

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

ШКІРА ОЛЕКСІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ



УДК 621.777.4:621.77.01

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ФЛАНЦЕМ ТА ВІДРОСТКОМ
НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СПОСОБІВ
КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Краматорськ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донбаській державній машинобудівній академії (ДДМА, м. Краматорськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Алієв Іграмотдин Серажутдінович,
Донбаська державна машинобудівна академія
Міністерства освіти і науки України
(м. Краматорськ), завідувач кафедри «Обробка металів тиском».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Грушко Олександр Володимирович,
Вінницький національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, професор кафедри опору матеріалів та прикладної механіки.

кандидат технічних наук, доцент
Левченко Володимир Миколайович,
Національний технічний університет «ХПІ»
Міністерства освіти і науки України, (м. Харків), доцент кафедри «Обробка металів тиском».

Захист відбудеться «2» грудня 2016 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.01 з захисту дисертацій Донбаської державної машинобудівної академії: 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна (Шкадінова) 72, ауд. 1319.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна (Шкадінова), 72.

Автореферат розісланий «28» жовтня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 12.105.01
кандидат технічних наук, доцент



Ю.К. Доброносів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основним завданням машинобудівного виробництва в сучасних умовах високої конкуренції є випуск високоякісної продукції з мінімальними витратами. Практичній реалізації цих актуальних вимог сприяє застосування ресурсозберігаючих процесів заготівельного виробництва, зокрема точного об'ємного штампування (ТОШ).

Фасонні вироби складної конфігурації, широко поширені в промисловості та виготовляються поетапно способами ТОШ, в тому числі видавлюванням. Для цих процесів характерні високі питомі навантаження на інструмент і обмеження номенклатури виробів. Для зниження зусиль деформування при простому видавлюванні збільшують кількість переходів, знижують сили тертя та площу контакту інструменту з заготовкою. Крім того, для зниження сили деформування, застосовують способи локального та комбінованого деформування.

Для деталей складної форми перспективним є спосіб комбінованого тристороннього видавлювання. Цей спосіб дозволяє значно знизити зусилля деформування, і як наслідок, збільшити стійкість інструменту. Також зменшується кількість переходів, завдяки чому зменшується кількість штампного оснащення і відповідно знижується собівартість продукції. Проте, незважаючи на переваги застосування цього способу на практиці штампувального виробництва, його практична розробка і освоєння вимагає значних витрат на технологічну підготовку, так як пошук раціональних режимів проведення технологічних операцій вимагає трудомістких експериментальних робіт з відпрацювання технологій. Це пов'язано з відсутністю технологічних рекомендацій і методик проектування, і вибору технологічних режимів деформування з декількома ступенями свободи течії матеріалу. Нестача таких рекомендацій відчувається також при розробці процесів видавлювання деталей типу втулок з фланцем і осьовим відростком. Тому існує необхідність проведення теоретичних і експериментальних досліджень для поповнення існуючих пробілів і створення науково-обґрунтованих методик проектування процесів видавлювання деталей даного типу способом комбінованого тристороннього видавлювання.

Виходячи з вищевикладеного, тема дисертаційної роботи, присвяченої удосконаленню технологічних процесів холодного об'ємного штампування деталей з фланцем і відростком на основі застосування способів комбінованого тристороннього видавлювання, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами. Тема дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки в Україні «Нові речовини та матеріали» (Закон України №2519-IV від 9 вересня 2010 року) та науковому напрямку «Розвиток ресурсозберігаючих процесів обробки тиском на основі створення нових технологічних способів і методик аналізу і закономірностей пластичного деформування» наукової школи ОМТ Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА). Робота виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР), передбачених планами Міністерства освіти і науки України та виконаних на кафедрі ОМТ ДДМА (роботи 0115U004736,

0110U000112), а також в рамках договірних науково-дослідних робіт з рядом підприємств (автор брав участь у всіх темах як виконавець).

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є підвищення ефективності технологічних процесів холодного об'ємного штампування на основі розробки та застосування способів комбінованого видавлювання, які сприяють розширенню технологічних можливостей процесу виготовлення деталей з фланцем та відростком та зниженню енергосилових параметрів.

Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені і вирішені наступні основні задачі:

- виконати аналіз тенденцій і шляхів удосконалення процесів видавлювання деталей різної конфігурації і способів, та оснащення холодного видавлювання;

- виконати теоретичний аналіз силового режиму процесів комбінованого тристороннього видавлювання деталей з фланцем і відростком з урахуванням впливу геометричних параметрів процесу та отримати аналітичні залежності енергосилових параметрів;

- виконати теоретичний аналіз напружено-деформованого стану, формозміни заготовки і її деформівності при радіально-зворотно-прямому видавлюванні, визначити фактори, що впливають на параметри формозміни і отримати аналітичні залежності енергосилових параметрів від геометричних розмірів інструменту;

- на основі експериментальних досліджень технологічних режимів тристороннього видавлювання перевірити адекватність математичних моделей і припущень, прийнятих при теоретичному аналізі процесу, а також встановити можливості технологічних схем штампування;

- розробити методики і рекомендації з проектування технологічних процесів комбінованого тристороннього видавлювання і конструювання штампового оснащення;

- розробити методики і рекомендації з проектування технологічних процесів комбінованого тристороннього видавлювання і конструювання штампового оснащення;

- розробити процеси точного об'ємного штампування деталей з фланцем і відростком на основі використання радіально-зворотно-прямого видавлювання.

Об'єкт дослідження. Процеси точного об'ємного штампування видавлюванням.

Предмет дослідження. Закономірності і режими формозміни деталей з фланцем і відростком при комбінованому тристоронньому видавлюванні.

Методи дослідження. В основу теоретичних досліджень покладено енергетичний метод балансу потужностей (ЕМ) та метод скінчених елементів (МСЕ), реалізований у спеціалізованих програмних комплексах.

Експериментальні дослідження процесу проводилися з використанням методів фізичного моделювання і тензометрії для вимірювання технологічних сил, методу координатних сіток для визначення деформованого стану заготовок.

Для обробки масиву даних, отриманого математичним експериментом, використовувалися методи статистики.

Наукова новизна отриманих результатів.

- вперше енергетичним методом балансу потужностей, на основі запропонованих кінематично можливих полів швидкостей, розроблена математична модель процесу комбінованого тристороннього видавлювання деталей з фланцем і відростком, що дозволяє визначити силовий режим деформування і поетапне формоутворення складнопрофільованих деталей;

- вперше на основі методу скінчених елементів встановлені закономірності формозміни при комбінованому тристоронньому видавлюванні деталей з фланцем і відростком, які дозволяють прогнозувати зміну розмірів деталі, яка штампується, в залежності від ступеня деформування і геометричних параметрів перехідних ділянок інструменту;

- на основі результатів аналізу напружено-деформованого стану та феноменологічної теорії деформованості дана оцінка ступеня витрати ресурсу пластичності матеріалу заготовки при видавлюванні порожнистих деталей з фланцем і відростком і встановлені небезпечні з точки зору руйнування зони, розташовані на периферії фланця і на ділянці між перехідними кромками інструменту;

- отримали подальший розвиток уявлення про закономірності протікання процесу радіально-прямого видавлювання, дозволили обґрунтувати та запропонувати спосіб видавлювання деталей з фланцем і відростком з зворотно-поступальною течією металу в відросток, який сприяє зниженню нерівномірності деформованого стану деталі.

