывающей основные закономерности процесса абразивной резки и их связи с формированием свойств поверхностного слоя разрезаемых заготовок. Это позволит управлять процессом резки с целью обеспечения заданного качества обработки деталей при возможно большей производительности, а также определить пути интенсификации процессов и расширения их технологических возможностей.

В связи с этим, разработка научных основ создания высокопроизводительного бездефектного процесса резки на базе новых технических решений по применению высокоэффективного инструмента с повышенной режущей способностью позволит получить значительный экономический эффект.

Известно, что для обеспечения нормальной работы абразивного инструмента в целом необходимо стремиться создать оптимальные условия для каждого единичного зерна.

Для того чтобы абразивные зерна, расположенные на боковых поверхностях, срезали металл величина их выступания из связки и глубина их внедрения должна быть больше глубины, при которой процесс пластического отеснения металла переходит в процесс микрорезания.

При недостаточной величине выступания зерен из связки и большом их количестве на боковых поверхностях круга, глубина микрорезания незначительна, зерна не режут, а только пластически деформируют металл. Поверхностные слои заготовки разогреваются, вершины зерен интенсивно изнашиваются. При затуплении абразивных зерен связка тоже начинает контактировать с металлом, что приводит к дальнейшему повышению температуры, выгоранию связки и интенсивному износу круга.

На основе вероятностного характера удаления припуска боковыми поверхностями инструмента установлена связь условий обработки и режимов резки с конструктивными параметрами круга и относительной глубиной микрорезания  $t/\rho$ . Предложена математическая зависимость, позволяющая рассчитать наиболее рациональное число зерен на единице боковых режущих поверхностей кругов. Изменяя торцевой микрорельеф и характеристику инструмента, скорость резания, радиальную подачу и соотношение диаметров заготовки и круга, можно управлять качеством обработанной поверхности.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ТОНКОСТЕННУЮ ОБОЛОЧКУ ВРАЩЕНИЯ, ВО ВРЕМЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ**

Олейник С.Ю., Гусев В.В., Калафатова Л.П.  
(ДГМА, г. Краматорск, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Разработка математических зависимостей, которые адекватно моделируют поведение технологической системы, включающей: заготовку – тонкостенную оболочку вращения, шпиндельный узел с алмазным инструментом и элементы станка, является основой для решения задачи обеспечения параметров качества обрабатываемых шлифованием поверхностей. На качество обработанной поверхности в рассматриваемой технологической системе алмазно-абразивной обработки тонкостенных оболочек вращения сложной формы оказывают вредное влияние вибрации, которые повышают уровень дефектности обрабатываемой поверхности, что особенно характерно при обработке изделий из хрупких неметаллических материалов.

Результатами выполненных исследований явилось рассмотрение динамических характеристик подсистемы «шпиндельный узел – оправка – заготовка» и их влияния на процесс шлифования. Было установлено, что низкая и переменная по длине заготовки жесткость приводит к динамической неустойчивости процесса резания, наличию вибраций, интенсивность которых меняется в зависимости от схемы обработки, места контакта заготовки с инструментом. Исследования особенностей вынужденных колебаний подсистемы «приспособление – заготовка» также показали переменную интенсивность уровня вибраций по длине заготовки, сходную с экспериментальной кривой амплитуды колебаний. Однако полученные теоретические данные имели некоторые расхождения с экспериментальной кривой. Это можно объяснить тем, что при моделировании не были учтены ряд свойств обрабатываемой детали как замкнутой тонкостенной оболочки, а также факторы, связанные с механической обработкой детали на специальном станке.

Для уточнения динамической модели технологической системы в ней следует учесть следующие факторы. На деталь – тонкостенную оболочку, вращающуюся с постоянной частотой, во время шлифования воздействует локальная сосредоточенная периодическая сила, перемещающаяся вдоль оси детали с заданной подачей. Это можно рассматривать как факт динамического воздействия подвижной нагрузки на поверхность оболочки, вызывающего повышение амплитуды колебаний. Оценка уровня вибраций производилась по показателям волнистости поверхности изделия после обработки, которые формируются в результате взаимного относительного движения шлифовального круга и заготовки. При моделировании с целью совершенствования процесса шлифования, необходимо учитывать вынужденные колебания подсистемы агрегатной головки с шлифовальным кругом, а также эффект изменения жесткости системы с ростом напряжений, который является следствием взаимовлияния продольных и поперечных прогибов в тонкостенной оболочке.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ФОРМИ ПЕРЕДНЬОЇ ПОВЕРХНІ РІЗАЛЬНОГО КЛИНУ В СЕРЕДОВИЩІ DEFORM

Пасічник В.А., Чистякова К.Є., Батюк А.А.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Поява на ринку великої кількості сучасного обладнання та нового різального інструменту, актуалізувала питання щодо ефективного їх використання. Рекомендації щодо режимів різання, які дають виробники інструментів, є усередненими, а аналітичні розрахунки не можуть бути повною мірою застосовані. У зв'язку з цим, розробка ефективних технологічних процесів механічного оброблення вимагає проведення великого обсягу експериментальних досліджень, скоротити кількість яких можна із застосуванням сучасних систем автоматизованого моделювання процесів оброблення, в основі яких лежить метод кінцевих елементів.

Для процесу чорнового токарного точіння за допомогою традиційного методу та у середовищі Deform було прораховано складові сили різання. Також досліджено впливу зміни радіусу закруглення різальної кромки на довжину лінії різання та площу зрізуваної стружки. Результати порівняння свідчать про суттєві розбіжності між двома підходами. Найбільше розходження спостерігається при радіусі  $r_e = 1,0$  мм (60,4%), найменше при  $r_e = 0,0$  мм (40,6%). Виявлено також, що Deform видає результати, які за своєю тенденцією суттєво відрізняються від традиційної методики розрахунку, а саме – при значенні радіусу округлення вершини різця близько  $r_e = 1$  мм (для фіксованих умов оброблення) спостерігається сплеск усіх складових сил різання (найяскравіше він виражений для складової  $P_z$ ), а також змінюється співвідношення між складовими.

Для процесів зовнішнього чорнового фрезерування стандартизованою черв'ячною фрезою та фрезою, зубці якої мають стружкороздільні елементи, досліджувалось питання, наскільки впливає наявність такого елемента на силу різання. Для одних і тих самих початкових умов були прораховані силові складові сил різання  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  для обох зубів. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлено, що для нової конструкції складова сили різання  $P_z$  в середньому на 20...25% нижча ніж для інструменту стандартної конструкції.

Таким чином на даний момент спостерігаються суттєві (до 40...60%) розбіжності між результатами, які видають традиційні методики розрахунку сил різання та новітні системи комп'ютерного моделювання. Тому будь-яке застосування систем комп'ютерного моделювання вимагає ретельної постановки задачі та прискіпливого аналізу отриманих результатів. Особливо це актуально в тих випадках, коли немає можливості порівняти їх із результатами натурного експерименту або ж з результатами альтернативних розрахунків. В той же час застосування таких систем дає можливість отримати непоганий якісний результат, як основу для подальшого фізичного експерименту.

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ПІДГОТОВЛЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛОК»**

Пасічник В.А., Шумаєв С.О.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Вирішення завдань із вдосконалювання технологій та обладнання процесів виправлення труб і трубних заготовок можливе на основі подальшого розвитку методик автоматизованого розрахунку й проектування відповідних технологій та обладнання.

В даній роботі пропонується структура та реалізація інтегрованої системи автоматизованого проектування правильних валків та технологічного підготовки їх виготовлення яка включає: модуль розрахунку профілю валка; модуль аналізу взаємодії валка та труби; модуль синтезу технологічного процесу (ТП) механічного оброблення (точіння та шліфування); модуль синтезу керуючої програми (КП) для токарної та шліфувальної операцій.

В модулі розрахунку профілю валка вирішує задачу розрахунку параметрів повного профілю валка та додаткових конструктивних елементів, що в сукупності утворюють деталь.

Модуль аналізу взаємодії валка та труби вирішує задачу математичного моделювання взаємодії труби, як об'єкту виробництва, та валка, як інструменту реалізації, з метою забезпечення основних показників якості продукції, в першу чергу – геометричних.

Модуль синтезу ТП вирішує задачі, пов'язані з автоматизованим проектуванням основних операцій технологічного процесу виготовлення валка – токарного оброблення та шліфування на верстатах з ЧПК.

На основі інформації про повний профіль валка, отриманій в попередньому модулі, та введених даних про параметри заготовки (діаметр і довжина) синтезується типова послідовність операцій механічного оброблення: чорнове токарне оброблення, чистове токарне оброблення, шліфування з рекомендованим розподілом припусків та режимами. Користувач має можливість встановити власні режими оброблення.

Модуль синтезу КП є завершальним модулем системи, який дозволяє автоматично створити КП в G-кодах відповідно до вимог системи ЧПК.

Новий підхід до процесів проектування і виготовлення основного елемента косовалкової правильної машини для труб – деталі «валок» та розроблене на його основі нове програмне забезпечення забезпечують високу швидкість, як проектування самої деталі, так і отримання керуючої програми для її виготовлення. Застосування такого підходу дозволяє час на конструкторсько-технологічне підготовки виробництва, включаючи автоматизоване отримання набору керуючих програм для основних операцій виготовлення деталі, таких як чорнове і чистове токарне оброблення та шліфування, скоротити до 15...25 хв.

## ИЗНОС НАПРАВЛЯЮЩИХ ОПОР ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Пациора А.П.  
(ЗАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

На сегодняшний день малоисследованным является вопрос износа направляющей части инструмента для обработки глубоких отверстий, хотя данное явление во многом определяет качество обработанной поверхности, точность отверстия и работоспособность инструмента. Износ направляющих опор приводит к потере жесткости инструмента, снижению стойкости режущих пластин, снижению шероховатости, разбивке отверстия, появлению винтообразной огранки и есть одной из причин увода оси отверстия.

В ходе исследований рассмотрен механизм появления и развития износа направляющих опор на примере головки глубокого сверления  $\varnothing 70$  фирмы «Botek» при сверлении двух гребных валов суммарной длиной  $L = 24000$  мм. Материал гребного вала сталь 38Х2Н2МА. Режимы резания: скорость  $v = 60$  м/мин, подача  $s = 0,15$  мм/об. Схема работы рассматриваемого инструмента в сочетании с интенсивной подачей СОЖ под давлением 2,5...4,0 МПа обеспечивают создание гидродинамического эффекта на направляющих опорах, в результате чего трущиеся поверхности разделены несущим слоем жидкого смазочного материала, давление в котором уравнивает результирующую нагрузку от сил резания. Однако на небольшом участке заходной части направляющих опор в силу ряда причин изначально реализуется режим полужидкостного трения. По результатам эксперимента построены профильные кривые износа десяти точек направляющих опор. На основе функций нелинейной регрессии в пакете MathCAD построены математические модели износа направляющих опор, позволяющие прогнозировать величины радиального износа. На основе металлографического анализа рассмотрена природа возникновения и роста пятна размерного износа направляющих опор. Механизм износа направляющих опор инструмента для обработки глубоких отверстий носит сложный характер и представляет собой совокупность различных процессов: адгезионных, абразивных, кавитационных, каждый из которых преобладает на определенном этапе развития износа. Рассмотрен процесс зарождения и раскрытия усталостных трещин под действием знакопеременных термических и механических напряжений, как один из факторов разрушения поверхностного слоя направляющей опоры.

Наиболее эффективным направлением в области минимизации износа направляющих опор является исследование гидродинамических явлений, возникающих в зоне их контакта с обработанной поверхностью. Достижение гидродинамического эффекта по всей длине направляющих опор с давлением достаточным для восприятия нагрузки от сил резания позволит исключить явление износа и решить проблему качества обработки глубоких отверстий на принципиально новом уровне.

# ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Пегловский В.В., Сидорко В.И., Ляхов В.Н.  
(НТАК «Алкон» НАН Украины, г. Киев, Украина)

**Введение.** При изготовлении производственно-технических, строительных и декоративно-художественных изделий из природного камня имеющих формы тел вращения применяют различные модели токарных станков.