Практичне значення отриманих результатів. На основі встановлених закономірностей силового і деформаційного режимів розроблені методики проектування технологічного процесу тристороннього видавлювання деталей з фланцем і відростком, що дозволяє знизити витрати на технологічну підготовку.

На основі математичних моделей розроблено програмне забезпечення, що дозволяє визначити приведенний тиск і формозміну в процесах тристороннього видавлювання деталей з фланцем і відростком з урахуванням реальної геометрії процесу та ступеня деформації.

Запропоновано спосіб отримання деталі типу стакан з підвищеними показниками проробки структури застійної зони в центральній частині заготовки на основі регулювання кінематики руху інструменту і знакозмінної деформації. Новизна запропонованого способу підтверджена патентом України.

Запропонована конструкція штампу для здійснення процесу комбінованого тристороннього видавлювання на пресах подвійної дії. Отримані технологічні рекомендації з тристороннього комбінованого видавлювання передані для промислового освоєння промислового освоєння на АТ «Мотор Січ».

Особистий внесок здобувача.

Внесок автора полягає в обґрунтуванні та вирішенні теоретичних завдань з визначення напружено-деформованого стану, формозміни і деформованості заготовки. При проведенні досліджень автору належить вибір і розробка методик досліджень, проведення теоретичного аналізу процесів комбінованого тристороннього видавлювання, створення програмного забезпечення, підготовка та проведення експериментів, аналіз та узагальнення отриманих результатів, розробка нових технологій і практичних рекомендацій.

Внесок здобувача в роботах, опублікованих разом зі співавторами, представлений в анотаціях до списку опублікованих робіт за темою дисертації.

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідалися на всеукраїнських і міжнародних науково-технічних конференціях (МНТК): XVI–XIX МНТК «Досягнення та проблеми розвитку технологій і машин обробки тиском», м. Краматорськ, 2013–2016 рр.; Літня школа «Компьютерное моделирование и прототипирование в металлургическом и заготовительных производствах», м. Москва (МАМІ), 2013 р.; X–XII Міжнародна НТК «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку», м. Краматорськ, 2013–2015 рр.; Всеукраїнська НТК молодих фахівців «Енергомашспецсталь 2013», м. Краматорськ, 2013 р.; XIV Міжнародна НТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», м. Севастополь, 2013 р.; I Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу», м. Херсон, 2015 р., а також на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу ДДМА (2012–2016 рр.) і об'єднаному науковому семінарі з ОМТ ДДМА (2016 р.).

Публікації. Матеріали і основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 14 роботах з наукової тематики, з них 6 статей у спеціалізованих виданнях, 1 – у закордонному журналі, 6 робіт у збірниках за матеріалами НТК. Отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 7 додатків. Загальний об'єм роботи 246 сторінки, в тому числі 125 сторінок основного тексту, 111 рисунків та 18 таблиць, список використаних джерел з 184 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми, показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами. Сформульовано мету і задачі дослідження, дана характеристика об'єкта, предмета та методів дослідження. Відзначено особистий внесок здобувача, показані наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, а також їх апробація.

У першому розділі розглянуто сучасні тенденції та шляхи розвитку технологій точного об'ємного штампування видавлюванням. Технології точного об'ємного штампування є ресурсозберігаючими, застосування яких забезпечує економічність процесу і високу якість виробу. Аналіз існуючих способів холодного об'ємного штампування (ХОШ) показав, що основними обмеженнями для даних процесів є високі питомі навантаження на інструмент, низька пластичність матеріалів і недостатня точність складнопрофільованих деталей, обумовлена багатоперехідністю процесу.

Виявлено, що у сучасному виробництві отримали широке розповсюдження деталі з фланцем та відростком. Подібні деталі доцільно виготовляти методами комбінованого тристороннього видавлювання, зважаючи на те, що прості процеси отримання подібних деталей способами зворотного, прямого та послідовного радіально-прямого, радіально-зворотного видавлювання потребують

більшої кількості переходів та оснащення, і мають менш сприятливу схему напруженого стану.

Дослідження, виконані в наукових школах ВНЗ України, таких як НТУ «КПІ», НТУ «ХПІ», ВНТУ, НМетАУ, ДДМА та ін., показали доцільність застосування процесів ХОШ при виготовленні складнопрофільованих виробів. Результати досліджень описують НДС, силовий режим та деформівність заготовки в простих схемах видавлювання, що дає недостатнє уявлення про закономірності формоутворення в процесах з кількома напрямками течії матеріалу.

У даний час є ряд теоретичних рішень для процесів холодного видавлювання деталей, отриманих інженерним методом і методом скінчених елементів, які дозволяють визначати силові режими процесів і напружено-деформований стан заготовки. Однак, вирішення задач комбінованого тристороннього видавлювання в силу своєї складності практично не реалізовано, що спричинило брак рекомендацій по проектуванню технологічних процесів. Проведено аналіз існуючих конструкцій штампів для штампування деталей складної конфігурації, виявлено їх особливості і обмеження, встановлений брак рекомендацій по їх проектуванню, які дозволили б реалізувати на практиці процес тристороннього видавлювання. В результаті аналізу попередніх досліджень встановлено, що, не дивлячись на наявність рішень щодо визначення силового режиму і НДС заготовки в процесах видавлювання деталей складної конфігурації, залишається актуальним питання уточнення цих рішень щодо процесів комбінованої течії. Потрібна оцінка ступеня вичерпання ресурсу пластичності і закономірностей формоутворення при видавлюванні деталей з фланцем та відростком.

На підставі аналітичного огляду поставлені мета і завдання дослідження.

У другому розділі виконано вибір напрямку і методів теоретичного та експериментального досліджень штампування деталей з фланцем та відростком.

Для теоретичного аналізу обрано метод скінчених елементів (програма QForm 2D, DeForm 3D) та енергетичний метод балансу потужностей на основі модульного підходу в побудові та описі кінематично можливих полів швидкостей. Також використано метод планування експерименту і регресійний аналіз для обробки даних, отриманих скінчено-елементним моделюванням. Для оцінки вичерпання ресурсу пластичності на основі феноменологічної теорії деформівності використано критерій Огороднікова В. А.

Для експериментальних досліджень розроблене і виготовлене універсальне експериментальне оснащення, що дозволяє здійснювати комбіноване тристороннє видавлювання з різними геометричними параметрами інструменту. Зразки діаметрами 28,2 мм, 36 мм і 45 мм виготовлялися з матеріалів: свинцевого сплаву С1 + 2%Sb, алюмінієвих сплавів АД1 і АД31. В якості мастила для алюмінієвого сплаву використовувався баранячий жир, для свинцю мінеральне масло И-20А. Експериментальні дослідження процесів штампування проводилися з використанням методу фізичного моделювання для вимірювання технологічних сил і методу координатних сіток для визначення деформованого стану заготовок. Для перевірки отриманих результатів експериментальних досліджень використовувалися методи математичної статистики.

У третьому розділі представлено результати теоретичного аналізу процесу комбінованого тристороннього видавлювання деталі з фланцем та відростком. Запропоновані кінематично можливі поля швидкостей (КМПШ) трапецеїдальної форми для перехідних кромки верхньої і нижньої матриць, що дозволило дати оцінку силових характеристик видавлювання з урахуванням реальної геометрії інструменту. Енергетичним методом балансу потужностей отримано чисельні залежності приведенного тиску деформування $\bar{p} = p / \sigma_s = f(\bar{R}_1, \bar{R}_n, \bar{R}_k, \bar{R}_o, \bar{R}_m, \bar{h}_i, \alpha, \beta, \gamma)$ в залежності від відносних параметрів процесу (відносного радіуса матриці): \bar{R}_1 – відносного радіуса фланця R_1 , \bar{R}_n – відносного радіуса пуансона R_n , \bar{R}_k – відносного критичного радіуса R_k , \bar{R}_o – відносного радіуса відростка, R_o , \bar{h}_i – відносних висот ділянок деталі h_i , α, β, γ – кутів скосу інструмента для схеми з прямокутними модулями (рис. 1, а) і для схеми, яка враховує фаски на інструменті (див. рис. 1, б).

При комбінованому тристоронньому видавлюванні спостерігається наявність двох осередків деформації: верхній осередок деформації, сформований зворотним плином матеріалу, і нижній осередок деформації радіально-прямої течії. Особливістю радіально-прямого видавлювання є наявність границі розділу течії матеріалу в двох напрямках, яка описується варійованим параметром – радіусом R_k .

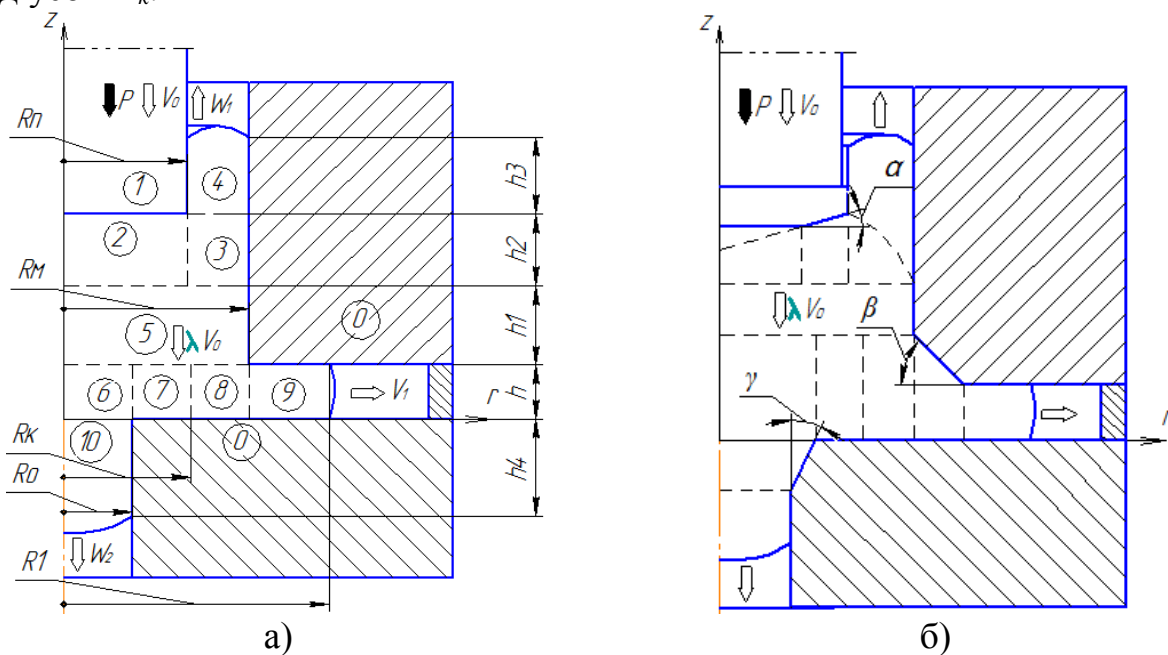


Рисунок 1 – Розрахункові схеми комбінованого видавлювання

Для схеми видавлювання в інструменті без фасок встановлені оптимальні значення радіуса $R_k = R_o + t \cdot (R_m - R_o)$, де параметр t , який визначає положення границі розділу течії матеріалу дорівнює 0,23 (рис. 2, а). Для схеми видавлювання в інструменті з фасками на перехідних кромках $R_k = R_o \cdot (1 + tg\gamma) + t \cdot (R_m - R_o \cdot (1 + tg\gamma))$ при значенні параметра t , що дорівнює 0,25 (див. рис. 2, б).

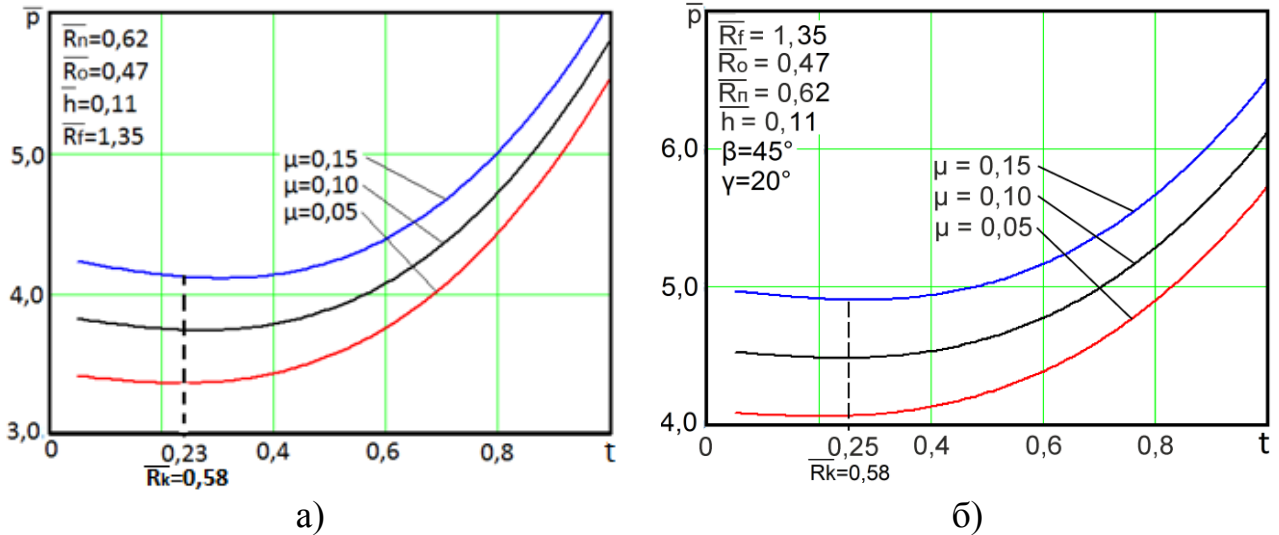


Рисунок 2 – Графіки залежності приведенного тиску видавлювання від параметру розділу течії матеріалу для схем тристороннього видавлювання без урахування фасок (а) і з урахуванням фасок (б) на інструменті

На основі отриманих розрахунків, побудовані графіки, які показують характер зміни енергосилових параметрів в залежності від геометрії інструменту для схеми з прямолінійними модулями (рис. 3).