Настоящая работа ставит своей целью разработку рекомендаций по рациональному выбору вида алмазного инструмента и параметров его алмазоносного слоя, а также технологических режимов использования такого инструмента при обработке природных камней на токарных станках.

**Методика исследований.** В данной работе рассматриваются те виды природных камней (горных пород и минералов), которые относятся к камням декоративным и полудрагоценным.

Приводятся основные технические характеристики токарных станков и основные принципы их модернизации для обработки камня.

**Полученные результаты.** Рассматриваемые виды камней (декоративные и полудрагоценные) в соответствии с их химическим составом, минералогическими особенностями, прочностными свойствами, а также трудоемкостью и энергоемкостью обработки условно распределяются на пять групп

В соответствии с принадлежностью камня, к какой либо группе назначаются технологические режимы его токарной обработки (шлифования).

Приводятся основные параметры обработки для камней разных видов: скорость вращения шпинделя станка, продольная и поперечная составляющие подачи, а также окружная скорость обработки и высота снимаемого за один проход слоя материала.

Представлены также виды алмазного инструмента, используемые при токарной обработке природного камня и возможные формы образуемых им поверхностей вращения. Описаны также основные принципы выбора параметров алмазоносного слоя инструмента (вид связки, марка синтетических алмазов их размер и концентрация).

Рекомендации по выбору вида инструмента и параметров его алмазоносного слоя сформулированы в результате обобщения и анализа опыта изготовления различных изделий из камня.

**Выводы.** В результате проведенной работы связанной с токарной обработкой природного камня разработан способ его обработки, выработаны основные принципы модернизации, известных марок токарных станков для обработки камня, разработаны рекомендации по использованию различного алмазного инструмента для чернового точения и формообразования тел вращения, а также выбраны рациональные параметры алмазоносного слоя инструмента для обработки камня.

**Список литературы** включает 15 источников.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Плис С.Г., Богуцкий А.А., Жариков С.В.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В настоящее время режущий инструмент со сложным профилем зуба изготавливают преимущественно из быстрорежущих сталей типа P18, P9.

Технологический процесс изготовления наплавленного многолезвийного режущего инструмента состоит из следующих основных операций: изготовление заготовок, предварительный их подогрев, механизированная наплавка заготовок порошковой проволокой, отжиг наплавленных деталей, механическая обработка, закалка-отпуск, доводка-заточка.

Для изготовления заготовок многолезвийного инструмента используют стали 40, 45 или 40X. Размеры фрезеруемых канавок под наплавку выбирают исходя из размеров режущей кромки инструмента. Глубина фрезеруемой канавки равна глубине паза готового инструмента плюс толщина переходного слоя. Состав порошковой проволоки для наплавки обеспечивает получение наплавленного слоя по химическому составу, соответствующего стали P18.

Послойный спектральный анализ многослойной наплавки показал, что необходимый химический состав получается при толщине наплавленного слоя более 2 мм, следовательно, глубину канавки необходимо увеличивать на 2,5...3,0 мм. После предварительного подогрева заготовку перед наплавкой очищают от окалины и загрязнений. Канавка выполняется в один слой ванным способом полуавтоматом А-765. После наплавки одной канавки заготовку поворачивают на 180° и наплавливают противоположную канавку, и так до заплавления всех канавок. Твердость наплавки HRC 60...62.

После охлаждения наплавленной заготовки на воздухе основные структурные составляющие – мартенсит, карбиды, остаточный аустенит. Последующий отжиг наплавленных заготовок в течение 41 часа обеспечивает твердость наплавленного металла 22...27 HRC, основные структурные составляющие – перлит и карбиды.

После отжига наплавленные заготовки подвергаются механической обработке и последующей закалке. При закалке наплавленного режущего инструмента обеспечивается аустенизация наплавленного слоя и в то же время не допускается перегрев основного металла.

После закалки проводили трехкратный часовой отпуск при 560°C, что способствует получению оптимальной структуры и высокой красностойкости слоя быстрорежущей стали, а в основном металле получению мелкого зерна.

Используемый режим термической обработки обеспечивает требуемую твердость и красностойкость наплавленного металла. Биметаллический режущий инструмент, изготовленный наплавкой разработанной порошковой проволокой, по стойкости не уступает цельнометаллическому инструменту, при этом стоимость инструмента, наплавленного порошковой проволокой, ниже стоимости цельнометаллического.

# ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ И ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ХАРАКТЕР ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

Покинтелица Н.И.  
(СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

Высокие эксплуатационные свойства деталей, их надежность и долговечность в значительной степени определяются состоянием поверхности после обработки.

Целью работы является исследование показателей качества обработанной поверхности при термофрикционной обработке (ТФО) сталей режущими дисками (РД) и определение влияния параметров режима резания на характер их изменения.

Степень упрочнения материала поверхностного слоя деталей оказывает существенное влияние на их эксплуатационные характеристики (износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость и т.д.).

Исследовано состояние поверхностного слоя деталей из сталей 45, 12Х13, 12Х18Н12Т, 38ХГН и 09Х15Н8Ю.

Как показали измерения, при ТФО поверхность заготовки из стали 45 нагревается до 500...600°C, поверхность заготовок из сталей 12Х13 и 12Х18Н12Т – 550...650°C, 38ХГН и 09Х15Н8Ю – 600...750°C.

Исследования химического состава сталей после обработки не показали изменения содержания элементов. Металлографические исследования поверхностного слоя и по сечению образцов показали наличие зоны термического влияния на глубину до 0,6 мм.

Результаты исследований показали, что в деталях из стали 09Х15Н8Ю в поверхностном слое возникают сжимающие остаточные напряжения, максимум которых составляет  $\sigma_0 = -750...1100$  МПа, глубина залегания  $y = 100...140$  мкм; в деталях из стали 45 в поверхностном слое в тонких слоях, глубиной 7...14 мкм, концентрируются растягивающие остаточные напряжения с максимумом на поверхности образца  $\sigma_0 = 450...1170$  МПа, которые далее переходят в сжимающие  $\sigma_0 = -200...600$  МПа и залегают на глубину  $y = 100...300$  мкм.

Глубина залегания активной части составляет 20...30 мкм, микротрещины отсутствуют. Шероховатость обработанной поверхности соответствует  $Rz80...Rz40$ .

С увеличением скорости вращения РД  $V_0$  сжимающие остаточные напряжения несколько уменьшаются, а затем, при  $V_0 > 50$  м/с, существенно возрастают. Под действием температуры происходит снижение сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое из-за повышения пластичности металла в момент формирования поверхностного слоя, а также из-за структурных превращений. Повышением температуры в зоне обработки можно объяснить имеющие место снижения сжимающих напряжений с увеличением скорости резания.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИТАЛЛОВ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

Поколенко Д.В., Калафатова Л.П.  
(НПО Кварсит, г. Константиновка, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Механическая обработка обтекателей ракет из ситаллов представляет собой сложный, многоступенчатый и дорогостоящий технологический процесс. Согласно проведенным исследованиям, неравномерный припуск, обусловленный несовершенством заготовительных операций, при механической обработке оказывает негативное влияние на обрабатываемое изделие. А именно, силы резания из-за переменной жесткости заготовки отрицательно сказываются на точности формообразования и способствуют развитию дефектности, которая ухудшает прочность готового изделия. Необходимость удаления неравномерного по длине изделия припуска предусматривает увеличенное количество проходов на черновых операциях при внутренней обработке изделия, время выполнения которых составляет 60...70% от общего времени его механической обработки и интенсивный износ инструмента.

Поэтому совершенствование технологии получения заготовок из ситаллов является актуальной технологической задачей. Применяемая технология центробежного формования заготовок обтекателей ракет из стекломассы дорогостоящего состава в чугунных формах в специальных стекловаренных печах непрерывного действия предполагает использование большого количества энергоресурсов. Благодаря физическим свойствам стекломассы, происходит неравномерное формование толщины стенки заготовки, достигающей от 16 мм в носочной части, до 27...32 мм в ее фланцевой части, что определяет неравномерный припуск вдоль образующей детали.

Учитывая сказанное, разработана технология получения заготовок, основанная на 100% использовании ситалловых отходов путем их переплавки. Особенности физико-химических и механических свойств сырья после его переплавки обеспечивают получение стекломассы с меньшей вязкостью и большей однородностью состава, что позволило внедрить систему плавного регулирования частоты вращения формового комплекта и разработать программу центробежного формования заготовок. Это обеспечило получение практически равнотолщинной заготовки вдоль ее образующей (неравномерность стенки составила 3...5 мм), что позволило существенно увеличить производительность механической обработки обтекателей и повысить их качество.

## **ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА НАЛОЖЕНИЙ ПРОФИЛЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Полтавец В.В., Цокур В.П.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Шероховатость обработанной поверхности при абразивной обработке формируется в результате последовательного взаимодействия профилей рабочей поверхности шлифовального круга (РПК) в сечении плоскостью, параллельной оси круга, с профилем обрабатываемой поверхности заготовки в том же сечении. При врезном шлифовании высотные параметры шероховатости определяются отношением скоростей шлифовального круга и детали  $60 V_{\kappa}/V_{\partial}$ . При обработке с поперечной подачей формирование параметров шероховатости обработанной поверхности значительно усложняется за счет наложения профилей РПК на профиль обрабатываемой поверхности заготовки в направлении вдоль оси шлифовального круга. При этом формирование параметров шероховатости обуславливается также и структурой обрабатываемого материала, его физико-механическими и химическими свойствами.

Соответственно, целью работы являлось экспериментальное исследование влияния на среднюю высоту неровностей профиля обработанной поверхности количества наложений профиля РПК на профиль обрабатываемой поверхности заготовки для быстрорежущей стали Р6М5Ф3, твердого сплава ВК6 и титанового сплава ВТ14. Шлифование образцов из этих материалов проводили на плоскошлифовальном станке модели ЗД711АФ11 с использованием алмазного круга 1А1 250×76×16×5 АС6 160/125-4-М2-01.

Наиболее явно влияние количества наложений профиля РПК на профиль обрабатываемой поверхности проявилось при шлифовании быстрорежущей стали Р6М5Ф3: высотные параметры шероховатости уменьшаются с увеличением количества наложений профиля РПК, а их максимальное значение наблюдается при врезном шлифовании. Сравнение данных по влиянию количества наложений РПК на параметр шероховатости  $Ra$ , полученных на основе математической модели формирования шероховатости обработанной поверхности, с экспериментальными данными для стали Р6М5Ф3 показало, что расхождение не превышает 14%. Это подтверждает адекватность применяемой модели.

Для твердого сплава ВК6 и титанового сплава ВТ14 количество наложений профиля РПК на профиль обрабатываемой поверхности не оказывает заметного влияния на среднее значение высоты неровностей шлифованной поверхности. Это означает, что кроме геометрического фактора на формирование неровностей обработанной поверхности при шлифовании оказывают влияние характер разрушения обрабатываемого материала, химические и физико-химические процессы в зоне резания, причем для титановых сплавов вопрос о преобладании влияния какого-либо из указанных факторов требует проведения дальнейших исследований.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СБОРНОГО ЧАШЕЧНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР

Полупан И.И.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Обработка колесных пар на колесотокарных станках представляет собой сложную технологическую операцию, которая характеризуется относительно невысокой производительностью и целым рядом особенностей. Для процесса обточки колес характерно колебание в широком диапазоне припуска, твердости обрабатываемой поверхности. В зависимости от вида повреждения профиля колесной пары глубина резания может достигать 14...16 мм, а твердость обрабатываемой поверхности – до 900 НВ и более. Кроме того, колесо имеет сложный фасонный профиль, что приводит в процессе обработки к изменению угла контакта режущего инструмента с деталью 0...105°, т.е. ширина среза может в определенный момент достигать 27,5 мм.

С целью повышения эффективности обработки колесных пар были выполнены аналитические и экспериментальные исследования сборных инструментов, применяемых при обработке. В работе исследовалась конструкция сборного чашечного резца, используемая в Локомотивном депо г. Красный Лиман.

Недостатком указанной конструкции является отсутствие надежного базирования режущей пластины по цилиндрической поверхности отверстием в радиальном направлении.

С целью устранения указанного недостатка разработана усовершенствованная конструкция сборного чашечного резца.

Для исследования напряженно-деформированного состояния режущей кромки сборного чашечного инструмента был применен метод конечных элементов, расчеты с учетом сил контактного взаимодействия между элементами конструкции, зазоров и сил трения, производились в программной среде ANSYS.

Наибольшие напряжения на режущей пластине возникают в начале обработки колесной пары, где глубина резания достигает 10 мм, а сила резания  $P_z$  – до 16 кН, а также при обработке галтели реборды, где происходит перемена направлений сил резания и снимается наибольший припуск. Распределение напряжений в усовершенствованной конструкции сборного чашечного резца показывает, что в зоне максимальных нагрузок имеет место снижение нормальных напряжений  $\sigma_x$  с 800 МПа до 500 МПа (в 1,6 раза),  $\sigma_y$  с 1200 МПа до 820 МПа (в 1,5 раза),  $\sigma_z$  с 650 МПа до 310 МПа (примерно в 2 раза), а эквивалентных – с 2700 МПа до 1500 МПа (в 1,8 раза).

Таким образом, применение усовершенствованной конструкции сборного чашечного инструмента путем добавления упругой разрезной втулки позволило повысить жесткость крепления пластины в радиальном направлении, а также прочность режущей пластины путем снижения напряжений на режущей кромке в 2 раза.

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІДРОСТАТИЧНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ОПОР З АДАПТИВНОЮ СИСТЕМОЮ ЖИВЛЕННЯ

Пономаренко О.В., Кучеренко Н.С.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Верстати повинні забезпечувати необхідну траєкторію взаємного переміщення оброблюваної заготовки й інструмента. Однак внаслідок елементарних погрішностей реальна траєкторія відрізняється від необхідної. У деяких випадках (при розгляді відхилень форми, розташування поверхонь деталі) погрішності верстата є домінуючими. Необхідно зменшити погрішності верстата до величин, які в 3...5 разів менше в порівнянні з найменшими припустимими погрішностями деталей, оброблюваних на цьому верстаті.

В процесі експлуатації металорізального верстата головним є забезпечення умов, необхідних для отримання обробленої деталі з мінімальними похибками розмірів та форми. Такі відхилення виникають як результат зовнішнього впливу на динамічну систему верстата (силових, теплових, зміни умов обробки та ін.). Припустимо, що впливати на відхилення шпиндельного вузла на гідростатичних опорах, можливо завдяки регулюванню тиску або витрати робочої рідини у відповідному кармані опори.

Моделювання роботи гідростатичної шпиндельної опори було зроблено для наступних умов:  $D = 175$  мм;  $L = 245$  мм;  $A \times B = 180 \times 90$  мм;  $a$  і  $b = 180 \times 20$  мм. В'язкість робочої рідини за даними довідкової літератури  $\mu = 0,28$  Н·с/м<sup>2</sup> прийнята при температурі на вході в систему 22°C. До граничних умов потрібно віднести постійний тиск в системі живлення опор та постійну швидкість обертання вала, в той час як вихідний тиск рівний атмосферному. За розробленою моделлю проведені чисельні розрахунки для визначення тиску в карманах опори та її витратних характеристик.

В результаті проведених досліджень виявлено, що у якості адаптивного елемента, здатного впливати на точність технологічної системи, і, в остаточному підсумку, на точність обробки, доцільно вибрати шар робочої рідини і варіювати або тиск у шарі, або видаткові характеристики системи живлення. Змінюючи тиск у карманах гідростатичного підшипника шляхом використання регуляторів витрати робочої рідини можна добитися вирівнювання шпинделя щодо центрального положення.

На основі проведених досліджень розроблена адаптивна система керування точністю обробки на важкому токарному верстаті з гідростатичними опорами з безпосереднім виміром положення осі шпинделя безконтактними датчиками та регулюванням положення шпинделя за рахунок мікропереміщень в опорі.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ КОНЦЕВЫМИ СФЕРИЧЕСКИМИ ФРЕЗАМИ

Равская Н.С., Липский Е.Р., Скрынник П.В.  
(НТУУ «КПИ», г. Киев, ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье, Украина)

В производстве получение лопаток газотурбинных двигателей широкое использование получили различные виды формообразующей оснастки изготавливаемой из инструментальных штамповых сталей типа 5ХНМ.

В зависимости от условий использования оснастки, ее требуемая твердость после закалки может колебаться от  $HRC_{\text{э}} 40$  до  $HRC_{\text{э}} 55$ . Формообразующая оснастка, как правило, имеет фасонную форму и ее окончательная обработка осуществляется после закалки либо электроэрозионном методом, либо высокоскоростной обработки сферическими фрезами на станках с ЧПУ.

Анализ исследований в области высокоскоростной обработки показывает, что это метод позволяет обрабатывать закаленные стали.

Вместе с тем задача определения основных условий высокоскоростного резания закаленных сталей разной твердости ранее никем не рассматривалась.

Моделируя усилия резания на примере высокоскоростной обработке закаленных сталей 5ХНМ концевыми сферическими фрезами с использованием одного из алгоритмов метода группового учета аргументов получены модели для их определения:

$$\ln(P_x) = -0,85 - 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot n \cdot \alpha + 0,02 \cdot HRC_{\text{э}} \cdot \ln(HRC_{\text{э}}) + \\ + 1,32 \cdot 10^{-8} \cdot HRC_{\text{э}}^3 \cdot \ln^3(HRC_{\text{э}}) \cdot F_z^4 - 2,77 \cdot 10^{-3} \cdot a_e^2 \cdot HRC_{\text{э}} \cdot \ln(HRC_{\text{э}}) \cdot \ln(F_z) - \\ - 169,21 \cdot F_z^3 \cdot \ln(a_e)$$

$$\ln(P_y) = 3,33 + 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot n \cdot \ln(\alpha) \cdot \ln(F_z) + 4,26 \cdot 10^{-5} \cdot HRC_{\text{э}}^2 \cdot \ln(HRC_{\text{э}}) + \\ + 1,34 \cdot a_e^2 - 5,67 \cdot F_z^5 \cdot HRC_{\text{э}}^2 \cdot \ln(HRC_{\text{э}}) \cdot a_e^2 \cdot \ln(a_e) + 0,048 \cdot \ln(\alpha) \cdot \ln(F_z)$$

$$\ln(P_z) = 4,93 - 28,24 \cdot a_p \cdot a_e \cdot F_z \cdot \ln(F_z) - 0,0024 \cdot HRC_{\text{э}} \cdot \ln(HRC_{\text{э}}) \cdot \ln(\alpha) - \\ - 0,49 \cdot a_e \cdot \ln(HRC_{\text{э}})$$

Таким образом, задаваясь допустимой силой резания можно назначить рациональные режимы резания и геометрию инструмента в исследуемых пределах их изменения.

## ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ЗРІЗУ ПРИ ЗУБОФРЕЗЕРУВАННІ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ ФРЕЗАМИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Равська Н.С., Охріменко О.А.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Створення прогресивних конструкцій різального інструменту неможливо без аналізу завантаження різальних ділянок його різальної кромки. Поряд зі швидкістю різання, величиною активної довжини різальних кромки, товщини зрізу в кожній точці різальної кромки є важливою характеристикою прогнозування працездатності інструменту. Товщина зрізу в великій мірі впливає на характеристики явищ процесу різання (зусилля різання, теплофізичні, динамічні характеристики, тощо).

Зважаючи на те, що товщина зрізу в досліджуваній точці різальної кромки інструменту є відстань від поверхні зрізуваного шару матеріалу до її визначення для інструментів працюючих методом обкочування є найбільш проблемним. Це пояснюється складною кінематичною схемою реалізації процесів обкочування, так і одночасною роботою декількох зубів різального інструменту. До таких інструментів відноситься – черв'ячна фреза.

Згідно ГОСТ 25762-83 (ДСТУ 25762-93) Обробка різанням: товщина зрізуваного шару  $a$  є довжина нормалі до поверхні різання, що проведена із точки різальної кромки, що розглядається і обмежена перерізом зрізуваного шару. Тому при визначенні товщини зрізу необхідно визначити положення вектора нормалі  $N_{Pnk}$  до площини різання і границі перерізу зрізуваного шару. Границі перерізу зрізуваного шару з однієї сторони обмежені різальною кромкою зуба фрези, що розглядається та з іншої поверхнями різання від дії інших зубів, що відбулися у часі пізніше та поверхнями, що обмежують тіло заготовки.

В загальному визначення товщини зрізу будемо вести за наступним алгоритмом: Вхідні параметри: фрези, колеса; Визначення кількості працюючих зубів  $n$  та їх параметру  $t_j$ ,  $j = 1...n$ ; Визначення кількості обертів в радіанах, що необхідно фрезі для обробки колеса  $\varphi_{обр}$ ; Вибір зуба, що розглядається з параметром  $t_K$  і його часового положення, що кутом задається кутом  $\varphi_{01i}$ . Вибір точки на різальній кромці зуба з відповідним параметром  $u_j$ , або  $\mu_j$ ; Розрахунок для цієї точки положення вектора нормалі  $N_{2Pnk}$ ; Визначення значення довжини перетину лінії нормалі з поверхнями різання зубів, які формують западину перед зубом на цьому обороті заготовки колеса для яких  $t_j$ ,  $j = 1...K - 1$ ; Визначення значення довжини перетину лінії нормалі  $g$  з поверхнями різання зубів, які формують западину перед зубом на минулих обертах заготовки колеса для яких  $\varphi_{01j} = \varphi_{01ij} - (2\pi N)/i_{12}$ , як показують розрахунки при прийнятих в сучасному машинобудуванні значеннях подачі, впливають на товщину зрізу максимум тільки поверхні різання від 4 обертів колеса, які відбулися раніше,  $N = 1...4$ . Вибір мінімального значення параметру  $g$  – яке і буде товщиною зрізу  $a$ , якщо то різання в цій точці в даний момент часу відсутнє. За запропонованою методикою можна визначити та дослідити параметри завантаження різальної кромки будь якого зуба фрези в довільний момент часу.

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ДОВОДКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Сазонов С.Е.  
(СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

Современный уровень развития техники характеризуется повышением требований к качеству механизмов и машин. Ставится задача не только повысить точность изготовления деталей в целом, но и обеспечить стабильность их параметров.

Целью данной работы является разработка циклов управления процессом доводки прецизионных поверхностей деталей приборов.

Обзор существующих технологических процессов, применяемых для доводки прецизионных поверхностей на производстве показывает, что для управления процессом доводки перемычек маятников акселерометров может выступать усилие прижима притира к заготовке, окружная скорость поверхности притира и зернистость доводочной пасты.

В начальный момент времени состояние процесса характеризуется исходным состоянием рабочей поверхности инструмента и заготовки, которое определяется их параметрами шероховатости и твердостью поверхностного слоя. Конечное состояние – точностью формы притира  $\Delta_{np}$  и максимально допустимой шероховатостью  $Ra_{np}$ , при которых не обеспечиваются заданные параметры качества, а эксплуатация изделия становится невозможной.

В процессе обработки параметры качества изделия могут отличаться от требований чертежа. Однако на протяжении всего цикла они должны находиться в заданной области значений, при которых достижимы требуемые параметры качества детали. На процесс доводки накладывается ряд ограничений, обусловленных техническими характеристиками станка и технологической системы процесса доводки.

В качестве параметров, которые используются при определении конкретных значений критериев качества, используются значения переменных, характеризующих поведение технологического процесса, и его результаты.

Необходимо учитывать, что состояние технологической системы несвободно от наследования параметров, определяемых результатами обработки предыдущей детали.

При расчете циклов учитывалось состояние притира в различные периоды его стойкости, поэтому продолжительность каждого последующего цикла увеличивается. Общее время цикла обработки первой детали в 1,38 раза меньше цикла обработки детали в конце периода стойкости инструмента. При обработке 10, 30 деталей основное время снижается в 1,15; 1,3; раза, по сравнению с заводскими.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Сергеечев З.С.  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Одной из основных причин, препятствующих повышению производительности чистовой обработки отверстий осевым инструментом, являются различные динамические процессы в зоне резания осевого инструмента, оказывающие негативное влияние и на качество обрабатываемой поверхности. Поэтому изучение природы и условий возникновения колебаний в инструменте, а также способов устранения этих колебаний имеет, большое значение.