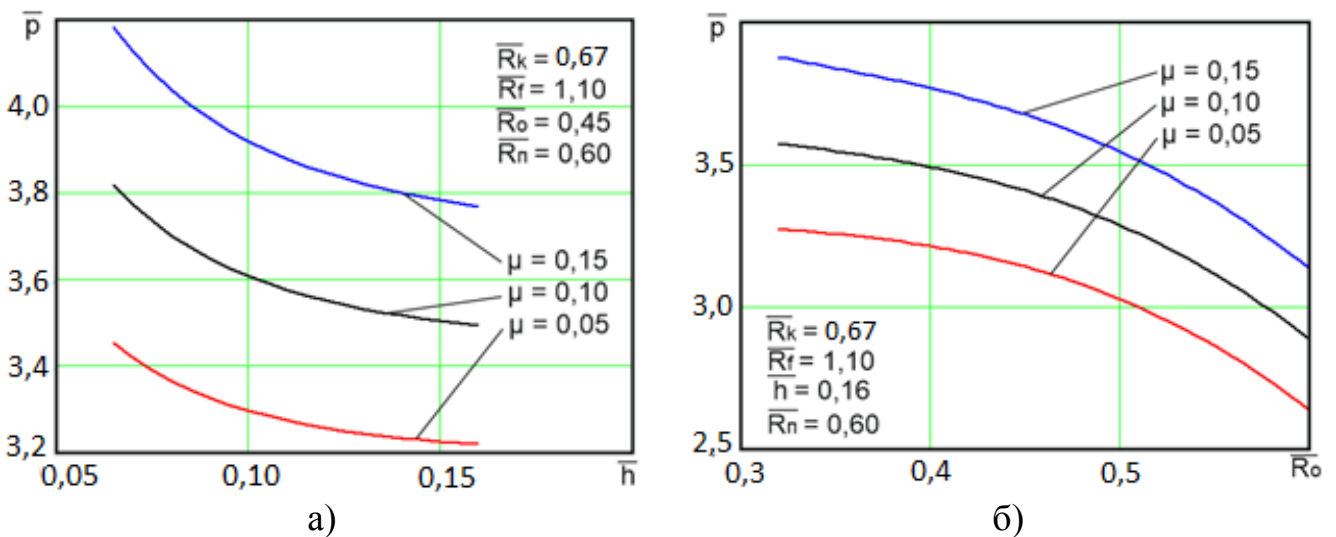


Рисунок 3 – Графіки залежності приведенного тиску видавлювання від геометричних параметрів для схеми, яка не враховує фаски на інструменті

Встановлено, що при збільшенні відносної висоти фланця від $\bar{h} = 0,06$ до $\bar{h} = 0,16$ спостерігається зниження приведенного тиску на 11%, що пов'язано із зменшенням ступеня деформації в зоні фланця, зменшенням контактної поверхні тертя між фланцем і матрицями (через викривлення форми фланця і дефекту у вигляді «чобітка») (див. рис. 3, а). При збільшенні відносного радіуса відростка з $\bar{R}_o = 0,34$ до $\bar{R}_o = 0,60$ знижується приведений тиск на 16% за рахунок збільшення осередку деформації (див. рис. 3, б). Також визначено, що зростан-

ня відносного радіуса фланця з $\bar{R}_f = 1,0$ до $\bar{R}_f = 1,5$ призводить до зростання значень приведенного тиску на 8%. Це пов'язано із збільшенням об'єму і розміру фланця. При зміні відносного радіуса пуансона від $\bar{R}_n = 0,51$ до $\bar{R}_n = 0,73$ приведенний тиск зростає на 12%, що пояснюється збільшенням поверхні тертя і ступеня деформації при зворотній течії матеріалу.

Для схем з кінематичними трапецеїдальними модулями, які враховують наявність фасок на перехідних кромках інструменту, аналіз теоретичних даних показав аналогічний характер розподілу показників приведенного тиску з відхиленням 7-10% в більшу сторону, що пов'язано зі збільшенням обсягів осередків деформації і зон зсувів на границях модулів.

На основі масиву даних, отриманого МСЕ, плануванням експерименту і регресійним аналізом у спеціалізованому програмному продукті MathCad, встановлено рівняння регресії для визначення приведенного тиску видавлювання \bar{p} і приведенного тиску розкриття матриці \bar{q} (1) від відносної висоти фланця \bar{h} , діаметра пуансона \bar{d}_n і діаметра відростка \bar{d}_o , і побудовані графіки залежності приведених тисків \bar{p} і \bar{q} від зазначених геометричних параметрів (рис. 4, 5).

$$Y(\bar{p}; \bar{q}) = b_0 + b_1 \cdot \bar{d}_n + b_2 \cdot \bar{h} + b_3 \cdot \bar{d}_o + b_4 \cdot \bar{d}_n \cdot \bar{h} + b_5 \cdot \bar{d}_n \cdot \bar{d}_o + b_6 \cdot \bar{h} \cdot \bar{d}_o + b_7 \cdot \bar{d}_n^2 + b_8 \cdot \bar{h}^2 + b_9 \cdot \bar{d}_o^2, \quad (1)$$

де b_i – коефіцієнти рівняння регресії (табл. 1).

Таблиця 1 – Коефіцієнти рівняння регресії

b_i	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9
\bar{p}	9,026	-4,25	-32,9	-2,87	-13,4	0,43	-22,3	4,05	174,4	3,49
\bar{q}	17,5	-72	-46,6	52,36	-26,1	-3,49	0,96	59,1	140,6	-56,2

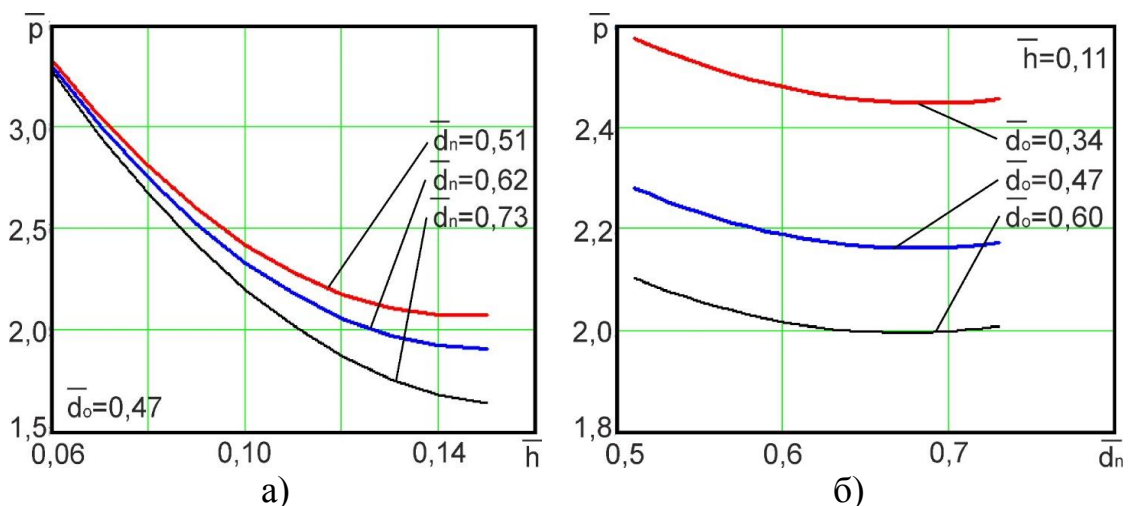


Рисунок 4 – Графіки залежності приведенного тиску видавлювання від відносних геометричних параметрів