Анализ современного состояния динамических расчетов осевого инструмента показал, что существующие динамические модели осевого инструмента представляют собой модели колебаний материальной точки с двумя степенями свободы и приведенной массой  $M$  в плоскости, перпендикулярной оси инструмента. Недостатком таких моделей является то, что они не учитывают не только геометрию конструкцию инструмента, но и его изгибную жесткость, которая оказывает существенное влияние на развитие динамических процессов при поперечных колебаниях инструмента. В результате этого существующие динамические модели не всегда дают адекватные результаты. Для учета изгибной жесткости и конструкции осевого инструмента необходим переход от одномассовой системы к системе с бесконечным числом степеней свободы, что значительно усложняет модель.

Подобные динамические модели можно создавать на основе современных методов строительной механики и сопротивления материалов – метод начальных параметров, метод перемещений и метод сил. Так как осевой инструмент по своей конструкции представляет одноосный элемент с распределенными параметрами, для его расчета можно применить указанные методы.

Полученные математические динамические модели, основанные на методе начальных параметров и примененные к реальному осевому инструменту, позволяют учесть основные конструктивные особенности рассматриваемого инструмента, характер его взаимодействия элементами технологической системы и могут быть использованы также для анализа вынужденных колебаний в ходе развития рабочих процессов чистовой обработки отверстий. Внешним возмущением при этом могут выступать как силы резания, так и смещения инструмента в процессе обработки.

Разработанные динамические модели осевого инструмента являются основой для совершенствования динамических моделей рабочих процессов при чистовой обработке отверстий для выявления оптимальных соотношений между параметрами режимов резания, обеспечивающих повышение производительности чистовой обработки отверстий осевого инструмента.

# ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСТАЦІОНАРНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

Струтинський С.В., Гуржій А.А.  
(НТУУ «КПІ», НУУ ім. Т. Шевченка, м. Київ, Україна)

В технологічному обладнанні машинобудування часто мають місце нестационарні динамічні процеси у вигляді випадкових векторів. Випадковими векторами є зусилля, що супроводжують процеси різання, сили тертя в приводах періодичної дії, зокрема в гідравлічних і пневматичних. В даний час відсутні надійні методи аналізу подібних процесів. Це пояснюється недостатньою повторюваністю реалізацій даних процесів, наявністю різних змін процесів та широким частотним спектром складових процесів.

В рамках виконаних досліджень запропоновано ефективні методи аналізу нестационарних динамічних процесів у вигляді випадкових векторів. Методи базуються на побудові кластерних моделей окремих реалізацій процесу у вигляді випадкового вектору. Для побудови кластерної моделі використано нейронні мережі у вигляді карт, що само організуються. Дані мережі являються вдосконаленою модифікацією мереж із шарами конкуруючих нейронів (шарів Кохонена). Карты, що само організуються, виявляють в процесі навчання центри кластерів поточних значень реалізацій випадкового вектора. У використаних нейронних мережах нейрони були розташовані у вузлах гексагональної решітки розміром  $5 \times 6$  (всього 30 нейронів).

Знайдені кластерні моделі окремих реалізацій випадкового вектора об'єднані в одну загальну математичну модель. Розглянуто обмежене число реалізацій (не більше 10). Об'єднана кластерна модель по обмеженому числу реалізацій відзначається високою інформативністю тому, що акумулює інформацію про всі особливості кожної окремої реалізації.

Для обробки набору кластерних моделей набору реалізацій випадкового вектора застосовано тензорну статистичну характеристику у вигляді тензора кореляційних моментів. Характеристики кластерної моделі подано у вигляді тензорної поверхні (тензорної кривої), що має еліпсоїдальну форму. Розміри і розташування тензорної поверхні визначають найбільш ймовірні по групам кластерів значення нестационарного динамічного процесу у вигляді випадкового вектора. Проведений аналіз є підставою для висновків про взаємний вплив окремих проекцій випадкового вектора, їх вклад в формування його статистичного середнього значення та про дисперсійні властивості випадкового вектора.

## РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛИТКА

Субботин О.В., Володько Н.И.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Известно, что металл непрерывной разливки более однороден по сечению и высоте заготовки, чем отлитый традиционным способом (в изложницы). Повышенные прочностные и пластические свойства, сопротивляемость усталости, увеличенная на 10...18% ударная вязкость обусловлены меньшим поперечным сечением и интенсивным охлаждением заготовки. Поэтому разработка математической модели затвердевания слитка для определения точных параметров мягкого обжатия является актуальной задачей.

Для описания процесса затвердевания слитка за основу принимается дифференциальное нестационарное уравнение теплопроводности, с учетом выделения теплоты кристаллизации с помощью функции источника тепла, а также при условии неподвижной среды и при постоянных физических свойствах для непрерывнолитого слитка.

Решение такой задачи точными и приближенными аналитическими методами не представляется возможным ввиду ее сложности. Поэтому для определения температурного поля непрерывнолитого слитка необходимо использовать численные методы. Для решения поставленной задачи оптимальным методом будет метод конечных разностей (метод сеток). Для решения дифференциального уравнения использована явная разностная схема.

Разработана программа на языке C++, осуществляющая расчет температурного поля непрерывнолитого слитка по всей его длине. С помощью данной программы можно рассчитать технологические параметры мягкого обжатия. В результате получено распределение температур и доли фазового состояния металла в продольном сечении слитка. Сравнение результатов моделирования с данными, приведенными в литературных источниках, подтвердили адекватность полученной математической модели.

Метод математического моделирования в данной работе позволяет с достаточной точностью получить параметры зоны мягкого обжатия, положение и длину зоны мягкого обжатия, необходимые для определения задеформированности секций мягкого обжатия.

Программа вычисления температурного поля слитка разработана с использованием двумерной задачи нестационарной теплопроводности, что может быть использовано для определения температурных полей блюмов. Полученные данные были положены в основу при разработке практических рекомендаций и корректировке режимов работы секции роликов мягкого обжатия на вертикально-слябовой МНЛЗ.

Таким образом, разработана уточненная математическая модель затвердевания слитка, численное решение которой позволит получить поле температур в поперечном сечении слитка, а следовательно даст возможность более точно получить параметры мягкого обжатия.

# **ТЕХНОЛОГИЯ ЗУБООБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ КОЛЕС ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ С НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫМИ ПОВОРОТНЫМИ ПЛАСТИНКАМИ И ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РОЛИКАМИ**

Тимофеев Ю.В., Мироненко Е.В., Клочко А.А., Шаповалов В.Ф.  
(НТУ «ХПИ», г. Харьков, ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Рассмотрены технологические особенности зубообработки закаленных колес, которые базируются на обеспечении точности обработки, высокой производительности и обеспечения повышения стойкости инструмента с улучшением условий эксплуатации. Для решения технологических условий повышения стойкости формообразующего инструмента разработана конструкция червячных фрез  $m = 10...16$  мм со вставными зубчатыми рейками, несущими поворотные неперетачиваемые твердосплавные пластинки.

Возможность многократного поворота пластинок по мере износа, а также отсутствие в них внутренних напряжений по сравнению с паянными обеспечивают инструменту более высокую суммарную размерную стойкость. Фреза обеспечивает двухстороннее резание, т.е. одновременно обрабатывает обе боковые поверхности зубьев колеса за один проход.

Повышению стойкости инструмента способствуют тангенциальное расположение твердосплавных режущих пластинок и возможность нанесения на пластинки износостойких покрытий.

Вопросы технологического обеспечения качества, точности и производительности изготовления закаленных колес тесно связано с вопросами конструирования инструмента. Выбраны оптимальные схемы резания, инструмент, способы профилирования и кинематика зубообработки, позволяющие получить широкую гамму различных конструкций червячных твердосплавных фрез крупного модуля с поворотными неперетачиваемыми пластинками и твердосплавными роликами, позволяющие существенно экономить расход твердого сплава, облегчить затачивание и перетачивание инструмента, упростить его конструкцию.

По сравнению с зарубежными аналогами фрезы представляют наиболее технологичную конструкцию в изготовлении и позволяют в 3...6 раз сократить расход твердого сплава.

## ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ ТЯЖЕЛЫХ СТАНКОВ

Ткаченко Н.А., Аблашимов В.И.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В современных условиях машиностроительного производства важное значение имеют задачи повышения производительности механической обработки, точности, конкурентоспособности продукции, внедрение ресурсосберегающих технологий. Регламенты эксплуатации инструмента существенным образом влияют на эффективность процесса механической обработки деталей.

На тяжелых станках выполняются различные виды технологических операций, среди которых порядка 94% токарные операции. При обработке крупногабаритных деталей типа тел вращения, таких как валки прокатных станов, валы роторов, корабельные гребные валы, 70% операций связаны со снятием больших припусков. Поэтому определение рациональных условий эксплуатации, стойкости режущих инструментов является актуальной задачей.

Целью работы является повышение эффективности токарных резцов при эксплуатации на тяжелых станках.

Анализ номенклатуры продукции показал, что наиболее часто обрабатываются стали с высоким содержанием хрома и других легирующих элементов, в частности такие как 70X3ГНМФ, 90XФ и др. В настоящее время сокращаются объемы производства прокатных валков с увеличением номенклатуры роторных валов изготовленных из стали 34CrNiMo6 (аналог стали 35X2H2MA), 42CrMo4V (42XГМ) и корабельных гребных валов из стали AiSi4145H (40XГМ).

Исследования проводились при различных режимах резания и геометрии инструмента. Режимы резания изменялись в диапазоне  $V = 50...270$  м/мин,  $S = 0,3...2,5$  мм/об,  $t = 0,3...15$  мм. Количество экспериментов в каждой серии испытаний с одинаковыми условиями резания превышало 12, что обеспечивает достаточно высокую точность полученных результатов. Для уменьшения последствий рассеивания свойств материала пластин все исследования одной серии проводились с использованием одной партии режущих пластин. Эксперименты показали, что с различной интенсивностью изнашивание происходит как по передней, так и по задней поверхностям режущего инструмента. Интенсивность изнашивания непосредственно зависит от геометрии инструмента.

В результате проведенных исследований и анализа условий эксплуатации токарных резцов на тяжелых токарных станках определены оптимальные режимы эксплуатации при обработке на тяжелых токарных станках с прогнозированием стойкости резца, определены поправочные коэффициенты на подачу при эксплуатации сборных токарных резцов.

## ФОРМОУТВОРЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЛОПАТОК ГТД МЕТОДОМ ОБКОЧУВАННЯ

Токунов В.О.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Рішення задачі підвищення ефективності виготовлення лопаток можливо з впровадженням та вдосконаленням прогресивних методів виготовлення лопаток ГТД. Разом з тим, впровадження таких прогресивних методів як вальцювання стримується існуванням невирішених питань формоутворення інструменту для вальцювання лопаток та великою долею ручної праці при виготовленні такого інструменту.

Виготовлення лопаток ГТД без подальшої ручної доводки на верстатах з ЧПК базується на використанні 3D-моделі інструменту, яка в процесі обкочування формує задану поверхню деталі. Побудова такої 3D-моделі не можлива без розробки теоретичних основ проектування інструменту для вальцювання, який працює за методом обкочування. Ця задача в даній статті вирішується на базі основних положень теорії формоутворення. В даному випадку потрібно вирішити задачу проектування інструменту для формоутворення заданої поверхні лопатки (пряма задача).

Необхідний профіль визначається шляхом знаходження точок профілю інструменту спряженого з профілем поверхні лопатки. Умовою існування спряженого профілю є те, що для всіх точок вихідного профілю повинні існувати спряжені з ними точки на профілі, отриманому після обкочування.

Вихідними даними для розрахунку слугує 3D-модель лопатки, з якої визначаються координати профілю повздовжнього перетину лопатки.

Визначення профілю для обробки корита виконуємо в такій послідовності. Виберемо систему координат  $X_1Y_1$ , яка зв'язана з початковою прямою, а відповідно і з заданим профілем лопатки, систему  $X_2Y_2$ , зв'язану з початковим колом, і нерухому систему координат  $X_0Y_0$ . В процесі вальцювання система  $X_1Y_1$  рухається прямолінійно-поступально вздовж початкової прямої, а система  $X_2Y_2$  обертається навколо центру початкового кола. Формули перетворення координат для корита записуються таким чином:

$$\begin{cases} X_2 = (X_1 + r_w t) \cos t - (Y_1 + r_w) \sin t; \\ Y_2 = (Y_1 + r_w) \cos t + (X_1 + r_w t) \sin t \end{cases}$$

В результаті розрахунку отримуємо координати точок профілю, спряженого з відомим повздовжнім перетином лопатки. Валок буде являти собою поверхню, утворену сукупністю профілів, спряжених з повздовжніми перетинами робочої поверхні лопатки.

Для проектування формоутворюючого інструменту для обробки лопаток використані та уточнені закони утворення профілів методом обкочування, на основі яких розроблена математична модель поверхні, спряжена з поверхнею лопатки. Дана модель може бути використана для розробки автоматизованої системи проектування та виготовлення вальців для формоутворення лопаток.

## **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК С ЗАДАНЫМИ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ**

Фесенко А.Н., Фесенко М.А., Мирошниченко Е.А.  
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Литые детали составляют более 60% массы машиностроительной продукции, следовательно, именно они во многом определяют с одной стороны работоспособность, надежность и долговечность механизмов, машин и оборудования, а с другой стороны – экономичность их изготовления и эксплуатации.

В то же время современная промышленность постоянно предъявляет к качеству и свойствам заготовок и деталей все возрастающие требования, что вызывает необходимость изготовления отливок с повышенными механическими и эксплуатационными характеристиками.

Наиболее эффективным направлением улучшения структуры, повышения качества и свойств чугунных отливок является модифицирование расплава. Из существующих способов модифицирующей обработки жидкого чугуна одним из наиболее простых и эффективных является модифицирование расплава внутри литейной формы (INMOLD – процесс).

Внутриформенное модифицирование максимально сближая во времени и в пространстве этапы модифицирования с заливкой литейной формы и с затвердеванием расплава, обеспечивает высокое усвоение модифицирующей добавки и оптимальное структурообразование в отливках и выгодно отличается от других способов модифицирования по технико-экономическим и экологическим показателям, что способствует его широкому распространению, особенно за рубежом, для получения высококачественных чугунных отливок.

В работе предложены и исследованы ресурсосберегающие технологические процессы внутриформенного модифицирования чугуна различными добавками с целью получения отливок с заданной структурой и свойствами, к которым относятся:

- технология получения отливок с однородной структурой и свойствами из высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом;
- технология получения отливок с разной структурой и свойствами в одной литейной форме из одного исходного базового расплава;
- технология получения биметаллических и многослойных отливок с дифференцированной структурой и свойствами в разных частях или слоях из одного базового расплава;
- технология получения отливок с повышенными эксплуатационными свойствами при двойном модифицировании расплава внутри литейной формы;
- технология получения двухслойных и многослойных отливок с дифференцированными свойствами в разных слоях из одного базового расплава методом центробежного литья.

Разработанные технологии позволяют повысить эффективность способов получения высококачественных чугунных отливок с заданным комплексом структуры и свойств, упростить и удешевить процесс, а также улучшить условия труда.

## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ

Цыганаш В.Е., Гермак В.С.  
(ДГМА, г. Краматорск, КНТУ, г. Кировоград, Украина)

Для формирования аналитических основ процесса энергопотребления в гидроприводе большое значение имеют обобщенные законы Кирхгофа. Топологическая организация на основе этих законов, выполненная применительно к электрическим сетям, наиболее полно была исследована Г. Кроном. Существенным в ней является то, что вследствие гибкости топологических моделей, понятие решения не ограничивается численным обращением, т. е. расчетом системы. Это понятие включает в себя и всю полноту математического исследования, позволяет оценить возможность реализации алгоритма адаптивного управления процессами энергопотребления и в гидроприводе. Такой подход, выполненный с учетом баланса мощностей в гидросистеме, позволяет формализовать принцип взаимности и на его основе разработать составной критерий оптимального управления гидроприводом. Характерной чертой этого критерия является то, что он включает аддитивные и мультипликативные составляющие в качестве частных критериев. Последние представлены нормированными значениями мощности, выдаваемой насосом в гидросистему, потерями – гидравлическими, объемными, механическими, тепловыми и мощностью, характеризующей отклонение от оптимального режима в системе. Потери в значительной мере определяются давлением в гидросистеме, что позволяет учитывать их параметрически с помощью модели. Главным достоинством разработанного составного критерия является то, что он характеризует коэффициент использования мощности источника питания (насоса), который может быть представлен не только во временной, но и в фазочастотной области. Это обстоятельство позволяет провести такое расширение оптимизационной задачи, чтобы включить в область допустимых решений и предельные значения основных параметров системы, которые могут быть выражены в виде областей пространства состояний и пространства управлений:  $x \in X_{\text{э}}$ ,  $u \in U_{\text{э}}$ .

Если выход за пределы эксплуатационной области  $X_{\text{э}}$  и  $U_{\text{э}}$ , по крайней мере, в течение ограниченного времени, не ведет к аварийной ситуации, то эксплуатационные области могут быть вложены в области предельных режимов:  $x \in X_{\text{пр}}$ ,  $u \in U_{\text{пр}}$ .

В заключении отметим, что изложенный подход к решению оптимизационной задачи реализован в промышленности пока только для выбора и поддержания оптимального электрического режима в силовых цепях сталеплавильных печей ИСТ-1М и ДСП-12, что позволило сократить время плавки и расход электроэнергии на 5...7%.

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКОЙ

Чигарев В.В., Волков Д.А.

(ПГТУ, г. Мариуполь, ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Известны примеры получения биметаллического инструмента электродуговой и газоплазменной наплавкой быстрорежущей стали на корпус из конструкционной стали, однако они не получили широкого промышленного применения. Это объясняется снижением режущих свойств и механической прочности переплавленной быстрорежущей стали, неоднородным химическим составом наплавленного металла вследствие перемешивания быстрорежущей стали с конструкционной в общей ванночке расплавленного металла и, как следствие, неравномерной твердости и износостойкости режущей части инструмента.

Авторами предлагается технологический процесс изготовления различных видов биметаллического инструмента на основе электроконтактной наплавки металлов, который заключается в том, что на поверхности заготовки из конструкционной стали путем пластической деформации присадочного прутка и тончайшего поверхностного слоя металла заготовки, нагреваемой короткими импульсами электрического тока, образуют слой быстрорежущей стали. Ввиду импульсного термического воздействия процесса наплавки наблюдается неоднородное температурное воздействие на наплавленную быстрорежущую сталь, вследствие чего наплавленная сталь Р6М5 отличается от обычной стали большим в 1,3...1,6 раза количеством дисперсных карбидов, выделяющихся при последующем отпуске. При этом число дисперсных карбидов на основе ванадия возрастает в отпущенном состоянии в 1,5...2,0 раза.

Для устранения данного недостатка проводили многослойную наплавку. Исследования проводились по состояниям после наплавки, отжига, закалки и двукратного отпуска.

В состоянии после наплавки выявлена неоднородность фазового состава по наплавленным слоям, а также аналогичная неоднородность по легированности твердого раствора. Минимальная легированность наблюдается вблизи зоны соединения наплавленного металла с подложкой, максимальная – в наружных слоях. Аустенита в состоянии после наплавки не обнаружено. Фазовое состояние после стандартного двукратного отпуска характеризуется повышенным содержанием карбидных выделений, равномерно распределенных по слоям наплавки, что значительно повышает эксплуатационные характеристики инструмента.

Таким образом, было установлено, что стойкость биметаллических фрез, полученных электроконтактной наплавкой быстрорежущей стали Р6М5 на корпус из стали 50ХФА, в 2 раза больше, чем стойкость цельных фрез из стали Р6М5. Испытания биметаллических фрез диаметром 63 мм, наплавленных сталью Р6М5, проводили так же в сравнении с цельными фрезами из стали Р9К5 при обработке жаропрочных сталей и получили повышение стойкости в 1,5 раза.

## **ЕКОНОМІЧНА ОБҐРУНТОВАНІСТЬ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ ВИРОБНИЧОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПІДПРИЄМСТВА**

Шашко В.О.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Значну роль в ефективному функціонуванні промислового підприємства відіграє його інфраструктура, а точніше – її організація. Обслуговування є невід’ємною частиною єдиного процесу виробництва, тому як складова діяльності підприємства вона є обов’язковою. Питання лише постає в тому, яким чином здійснюється обслуговування підприємства – силами власних структурних підрозділів, силами сторонніх організацій, які надають необхідні послуги, або «змішано», тобто частково власними підрозділами, частково сторонніми організаціями. Саме це питання – вибір раціонального виду організації діяльності підрозділів виробничої інфраструктури – є ключовою управлінською задачею керівників промислових підприємств та їх підрозділів.

Як відомо, обслуговування виробництва, тобто інфраструктурне забезпечення, здійснюється виконанням функцій безпосереднього обслуговування: організація ремонту обладнання, організація транспортного обслуговування, складського господарства, енергозабезпечення, зв’язку, інструментального забезпечення. Ці функції безпосереднього обслуговування реалізуються наданням послуг промислового призначення.

Невідповідність діяльності допоміжних виробництв основній меті спричиняє збитки підприємства. Тому узагальнюючий показник, здатний дати загальну уяву про «внесок» інфраструктурних підрозділів в ефективність діяльності підприємства, повинен відображати загальну величину цих збитків. Зниження збитків буде означати одночасне підвищення ефективності функціонування допоміжних виробництв і, відповідно, дозволить зробити висновок про можливі варіанти організації їх діяльності.

Узагальнюючий показник економічної діяльності допоміжних виробництв повинен відображати наступні збитки, що виникають із вини допоміжних виробництв:

- від перевищення фактичної собівартості одиниці продукції допоміжних виробництв над плановою;
- від зниження обсягів випуску продукції основним виробництвом через простої з вини допоміжних виробництв;
- від збільшення собівартості продукції основного виробництва в результаті неефективної діяльності допоміжних виробництв.

Отже, величина отриманих збитків на одиницю продукції може характеризувати відносний узагальнюючий показник діяльності допоміжного виробництва, який може бути використаний для порівняння по періодах і в міжвиробничому аналізі для прийняття рішення стосовно раціональної форми організації діяльності підрозділів виробничої інфраструктури підприємства.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦИКЛІЧНИХ ДИНАМІЧНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ У ВУЗЛІ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ ТОКАРНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ**

Юрчишин О.Я.  
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Виготовлення деталі із пруткових заготовок є раціональним процесом металообробки. Недоліком даного процесу є низька точність обробки, обумовлена переміщенням заготовки при зміні умов її опирання внаслідок зменшення довжини заготовки.

Підвищення точності обробки досягається поліпшенням умов закріплення заготовки на основі аналізу циклічних статичних і динамічних процесів, що описують деформації заготовки.

Проведені теоретичні розрахунки статичних деформацій заготовки при різних умовах її закріплення і опирання. Показано, що основною причиною похибок є випадкові зміни жорсткості вузла закріплення заготовки. Встановлено вплив окремих параметрів на похибки положення вісі заготовки при її статичних деформаціях.

За допомогою розробленої математичної моделі досліджено вплив коливальних процесів заготовки на показники точності. Математична модель враховує розподіленість параметрів по довжині заготовки при відповідній схемі її закріплення. Модель має вигляд нескінченної кількості паралельно з'єднаних коливальних ланок. Коефіцієнти передачі коливальних ланок пропорційні нормальним формам коливань заготовки як пружної балки з розподіленою масою. Модель придатна для розрахунку пружної вісі заготовки, яка здійснює поперечні коливання. Встановлені характерні особливості вібраційного поля заготовки при поперечних коливаннях. Визначено динамічні моментні навантаження у вузлі закріплення заготовки та динамічні похибки її положення.