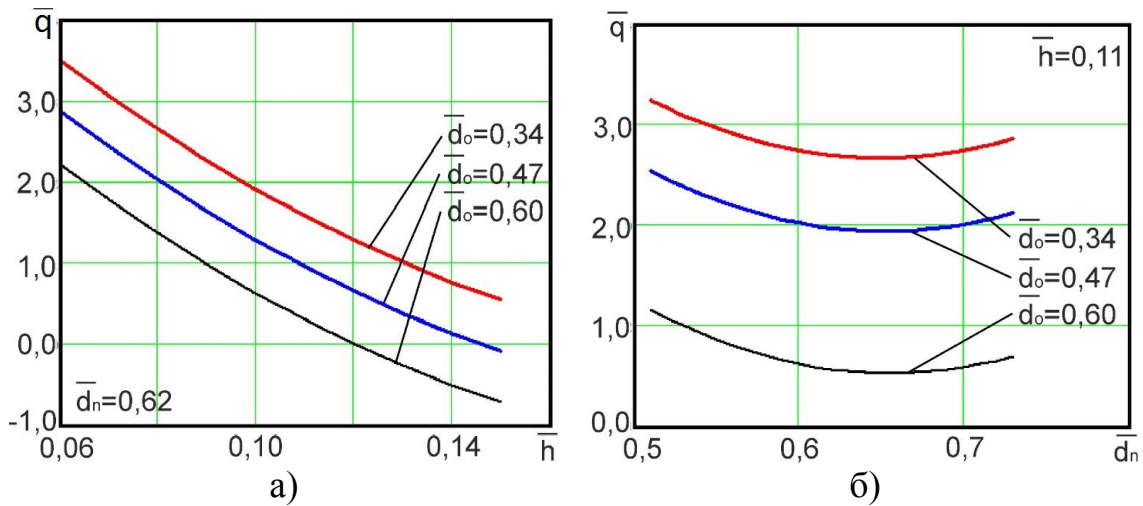


Рисунок 5 – Графіки залежності приведенного тиску розкриття матриці від відносних геометричних параметрів

Графічні залежності показали подібний характер зміни параметрів процесу при дослідженні методом кінцевих елементів з методом енергетичного балансу потужностей. ЕМ показав завищені результати приведенного тиску, порівняно з МСЕ на 12%, що пов'язано з великою кількістю прийнятих допущень і більш спрощеною схемою розташування зон і осередків деформації.

За допомогою методу скінчених елементів (МСЕ) проведено моделювання процесу комбінованого тристороннього видавлювання, що дало уявлення про НДС, розвиток сили деформування і поля деформації. Визначено, що найбільша ступінь деформації зосереджена біля кромки інструменту і на кордоні зсуву між пуансоном і нижньою матрицею, а найбільші напруги – у зоні фланця і в прилеглий до нього центральній частині заготовки. Компоненти тензора головних напружень використовувалися для розрахунку параметрів Надаї-Лоде μ_σ і показника напружено-деформованого стану η . Проведений аналіз напружено-деформованого стану дозволив дати оцінку використання ресурсу пластичності ψ , який визначається $\psi = \int_0^{e_u} \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}$. Поверхня граничних деформацій

для матеріалу АД1 задавалася у вигляді $e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,1 \cdot e^{(0,42 \cdot \mu_\sigma - 0,51 \cdot \eta)}$. Для розрахунку використаного ресурсу пластичності в кінцево-елементній моделі, задавалося поле точок, які трасуються, (по висоті заготовки 20 точок, по діаметру заготовки 50 точок). Отримані криві розташовані по контуру зовнішнього фланця (лінія I), і по границях зрізу при радіально-прямій (лінія II) і зворотній (лінія III) течії матеріалу (рис. 6).

Проведена оцінка витрат ресурсу пластичності показала, що найбільш небезпечною зоною з точки зору руйнування є периферія фланця (зона 1 розташована на лінії I) (див. рис. 6) і що при досягненні в процесі деформування значення граничного ступеня деформації $e_{\max} = 0,75$ відбувається руйнування фланця. (рис. 7).

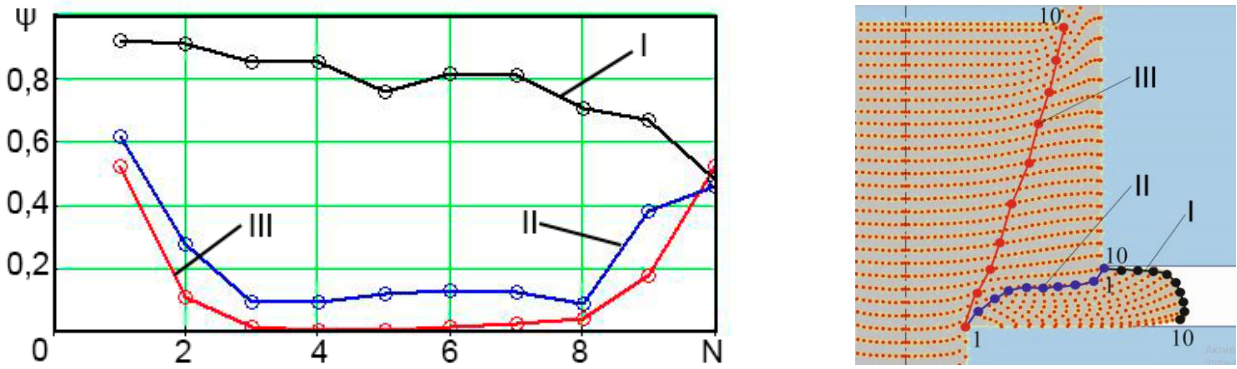


Рисунок 6 – Розподіл ступеня вичерпання ресурсу пластичності

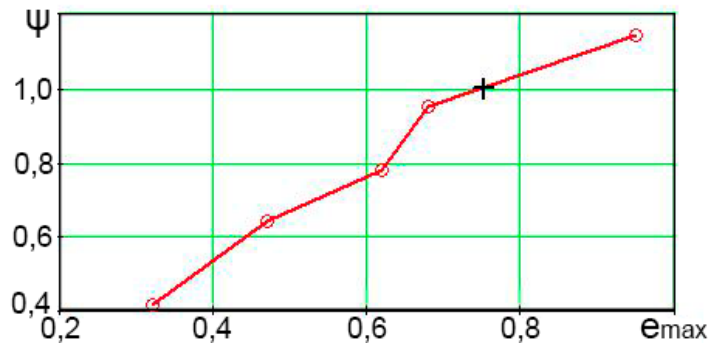


Рисунок 7 – Визначення максимального ступеня деформації в критичній точці

Отриманий в результаті аналізу МСЕ набір даних, дозволив оцінити формозміну напівфабрикату при комбінованому тристоронньому видавлюванні. Отримана діаграма приросту лінійних розмірів за трьома напрямками (рис. 8).