Для зменшення статичних і динамічних похибок положення заготовки в зоні різання запропоновано ввести додаткову пружно-дисипативну опору заготовки. Визначено необхідне місце встановлення додаткової опори та її конструктивні параметри.

# ДИНАМИКА УЗЛА ПЛАНШАЙБА-ОСНОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ

Якимчук Г.К., Пливак А.А.  
(НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

При обработке на тяжелых токарно-карусельных, зуборезных и других станках часто встречаются детали и поверхности, имеющие пазы, выступы, шлицы и т.п. При этом режимы обработки имеют прерывистый характер. Аналогичные режимы возникают при обработке чугунных деталей с отбеленным слоем, там, где образуется стружка скалывания и надлома. При этом инструмент входит в металл со своеобразным ударом, воздействие которого следует оценить.

В исследовании на планшайбе  $\varnothing 4000$  мм, как модели для всего ряда гаммы станков диаметром 4000...8000 мм применялось только импульсное воздействие т. к. синусоидальное воздействие в тяжелых станках пока неприемлемо из-за отсутствия специальных вибраторов, а также их большой стоимости.

Импульсное воздействие осуществлялось путем нанесения нормированных ударов по планшайбе и основанию в направлении оси  $Z$  (в центре планшайбы и на краю).

Удар – это передача кинетической энергии испытуемой системе, происходящая в относительно короткое время по сравнению с собственным периодом колебаний этой системы. В большинстве случаев форма импульса не является конечной целью, а скорее способом предварительной оценки эффекта, вызванного ударом в исследуемой системе.

Испытания проводились при всплытии планшайбы на величину зазора в стыке  $h \approx 100$  мкм и без всплытия, т. е. при неподвижной и вращающейся планшайбе соответственно.

Оценивались и другие характеристики узла планшайба – основание и других узлов (здесь не приведены) – портал, суппорт, например, передача колебаний на узлы станка масляным слоем гидростатических направляющих на основание станка в направлении оси  $Z$  в месте выхода приводного вала коробки скоростей привода главного движения. Удар имел такие же параметры как и при воздействии на планшайбу; наблюдались вибрации планшайбы на частотах 80 Гц и 125 Гц с амплитудой 10...12 и 4...10 мкм соответственно.

Колебания в радиальном и касательном направлениях наблюдаются на частоте 7...8 Гц в момент пуска и реверса планшайбы. Амплитуда радиальных колебаний составляет около 10...12 мкм, обусловлены жесткостью радиального подшипника качения. Колебания в касательном направлении (по оси  $Y$ ), амплитуда их на этой частоте составляет 800...1000 мкм, являются по форме – крутильными, обусловленными жесткостью привода главного движения. Они модулированы высокочастотными колебаниями, имеющими такой же спектр как и колебания в вертикальном направлении, но менее интенсивным ( $A \leq 0,6...0,8$  мкм).

## ЗМІСТ

<b>Ковалев В.Д.</b> Концепция экологически эффективного производства продукции тяжелого машиностроения .....	5
<b>Абхари П., Алиева Л.И.</b> Исследование формоизменения в процессах радиального выдавливания .....	6
<b>Азарова Н.В., Сидоров В.А., Цокур В.П.</b> Определение параметров радиальных колебаний круга, возникающих при шлифовании .....	7
<b>Алешинцев П.В., Олейник В.А.</b> Тенденции в развитии приводов исполнительных механизмов землеройных машин .....	8
<b>Алиева Л.И., Мартынов С.В., Акименко И.К.</b> Определение энергосиловых параметров при штамповке втулок .....	9
<b>Альошичев П.В., Ніколаєнко Д.В.</b> Особливості обробки результатів експерименту при дослідженнях процесів руйнування ґрунтів .....	10
<b>Андронов О.Ю., Самара А.О.</b> Підвищення надійності технологічної системи обточування збірними токарними різцями .....	11
<b>Аносов В.Л., Гузенко В.С., Миранцов С.Л.</b> Влияние динамической характеристики процесса торцевого фрезерования на производительность обработки .....	12
<b>Антонюк В.С., Мережаный А.Г.</b> Программно-апаратний комплекс компенсації похибки пружної деформації при токарній обробці валів .....	13
<b>Бабенко С.А., Красовский С.С., Хорошайло В.В., Полупанов В.П.</b> Предварительная диагностика твердосплавных пластин, основанная на методе термоЭДС .....	14
<b>Басова Е.В., Добротворский С.С.</b> Прогнозирование сил резания при высокоскоростной обработке сложной поверхности концевыми фрезами со сферическим концом посредством геометрического анализа .....	15
<b>Бережная Е.В.</b> Перспективные направления снижения затрат на восстановление деталей подъемно-транспортного оборудования, работающих в условиях абразивного износа .....	16
<b>Бережная Е.В., Кассов В.Д., Малыгина С.В.</b> Восстановительная наплавка деталей рабочих органов земснарядов .....	17
<b>Білозьорова В.В., Вітренко О.С.</b> Удосконалення технологічної схеми зубонарізання гіперболоїдного інструмента циліндричним інструментальним колесом .....	18
<b>Білявський М.Л.</b> Проблеми та шляхи підвищення ефективності різання незагартованої сталі інструментами, оснащеними надтвердими матеріалами .....	19

<b>Бондарева Е.Н., Алиева Л.И.</b> Оценка напряженного состояния в процессе сквозной прошивки втулок .....	20
<b>Братан С.М., Ревенко Д.В.</b> Прогнозирование параметров качества обработанной поверхности при комбинированном шлифовании .....	21
<b>Васильченко Я.В., Сукова Т.А., Полунина Л.В.</b> Оперативная оптимизация процесса резания при токарной обработке .....	22
<b>Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Савелова И.К., Савелов Д.В.</b> Моделирование процесса механической обработки крупногабаритных деталей на тяжелом токарном станке .....	23
<b>Веселовська Н.Р.</b> Загальна ієрархічна система критеріїв оцінювання ефективності процесів механічної обробки на верстатних комплексах .....	24
<b>Витренко А.В., Воронов А.Э., Кузнецова М.Н.</b> Развитие формообразования зубчатых колес путем создания нового инструмента .....	25
<b>Витренко А.В., Черноволов В.В., Воронцов С.Б.</b> Компьютерная визуализация геометро-кинематических показателей при использовании гиперболоидных инструментов .....	26
<b>Витренко В.А., Кашура М.А., Кузнецова М.Н.</b> Инструмент для нарезания винтовых зубчатых колес с линейным контактом зубьев .....	27
<b>Вітренко О.С., Білозьорова В.В.</b> Підвищення точності зміцнювальної накатки зубців зубчастих коліс .....	28
<b>Вовк В.В., Золотов О.С.</b> Вплив кутів установки осі сферичних кінцевих фрез на їх кінематичні геометричні параметри .....	29
<b>Водолазская Е.Г., Водолазская Н.В., Искрицкий В.М.</b> Исследование сборочного резьбозавертывающего инструмента с контролем момента затяжки .....	30
<b>Воеводина Т.А., Гринев Ю.А., Царенко Е.Н.</b> Определение статических геометрических параметров сборных сверл с многогранными неперетачиваемыми пластинами .....	31
<b>Володченко В.В., Черненко И.Н.</b> Информационные системы как инструмент повышения эффективности логистики .....	32
<b>Воронцов Б.С., Кашура М.А., Черноволов В.В.</b> Использование теории сплайнов при поверхностном моделировании гиперболоидных инструментов .....	33
<b>Гавриш А.П., Роїк Т.А., Мельник О.О., Віцюк Ю.Ю.</b> Прогнозування траєкторії руху фераабразивного зерна при магніто-абразивному обробленні підшипників друкарських машин на основі міді та нікелю .....	34
<b>Гаков С.О., Придворов А.П.</b> Особливості обробки колісних пар рухомого складу .....	35

<b>Гейчук В.М.</b> Роторні верстати для магнітно-абразивної обробки на базі магнітної системи типу «кільцева ванна»: кінематика обробки задньої поверхні спіральних свердел .....	36
<b>Глоба О.В., Кульбачний О.В.</b> Моделювання процесу різання методом кінцевих елементів в середовищі Deform-3D .....	37
<b>Голуб Д.М., Плис С.Г.</b> Аналіз матеріалів для наплавки штампової оснастки .....	38
<b>Грибков Э.П., Данилюк В.А., Кассов В.Д.</b> Влияние режимов производства порошковой ленты на формирование наплавленного слоя ..	39
<b>Гринь А.Г., Бойко И.А., Пресняков В.А.</b> Повышение обрабатываемости резанием наплавленного металла путем горячей деформации после наплавки .....	40
<b>Гринь О.Г., Свиридов О.В.</b> Склад пресованого порошкового дроту для наплавлення алюмінієвих бронз .....	41
<b>Гупка Б.В., Гупка А.Б.</b> Тертя та зношення при обробці металів різанням. Масштабний чинник .....	42
<b>Гусев В.В., Медведев А.Л.</b> Формирование зазора между притиром и шлифовальным кругом при правке способом свободного абразива .....	43
<b>Гусев В.В., Молчанов А.Д., Семенюк Д.Ю.</b> Обеспечение заданных требований к поверхностному слою изделий из керамики при алмазном шлифовании .....	44
<b>Данильченко Ю.М., Коломієць В.І.</b> Динаміка шпиндельних радіально-упорних кулькових підшипників .....	45
<b>Данильченко Ю.М., Петришин А.І.</b> Динамічний аналіз механічної коливної системи «шпиндельний вузол-основа» .....	46
<b>Дорохов М.Ю., Мартиновська О.В.</b> Розробка методики оцінки показників якості вантажопідйомних машин за допомогою критеріїв подібності .....	47
<b>Залога В.А., Зинченко Р.Н., Гонщик А.В.</b> Современное состояние вопроса об использовании искусственных нейронных сетей и систем нечеткой логики для задач диагностики состояния режущего инструмента ..	48
<b>Залога В.А., Зинченко Р.Н.</b> Системы диагностики состояния режущего инструмента: современное состояние вопроса, трудности применения .....	49
<b>Иванов И.Н., Иванов А.И.</b> Управление параметрами качества внутренних поверхностей деталей машин .....	50
<b>Ивченко Т.Г., Полякова К.В., Витохина Д.В.</b> Исследование тепловых явлений при обработке плоских поверхностей торцовыми фрезами .....	51
<b>Ивченко Т.Г., Шумилина И.К., Король К.О.</b> Повышение эффективности обработки корпусных деталей за счет оптимизации режимов резания .....	52

<b>Кабачкий В.И., Кабачкий А.В., Войнов П.Г.</b> Влияние основных факторов на стойкость против отколов сварных соединений закаливаемых сталей .....	53
<b>Казакова Т.В.</b> Основные подходы к определению допустимой границы форсирования нагрузки при ускоренных испытаниях инструмента .....	54
<b>Калиниченко В.В.</b> Снижение интенсивности изнашивания упрочненного режущего инструмента на основании учета совместного влияния режимов упрочняющей обработки и резания .....	55
<b>Карпуть В.Є., Іванова М.С.</b> Визначення моментів інерції осевого інструмента .....	56
<b>Клименко Г.П.</b> Квалиметрия сборных торцовых фрез .....	57
<b>Клименко Г.П., Денисова А.О.</b> Исследование износостойкости твердосплавных торцовых фрез .....	58
<b>Клименко Г.П., Денисова А.О.</b> К вопросу определения надежности многолезвийного инструмента .....	59
<b>Ковалев В.Д., Жеребятъева А.В., Коваленко В.И., Леонов А.С., Сербина О.В., Кучеренко Н.С.</b> Разработка тяжелого многоцелевого станка с адаптивным управлением для изготовления деталей ветроэнергетических установок .....	60
<b>Ковалев Д.Г.</b> Особенности режимов резания на тяжелых карусельных станках .....	61
<b>Ковалева Л.И., Родин Р.П., Пливак А.А.</b> Исследование геометрических параметров спиральных сверл с заостренной поперечной кромкой и обратным углом наклона поперечной кромки .....	62
<b>Кольцов А.Г., Ляховицкий М.М., Соболев Н.Л., Покрасин М.А., Рошупкин В.В.</b> Экспериментальное исследование физико-механических свойств конструкционной стали ЭП-912 .....	63
<b>Корчак Е.С., Скрипник А.С.</b> Совершенствование систем управления инструментальными манипуляторами кузнечных производств машиностроительных заводов .....	64
<b>Крупко В.Г., Граматний О.І.</b> Обґрунтування навантажень на металоконструкцію стріли драглайна при різних режимах роботи .....	65
<b>Крупко В.Г., Деревянко А.М.</b> Методика оцінки технічного рівня екскаваторів-драглайнів .....	66
<b>Кузнєцов Ю.М., Волошин В.Н.</b> Энергетичний підхід при пошуку принципів затиску інструментів з циліндричним хвостовиком для високошвидкісної обробки .....	67
<b>Кухановський О.В., Глоба О.В.</b> Аналітичний розрахунок навантажень при обробці матеріалу Twintex ступінчастим свердлом та визначення його оптимальних геометричних параметрів .....	68

<b>Куцый Г.М.</b> Підготовка поверхні верстатного обладнання під відновлювальне наплавлення .....	69
<b>Липка В.М.</b> Повышение точности математической модели процесса накатывания наружных резьб на двухроликовых станках .....	70
<b>Лубенец С.В.</b> Повышение долговечности крановых металлоконструкций ...	71
<b>Луців І.В., Лещук Р.Я.</b> Робота напрямних багатолезового верстатного оснащення з адаптивним зв'язком .....	72
<b>Любимый Ю.Н.</b> Исследования кавитационных процессов по характеристикам шума .....	73
<b>Лях П.Ф., Ладыга Д.В.</b> Исследование нагруженности механизмов мостовых кранов горношахтных предприятий .....	74
<b>Майборода В.С., Анисимова А.В.</b> Магнитно-абразивная обработка быстрорежущего инструмента различными порошковыми магнитно-абразивными материалами .....	75
<b>Майданюк С.В.</b> Вплив геометричних параметрів на статичні геометричні параметри різальної частини відрізних фрез з різнонаправленими кромками ...	76
<b>Макаренко Н.А.</b> Повышение служебных характеристик фрез, наплавленных быстрорежущей сталью, методом плазма-МИГ наплавки ..	77
<b>Макаренко Н.А., Богуцкий А.А., Трембач Б.А., Трембач И.А., Грановская Н.А.</b> Восстановление пинолей токарных станков плазма-МИГ наплавкой .....	78
<b>Малыгина С.В., Никитин Н.А., Кукенберг Н.С.</b> Повышение качества изготовления главных балок сварных крановых мостов .....	79
<b>Марков О.Е.</b> Совершенствование производства крупных заготовок для деталей ответственного назначения .....	80
<b>Мартынов А.П., Московцев Н.Н.</b> Выбор соединений с учетом эксплуатационных требований и технологических возможностей .....	81
<b>Мироненко Е.В., Ковалев Д.Г., Онацкий А.И.</b> Исследования динамических характеристик режущего инструмента на тяжелых токарно-карусельных станках .....	82
<b>Мишура Е.В.</b> Проектирование технологических процессов с учетом выбора критериев качества .....	83
<b>Неченаев В.Г., Гнисько А.Н., Мышов М.С., Харламов С.Ю.</b> Классификации стружки по характеру ее деформирования в процессе повторного взаимодействия с инструментом при фрезеровании профильных пазов .....	84
<b>Неченаев В.Г., Гнисько А.Н., Мышов М.С., Харламов С.Ю.</b> Постановка задачи повышения точности фрезерования профильных пазов .....	85

<b>Новиков Н.В., Струтинский В.Б., Кириченко А.Н.</b> Процессы механической обработки на станке-гексаподе с 6-ти координатной системой ЧПУ .....	86
<b>Новоселов Ю.К., Левченко Е.А.</b> Аналитический расчет элементов конструкции боковых поверхностей отрезных кругов .....	87
<b>Олейник С.Ю., Гусев В.В., Калафатова Л.П.</b> Моделирование динамического поведения подсистемы, включающей тонкостенную оболочку вращения, во время алмазно-абразивной обработки .....	88
<b>Пасічник В.А., Чистякова К.Є., Батюк А.А.</b> Дослідження впливу зміни форми передньої поверхні різального клину в середовищі Deform ....	89
<b>Пасічник В.А., Шумаєв С.О.</b> Автоматизація технічного підготовки виготовлення деталі «валок» .....	90
<b>Пацюра А.П.</b> Износ направляющих опор инструмента для обработки глубоких отверстий .....	91
<b>Пегловский В.В., Сидорко В.И., Ляхов В.Н.</b> Выбор рациональных параметров алмазного инструмента при токарной обработке природного камня .....	92
<b>Плис С.Г., Богуцкий А.А., Жариков С.В.</b> Технология изготовления наплавленного режущего инструмента .....	93
<b>Покинтелица Н.И.</b> Показатели качества обработанной поверхности при термофрикционной обработке сталей и влияние параметров режима резания на характер их изменения .....	94
<b>Поколенко Д.В., Калафатова Л.П.</b> Повышение эффективности изготовления изделий из ситаллов за счет совершенствования заготовительных операций .....	95
<b>Полтавец В.В., Цокур В.П.</b> Влияние количества наложений профиля рабочей поверхности шлифовального круга на шероховатость обработанной поверхности .....	96
<b>Полупан И.И.</b> Повышение прочности сборного чашечного инструмента в процессе восстановления колесных пар .....	97
<b>Пономаренко О.В., Кучеренко Н.С.</b> Дослідження роботи гідростатичних шпіндельних опор з адаптивною системою живлення ....	98
<b>Равская Н.С., Липский Е.Р., Скрынник П.В.</b> Моделирование усилий резания при высокоскоростной обработке закаленных сталей концевыми сферическими фрезами .....	99
<b>Равська Н.С., Охріменко О.А.</b> Визначення товщини зрізу при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами зубчастих коліс .....	100
<b>Сазонов С.Е.</b> Управление процессом доводки прецизионных поверхностей .	101

<b>Сергеев З.С.</b> Динамические модели осевого инструмента для чистовой обработки отверстий .....	102
<b>Струтинський С.В., Гуржій А.А.</b> Використання нейронних мереж для визначення статистичних характеристик нестационарних випадкових процесів .....	103
<b>Субботин О.В., Володько Н.И.</b> Расчет температурного поля непрерывнолитого слитка .....	104
<b>Тимофеев Ю.В., Мироненко Е.В., Клочко А.А., Шаповалов В.Ф.</b> Технология зубообработки закаленных колес червячными фрезами с неперетачиваемыми поворотными пластинками и твердосплавными роликами .....	105
<b>Ткаченко Н.А., Аблашимов В.И.</b> Оптимальные условия эксплуатации токарных резцов тяжелых станков .....	106
<b>Токунов В.О.</b> Формоутворення інструменту для обробки лопаток ГТД методом обкочування .....	107
<b>Фесенко А.Н., Фесенко М.А., Мирошниченко Е.А.</b> Ресурсосберегающие технологии получения чугунных отливок с заданными структурой и свойствами .....	108
<b>Цыганаш В.Е., Гермак В.С.</b> Выбор и обоснование метода для разработки системы оптимального управления гидроприводом .....	109
<b>Чигарев В.В., Волков Д.А.</b> Особенности получения биметаллического инструмента электроконтактной наплавкой .....	110
<b>Шашко В.О.</b> Економічна обґрунтованість вибору раціонального виду організації діяльності підрозділів виробничої інфраструктури підприємства .	111
<b>Юрчишин О.Я.</b> Визначення параметрів циклічних динамічних випадкових процесів у вузлі закріплення заготовки токарного автоматизованого комплексу .....	112
<b>Якимчук Г.К., Пливак А.А.</b> Динамика узла планшайба-основание тяжелых карусельных станков при воздействии импульсным методом .....	113

## CONTENT

<b>Kovalov V.D.</b> The concept of eco-efficient production of heavy engineering ..	5
<b>Abhari P., Alieva L.I.</b> Deformation research in the radial extrusion processes ..	6
<b>Azarova N.V., Sidorov V.A., Tsokur V.P.</b> Determination of radial oscillations' parameters of the grinding wheel during abrasion .....	7
<b>Aleshichev P.V., Oleinik V.A.</b> Trends in actuator's drive of earth moving machines .....	8
<b>Aliev L.I., Martynov S.V., Akimenko I.K.</b> Definition of the energy-power parameters at stamping sleeves .....	9
<b>Aleshichev P.V., Nikolaenko D.V.</b> Features of working out the experiment results to study the ground failure process .....	10
<b>Andronov O.Yu., Samara A.O.</b> Improving of technological system reliability by turning with combined turning cutters .....	11
<b>Anosov V.L., Guzenko V.S., Mirantsov S.L.</b> Dynamic characteristics influence of the face milling process on the processing performance .....	12
<b>Antoniuk V.S., Merezhan'y A.G.</b> Hardware-software complex of compensation of elastic deformation errors in shaft turning .....	13
<b>Babenko S.A., Krasovskiy S.S., Khoroshailo V.V., Polupanov V.P.</b> The preliminary diagnostics of hard-alloy plates grounded on the thermo electromotive force method .....	14
<b>Basova E.V., Dobrotvorsky S.S.</b> Prediction of cutting forces in a complex surface high speed cutting by ball-end-mills due to geometrically analysis .....	15
<b>Berezshnaya E.V.</b> Trends of expenses decline to details renewal of the lifting-transport equipment, working in the conditions of abrasive wear ...	16
<b>Berezshnaya E.V., Kassov V.D., Malygina S.V.</b> Restoration details deposition of working organs of hydraulic dredgers .....	17
<b>Belozjorova V.V., Vitrenko O.S.</b> Perfection of teeth-cutting of hyperbola instrument technological scheme by cylindrical tool-wheel .....	18
<b>Beliaovskiy M.L.</b> Problems and ways of cutting efficiency increase of non-tempered steels by instrument equipped with super hard materials ....	19
<b>Bondareva E.N., Alieva L.I.</b> Evaluation of stress state in the sleeves cross-cutting process .....	20
<b>Bratan S.M., Revenko D.V.</b> Prediction of surface quality by combined grinding .....	21
<b>Vasilchenko Y.V., Sukova T.A., Polunina L.V.</b> Operational optimization of the turning cutting process .....	22
<b>Vasilchenko Y.V., Shapovalov M.V., Savelova I.K., Savelov D.V.</b> Modeling of the large parts machining on a heavy lathe .....	23

<b>Veselovska N.R.</b> General hierarchical system of criteria for evaluating the machining efficiency in machines complex .....	24
<b>Vitrenko A.V., Voronov A.E., Kuznetsova M.N.</b> Development of gear wheel teeth shape formation by new instrument creating .....	25
<b>Vitrenko A.V., Chernovolov V.V., Vorontsov S.B.</b> Computer visualization of geo-kinematic parameters using hyperboloid tools .....	26
<b>Vitrenko V.A., Kashura M.O., Kuznetsova M.N.</b> Instrument for cutting helical gear wheels with linear contact teeth .....	27
<b>Vitrenko O.S., Belozjorova V.V.</b> Increase of teeth knurling strengthening precision .....	28
<b>Vovk V. V., Zolotov O.S.</b> Influence of the axis alignment of the spherical end mills on their kinematic parameters .....	29
<b>Vodolazskaya E.G., Vodolazskaya N.V., Iskritsky V.M.</b> Research of the assembly thread screwing tool with control of the tightening torque .....	30
<b>Voevodina T.A., Grinyov Y.A., Tsarenko E.N.</b> Determination of static geometric parameters combined drills with multidimensional nonresharpened plates .....	31
<b>Volodchenko V.V., Chernenko I.N.</b> Information systems by means of increasing the logistics efficiency .....	32
<b>Vorontsov B.S., Kashura M.A., Chernovolov V.V.</b> Using the theory of splines in the surface modeling of hyperboloid tools .....	33
<b>Gavrish A.P., Roik T.A., Melnik O.O., Vitsuk U.U.</b> Prognostics of ferroabrasive grain' motion path at the magnetic abrasive treatment of printing machines' bearings on the base of copper and nickel .....	34
<b>Gakov S.O., Prydvorov A.P.</b> Features of wheel set processing .....	35
<b>Geychuk V.M.</b> Rotor machines for magnetic-abrasive processing based on magnetic type system «ring bath»: kinematics of twist drills back surface processing .....	36
<b>Globa A.V., Kulbachny A.V.</b> Modeling of cutting by the method of finite elements in Deform-3D .....	37
<b>Golub D.M., Plis S.G.</b> Analysis of materials for punching tooling .....	38
<b>Gribkov E.P., Danilyuk V.A., Kassov V.D.</b> Influence of the modes of powder ribbon production on deposited layer forming .....	39
<b>Grin A.G., Boyko I.A., Presniakov V.A</b> Improved of weld metal machinability by hot deformation after welding .....	40
<b>Grin A.G., Soyrydov O.V.</b> Composition of the remolded powder wire for a building-up welding of al-bronzes .....	41
<b>Hupka B.V., Hupka A.B.</b> Friction and wearing under the metal cutting. Major factor .....	42