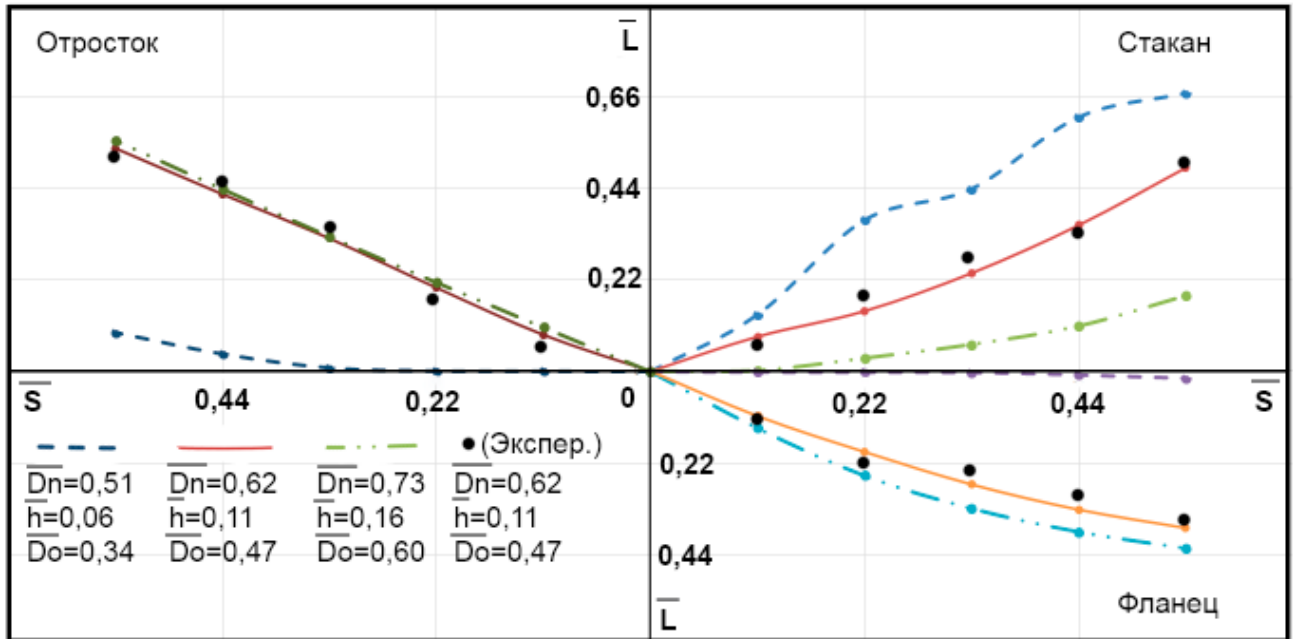


Рисунок 8 – Аналіз формозміни заготовки при комбінованому тристоронньому видавлюванні ($\bar{L} = L/d_m$ – відносний лінійний приріст розмірів; $\bar{S} = S/d_m$ – відносний хід пуансона)

Оцінка формозміни показала, що при зміні відносної висоти фланця від $\bar{h} = 0,06$ до $\bar{h} = 0,16$ (при $\bar{d}_n = 0,62$, $\bar{d}_o = 0,47$) характер приросту розміру відростка не змінюється. При цьому кількість металу, який витікає в зону фланця, збільшилася, а в зону стакану – зменшилася. Відповідно лінійний розмір фланця збільшився на 61%, а висота стакану зменшилася на 27%. Така зміна пояснюється тим, що із збільшенням висоти фланця знижується ступінь деформації у цій зоні, що спричинило за собою можливість більш вільної течії металу в зону фланця.

При збільшенні відносного діаметра пуансона з $d_n=0,51$ до $d_n=0,73$, тобто при зменшенні товщини стінки стакану, (при $\bar{h} = 0,11$, $\bar{d}_o = 0,47$), об'єм металу, що витікає в зону стінки стакану, значно зменшується, відповідно, зменшується і висота стакану на 21%. А об'єм металу в зоні відростка і фланця збільшився на 76% і 88% відповідно. Це пов'язано з тим, що із збільшенням відносного діаметра пуансона ступінь деформації зростає, що спричинило за собою ускладнену течію металу в зону стінки.

Збільшення відносного діаметра відростка з $d_o=0,34$ до $d_o=0,60$ (при $\bar{h} = 0,11$, $\bar{d}_n = 0,62$) сприяло збільшенню об'єму металу в зоні відростка на 38%. Приріст лінійного розміру фланця при цьому є незначним (до 8%) і спостерігається зменшення об'єму металу, що витікає в стінку стакану, на 32%.

Прогноз поетапного формоутворення деталі по ходу процесу, виконаний енергетичним методом балансу потужностей на основі запропонованої розрахункової схеми і методом скінчених елементів, при зіставленні показує близькі результати (рис. 9). Результати експерименту підтвердили отримані дані.

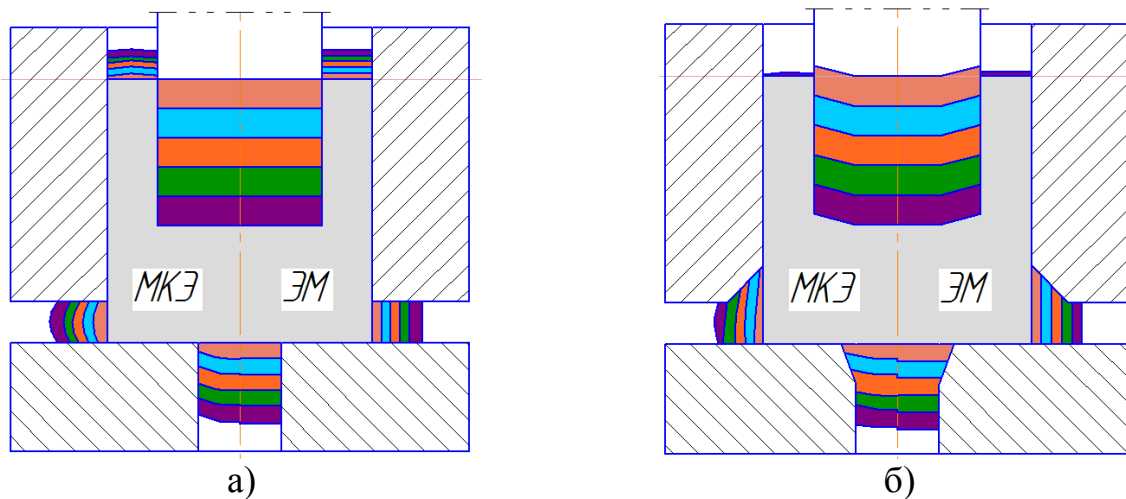


Рисунок 9 – Приріст лінійних розмірів заготовки по ходу деформування

Аналіз формоутворення деталі показав також, що наявність фасок на всіх інструментах сприяє течії металу в зону фланця та відростка і зменшує течію металу в стінку стакану (рис. 10). Однак наявність фасок тільки на пуансоні або нижній матриці, в зоні відростка, незначно впливає на формозміну деталі, а наявність фаски на верхній матриці в зоні радіального видавлювання, при відсутності фасок на інших інструментах, сприяє течії металу в зону фланця та відростка і зменшення лінійного розміру склянки по висоті (стілки порожнистої частини).

Проведено порівняльний аналіз енергосилових параметрів при тристоронньому видавлюванні заготовки в інструменті з фасками і без фасок. Встановлено, що сила деформування за двома схемами має незначну розбіжність (до 5%) максимальних значень, причому на початку процесу сила видавлювання за схемою з фасками нижче, що пояснюється більшою свободою витікання металу. При досягненні максимальних значень сил деформування, меншим стає сила видавлювання для схеми без фасок, що можна пояснити зменшенням поверхні тертя.

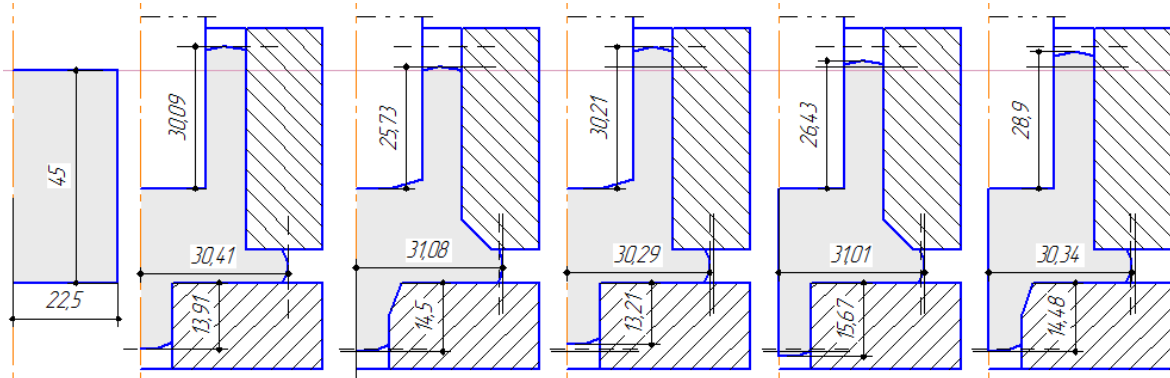


Рисунок 10 – Вплив фасок інструменту на формозміну заготовки (АД1, $h=7$ мм, $D_n=28,2$ мм, $D_o=15$ мм, $\alpha=15^\circ$, $\beta=45^\circ$, $\gamma=20^\circ$, Хід 25 мм)

У четвертому розділі наведено результати експериментально-аналітичних і експериментальних досліджень формозміни і силового режиму деформування деталей з фланцем і відростком.

Проведена оцінка адекватності розроблених математичних моделей. Зокрема, досліджено силовий режим процесу комбінованого тристороннього видавлювання при розмірах: $D_{зар}=45$ мм, $H_{зар}=45$ мм, $h=7$ мм, $D_n=28,2$ мм, $D_o=15$ мм (рис. 11). Значення сил видавлювання, отримані енергетичним методом на 20% більше значень, отриманих експериментально. Це пояснюється тим, що для матеріалу АД1 зміцнення враховувалося спрощено за методом Хілла. Дані, отримані МСЕ, на 12% менше експериментальних даних.

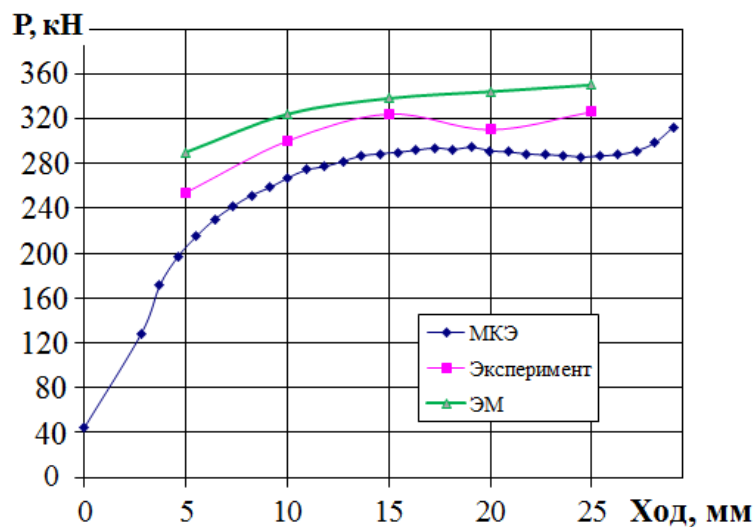


Рисунок 11 – Графік залежності сил деформування від ходу при експериментальних та теоретичних даних для матеріалу АД1

Результати експериментальних досліджень процесів комбінованого тристороннього видавлювання підтверджують якісно і кількісно теоретичні оцінки розподілу параметрів деформованого стану в осередку деформації (рис. 12, 13). Порівняння розподілу ступеня деформації, отриманого методом ділительних сіток (див. рис. 13, а) показує, що відхилення до 11 % в більшу сторону в порівнянні з МСЕ (див. рис. 13, б).



Рисунок 12 – Порівняння формозміни та розташування осередків деформації, отриманих МСЕ та експериментальними дослідженнями для матеріалів С1 (а) та АД1 (б)

Експериментальна оцінка вичерпання ресурсу пластичності показала, що найбільш небезпечною зоною є зовнішня поверхня фланця. Зіставлення значень використаного ресурсу пластичності у відповідній точці на зовнішній поверхні фланця при видавлюванні показує, що МСЕ дає на 6,8 % занижену оцінку. При обмеженні течії в зону фланця, фланець з розвитком процесу перетворюється на застійну зону, що призводить до утворення тріщин по границі осередку деформації, який з'єднує перехідні кромки верхньої і нижньої напівматриці. Іншою небезпечною зоною є зона вздовж кордону, що розділяє осередки деформації радіального і прямого витікання.

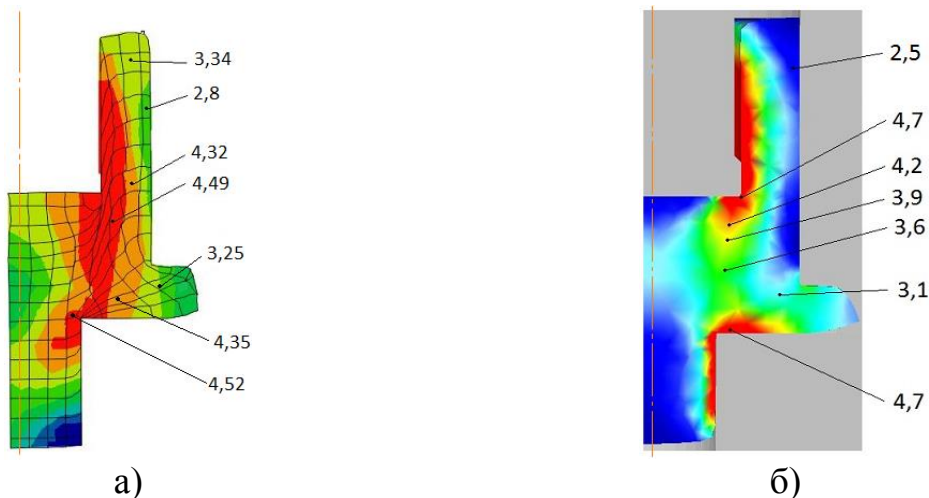


Рисунок 13 – Поля розподілу інтенсивності деформацій
($\bar{d}_n = 0,62$; $\bar{d}_o = 0,47$; $\bar{h} = 0,16$; $X_{id} \bar{s} = 0,55$)

Виконана експериментальна оцінка відхилень форми фланця типу сідло-видності. Зіставлення експериментальних і отриманих МСЕ значень відхилень форми показує їх збіг з похибкою не більше 17,4 %.

Визначено дефекти, що виникають при комбінованому видавлюванні, до яких відносяться складки, утяжини і простріли.

У п'ятому розділі на основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена методика проектування технологічного процесу комбінованого тристороннього видавлювання. Розроблено рекомендації щодо вибору схем штампування, призначення технологічних параметрів і програмне забезпечення для розрахунку приведенного тиску видавлювання. Показано напрями розвитку технологій штампування деталей з фланцем і відростком, які полягають в отриманні деталі за один формоутворювальний перехід. Запропоновано спосіб видавлювання, що дозволяє опрацювати центральну і донну частину заготовки в два етапи за рахунок зворотно-поступальної течії металу у відросток при отриманні деталей типу стакан. На спосіб отримано патент України.