<b>Gusev V.V., Medvedev A.L.</b> Formation of the gap between lapping and grinding wheel by dressing for free-abrasive method .....	43
<b>Gusev V.V., Molchanov A.D., Semeniuk D.Yu.</b> Provision of specified requirements to the surface layer of ceramics at diamond grinding .....	44
<b>Danilchenko Y.M., Kolomiets V.I.</b> Dynamics of spindle bearing ball bearings .....	45
<b>Danilchenko Y.M., Petryshyn A.I.</b> Dynamic analysis of mechanical oscillate system «spindle unit – basis» .....	46
<b>Dorokhov M.Y., Martynovskaya A.V.</b> Developing the methodics for evaluating quality of lifting machinery by similarity .....	47
<b>Zaloga V.A., Zinchenko R.N., Gonshik A.V.</b> Current problem state using of artificial neural networks and fuzzy logic system for diagnosis of cutting tools problems .....	48
<b>Zaloga V.A., Zinchenko R.N.</b> System cutting tool diagnostics: current problem state, difficulty of using .....	49
<b>Ivanov I.N., Ivanov A.I.</b> Management of quality parameters of machine parts internal surfaces .....	50
<b>Ivchenko T.G., Polyakova K.V., Vitohina D.V.</b> Investigation of thermal effects during the processing of flat surfaces by face cutters .....	51
<b>Ivchenko T.G., Shumilina I.K., Korol K.O.</b> Improving of the efficiency processing of basic parts by cutting optimizing .....	52
<b>Kabatsky V.I., Kabatsky A.V., Voinov P.G.</b> Main factors influence on welds resistance of compound quenched steels .....	53
<b>Kazakova T.V.</b> Basic approaches to determining permissible load limits under forcing acceleration test tools .....	54
<b>Kalinichenko V.V.</b> Wear intensity decline of the strengthened cutting tool on the basis of joint influence of strengthening treatment and cutting modes .....	55
<b>Karpus V.E., Ivanova M.S.</b> Defining moments of inertia axial tool .....	56
<b>Klimenko G.P.</b> Qualimetry of combined face cutters .....	57
<b>Klimenko G.P., Denisova A.O.</b> Investigation of wear resistance of hard-alloy face mills .....	58
<b>Klimenko G.P., Denisova A.O.</b> On determining the reliability of multiblade tool .....	59
<b>Kovalov V.D., Zherybateva A.V., Kovalenko V.I., Leonov A.S., Serbina O.V., Kucherenko N.S.</b> Development of heavy multi-machine with adaptive control for the manufacture of wind turbines parts .....	60
<b>Kovalov D.G.</b> Features of the cutting on heavy vertical lathes .....	61

<b>Kovalova L.I., Rodin R.P., Plivak A.A.</b> Research of geometrical parameters of spiral drills with sharp chisel edge and reverse angle of chisel edge slope .....	62
<b>Koltsov A.G., Lyakhovitskii M.M., Sobol N.L., Pokrasin M.A., Roshchupkin V.V.</b> Experimental study of mechanical properties of structural steel EP-912 .....	63
<b>Korchak E.S., Skripnik A.S.</b> Improvement of tool manipulator management in forging engineering works .....	64
<b>Krupko V.G., Gramatny O.I.</b> Ground stresses in dragline iron arrow at different work modes .....	65
<b>Krupko V.G., Derevianko A.M.</b> Assessment methods of excavators-dragline technical level .....	66
<b>Kuznetsov Y.M., Voloshin V.N.</b> Energy approach in search of clam principles of tools with cylindrical shank for high-speed treatment .....	67
<b>Kuhanovsky O.V., Globa O.V.</b> Analytical load calculation for treatment of material «Twintex» by step drills and determination of the optimum geometric parameters .....	68
<b>Kushiy G.M.</b> Preparation of surface machining equipment for the surfacing replacement .....	69
<b>Lipka V.M.</b> The accuracy improving of the mathematical model of the rolling threaded process on sliding machines .....	70
<b>Lubenets S.V.</b> The reliability improving of steel crane .....	71
<b>Lutsiv I.V., Leshchuk R.Y.</b> The guides work of the multiblade machinery with adaptive equipment .....	72
<b>Lubimiy Y.N.</b> Research of cavitation processes by the noise characteristics .....	73
<b>Lyah P.F., Ladyga D.V.</b> Research of overhead cranes mechanisms loading of mining works .....	74
<b>Maiboroda V.S., Anisimova A.V.</b> Magnetic-abrasive treatment with HSS tools of various powder magnetic abrasive materials .....	75
<b>Maydanyuk S.V.</b> Geometric parameters influence on static geometric parameters of cutting edge cutters with multi-directional edge .....	76
<b>Makarenko N.A.</b> Increase of mills auxiliary performances welding by red-hard steel with the aid of the plasma-MIG welding method .....	77
<b>Makarenko N.A., Bogutskij A.A., Trembach B. A, Trembach I.A., Granovskaja N.A.</b> Restoration of lathes pintles by the plasma-MIG welding .....	78
<b>Malygina S.V., Nikitin N.A., Kykenberg N.S.</b> Quality increase of main beams producing of the weld-fabricated faucet bridges .....	79

<b>Markov O.E.</b> Production improving of the large blanks for responsible appointment details .....	80
<b>Martynov A.P., Moskovtsev N.N.</b> Assembly choosing by means of operational requirements and technological possibilities .....	81
<b>Mironenko E.V., Kovalov D.G., Onatsky A.I.</b> Study of the cutting tool dynamic characteristics on the heavy turning lathe .....	82
<b>Mishura E.V.</b> Design of technological process with the choice of quality criteria .....	83
<b>Nechepaev V.G., Gnitko A.N., Myshov M.S., Kharlamov S.Yu.</b> Chip classification by deformation character during repetitive interaction with the tools while milling profile grooves .....	84
<b>Nechepaev V.G., Gnitko A.N., Myshov M.S., Kharlamov S.Yu.</b> The problem of the accuracy increasing of profile grooves milling .....	85
<b>Novikov N.V., Strutinsky V.B., Kirichenko A.N.</b> Machining on the Hexapod with 6-coordinate NC-System .....	86
<b>Novoselov Yu.K., Levchenko E.A.</b> Analytical design elements calculation of the cut-off wheels edge .....	87
<b>Olejnik S.Yu., Gusev V.V., Kalafatova L.P.</b> Modeling of the dynamic behavior of the subsystem including thin-walled shell rotation during the diamond-abrasive processing .....	88
<b>Pasichnik V.A., Chistyakova K.E., Batyuk A.A.</b> Form changes study of cutting edge front surface in the Deform .....	89
<b>Pasichnik V.A., Shumayev S.O.</b> The automation of manufacturing preparation of «shaft» details .....	90
<b>Patsiora A.P.</b> The guiding pads wearing of tools for the deep holes drilling ..	91
<b>Peglovsky V.V., Sidorko V.I.</b> The rational choice of the diamond tools parameters for natural stone turning .....	92
<b>Plis S.G., Bogutskiy A.A., Zharikov S.V.</b> Technology for hard-faced cutting tool manufacturing .....	93
<b>Pokintelitsa N.I.</b> Indicators of surface quality at termofriction steel treatment and influence of cutting parameters on the character of their changes .....	94
<b>Pokolenko D.V., Kalafatova L.P.</b> The efficiency improving of sitall production through improved harvesting operation .....	95
<b>Poltavets V.V., Tsokur V.P.</b> Effect of overlay profile of the grinding wheel working surface on the machined surface roughness .....	96
<b>Polupan I.I.</b> Hardening of combined cup tool in renewal process of wheel pairs .....	97

<b>Ponomarenko O.V., Kucherenko N.S.</b> Investigation of hydrostatic spindle bearing working with adaptive power system .....	98
<b>Ravskaya N.S., Lipskiy E.R., Skrynnyk P.V.</b> Modeling forces in high-speed cutting hardened steel by ball end mills .....	99
<b>Ravskaya N.S., Okhrimenko O.A.</b> Stock thickness determination during gear-wheels milling by hobs .....	100
<b>Sazonov S.E.</b> Process management of precision surfaces lapping .....	101
<b>Sergeechev Z.S.</b> Dynamic models of axial tool for holes finishing .....	102
<b>Strutinsky S.V., Gurzhiy A.A.</b> Using of neural networks for statistical characteristics of stationary random processes .....	103
<b>Subbotin O.V., Volodko N.I.</b> The temperature field calculation of continuous casting ingot .....	104
<b>Timofeev Yu.V., Mironenko E.V., Klochko A.A., Shapovalov V.F.</b> Technology of gear treatment of hardened wheel by hobs with non-resharpened rotary plate and solid rollers .....	105
<b>Tkachenko N.A., Ablashimov V.I.</b> Optimum operating conditions of heavy lathe tools .....	106
<b>Tokunov V.A.</b> Tool shaping for blades machining of GTD by the rolling method .....	107
<b>Fesenko A.N., Fesenko M.A., Miroshnichenko E.A.</b> Resource-saving technology of iron castings with a given structure and properties .....	108
<b>Tsyhanash V.E., Hermak V.S.</b> Choice and basing of the method for the hydraulic drive optimum control development .....	109
<b>Tchigarev V.V., Volkov D.A.</b> Peculiarities of bimetallic tool obtaining by electrocontact welding .....	110
<b>Shashko V.A.</b> Cost-effectiveness of management type choice of the company's infrastructure activity .....	111
<b>Yurchushun O.Ya.</b> Cycle parameters definition of dynamic random processes in support unit billets of turning automated complex .....	112
<b>Jakimchuk G.K., Plivak A.A.</b> The dynamic of the node faceplate-base of heavy lathe at the impulse method impact .....	113

Scientific publication

**HEAVY ENGINEERING.  
PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT**

**M A T E R I A L S**  
of the IX International  
scientific and technical conference

Recommended for publication by the Scientific Council of DSEA,  
minutes №8 dated April 21, 2011

Signed print 26.05.2011  
Conv.-printed sheets 8,0.  
Circulation of 100 copies

Paper size 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Accont.-publ. sheets 5,82.  
Order №53

---

Publisher and manufacturer  
"Donbas state engineering academy"  
Ukraine, 84313, Kramatorsk, Shkadinova str., 72  
Certificate of registration of the subject of publishing activities in the State Register  
ДК №1633 dated 24.12.2003

Наукове видання

# **ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

## **МАТЕРІАЛИ ІХ Міжнародної науково-технічної конференції**

Рекомендовано до друку вченою радою ДДМА,  
протокол №8 від 21.04.2011

Підп. до друку 23.05.2011  
Ум. друк. арк. 8,0.  
Тираж 100 прим.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Обл.-вид. арк. 5,82.  
Зам. №53

---

Видавець і виготівник  
"Донбаська державна машинобудівна академія"  
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру  
ДК №1633 від 24.12.2003