Запропоновані конструкції штампового оснащення для здійснення процесу комбінованого тристороннього видавлювання деталей з фланцем та відростком.

Розроблені і передані для промислового освоєння технологічні рекомендації для виготовлення деталей з фланцем і відростком на АТ «Мотор Січ».

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі практичних та проектних робіт студентів і магістрів спеціальності ОМТ.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена дослідженню процесу комбінованого тристороннього видавлювання деталей типу «стакан з фланцем і відростком» і спрямована на вирішення актуальних завдань машинобудування, пов'язаних із зменшенням енергосилових параметрів, підвищенням якості продукції, розширенням номенклатури виробів за рахунок отримання штампуванням деталей складної форми.

1. Аналіз літературних даних показав, що способи комбінованого деформування демонструють стійкий розвиток та володіють широкими можливостями щодо вдосконалення технологій ХОШ видавлюванням. Однак способи виготовлення деталей типу «стакан з фланцем і відростком» із застосуванням тристоронньої течії матеріалу в достатній мірі не вивчені.

2. Вперше енергетичним методом балансу потужностей отримано аналітичні залежності приведенного тиску деформування від геометричних параметрів процесу $\bar{p} = f(\bar{R}_1, \bar{R}_n, \bar{R}_k, \bar{R}_o, \bar{R}_m, \bar{h}_i, \alpha, \beta, \gamma)$ для схеми з прямокутними модулями і схеми, яка враховує наявність фасок на інструменті (з трапецеїдальними модулями). Встановлено, що значення приведенного тиску деформування та ро-

зкриття матриць при деформуванні в інструменті з фасками вище на 7-10% порівняно із застосуванням інструменту без фасок.

3. Розроблені на основі експериментально встановлених полях деформацій розрахункові моделі процесу комбінованого радіально-прямого видавлювання деталей типу «стакан з фланцем і відростком» з роз'єднаним осередком деформації з наявністю проміжної зони, яка не деформується, з верхнім осередком деформації зворотного видавлювання і нижнім приєднаним вогнищем радіально-прямого видавлювання, який в свою чергу характеризується наявністю границі розділу течії матеріалу в радіальному і прямому напрямку. На основі мінімуму енергетичних витрат встановлені значення параметра t , що визначає положення границі розділу течії металу в нижньому осередку деформації радіально-прямого видавлювання, який дорівнює $t=0,23$ для схеми, що не враховує наявність фасок на інструменті, і $t=0,25$ для видавлювання в інструменті з фасками.

4. На основі МСЕ отримано масив даних для визначення енергосилових параметрів процесу комбінованого тристороннього видавлювання. Методом планування експерименту отримані залежності і побудовані графіки приведенного тиску видавлювання і приведенного тиску розкриття матриць від геометрії інструмента, які показали характер зміни показників процесу, схожий з результатами, отриманими енергетичним методом балансу потужностей. Дані, отримані МСЕ, в середньому на 12% менше результатів з енергетичного методу.

5. На основі МСЕ і ЕМ встановлені закономірності збільшення геометричних розмірів та обсягів конфігураційних частин напівфабрикату на основі розробленої розрахункової схеми вісесиметричного деформування в якості оцінки можливостей даного способу виготовлення деталей з фланцем та відростком. При наявності фасок на інструменті збільшення радіуса фланця збільшується на 2,15%, довжини відростка – на 4,06%, а висота склянки зменшується на 14,48%. При наявності фаски тільки на пуансоні лінійний розмір висоти склянки збільшується, а фланця зменшується не більше ніж на 0,5%. Довжина відростка при цьому зменшується на 5%. Наявність фаски тільки на нижній матриці в зоні відростка сприяє збільшенню довжини відростка на 4% і зменшенню висоти стакану і лінійного розміру фланця на 3,95% і 0,3% відповідно. З урахуванням фаски тільки на верхній матриці та в зоні радіального видавлювання лінійний розмір фланця збільшується на 2%, також збільшується і довжина відростка на 11,2%, а висота стінки склянки зменшується на 12,1%.

6. З використанням МСЕ проведена оцінка вичерпання ресурсу пластичності заготовок. Визначено небезпечні зони з точки зору руйнування, які знаходяться між перехідними кромками інструменту і на периферії фланця. Встановлено, що найбільш небезпечною з точки зору руйнування є периферія фланця, і при досягненні ступеня деформації $e_{max}=0,75$ настає руйнування фланця.

7. З метою підтвердження теоретичних досліджень силового режиму і формоутворення заготовки в процесі деформування, проведені експериментальні дослідження на заготовках з алюмінієвих сплавів АД1, АД31 і свинцю С1. При порівнянні даних, отриманих енергетичним методом і експериментальними дослідженнями було встановлено, що теоретичні розрахунки дають результати на 20% вище експериментальних. МСЕ показав результати на 12% нижче експериментів. Розподіл ступеня деформації, отриманий методом ділільних сіток на 11% вище даних, отриманих математичним моделюванням.

8. Розроблені технологічні рекомендації і методики проектування процесів і штампів комбінованого тристороннього видавлювання деталей типу «стакан з фланцем і відростком» на основі створеної бази розрахункових схем і програмних продуктів, що забезпечує зниження витрат і часу на конструкторсько-технологічну підготовку виробництва. Запропоновано спосіб отримання деталі типу стакан з фланцем і відростком з зворотно-поступальною течією металу в відросток, який сприяє зниженню нерівномірності деформованого стану деталі в центральній і донній частині заготовки. Результати теоретичних і експериментальних досліджень і відповідні програми використовуються в навчальному процесі в проектних і практичних роботах студентів. Методичні матеріали, рекомендації з проектування штампового оснащення й технологічного процесу штампування порожнистих деталей з фланцями передані для освоєння на промислових підприємствах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Алиева Л. И. Деформируемость металла в процессе трехстороннего комбинированного выдавливания / Л. И. Алиева, А. В. Шкира, К. В. Гончарук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. праць. Серія : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 43 (1086). – С. 3–7.

2. Анализ влияния размера очага деформации на параметры комбинированного выдавливания / Л. И. Алиева, К. В. Гончарук, А. В. Шкира, П. В. Гнездилов // Научный вестник ДГМА. – Краматорск : ДГМА, 2014. – № 1 (13Е). – С. 4–9.

3. Алиева Л. И. Теоретический анализ процесса комбинированного выдавливания деталей с фланцем энергетическим методом / Л. И. Алиева, К. В. Гончарук, А. В. Шкира // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 2 (41). – С. 35–40.

4. Алиева Л. И. Применение математического аппарата для определения энергосиловых характеристик комбинированного трехстороннего выдавливания / Л. И. Алиева, А. В. Шкира, К. В. Гончарук // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2015. – № 2 (17Е). – С. 5–10.

5. Анализ влияния формы инструмента на энергосиловые параметры при комбинированной осадке / К. В. Гончарук, Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина, Л. В. Таган, А. В. Шкира // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2015. – № 3 (18Е). – С. 70–79.

6. Експериментальне дослідження деформованого стану комбінованого радіально-поздовжнього видавлювання / Л.І. Алієва, Є.М. Солодун, Х.В. Гончарук, О.В. Шкіра // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2015. – № 4 (55). – С. 82 – 87.

7. Исследование процесса протяжки заготовок / Я. Г. Жбанков, В. И. Шимко, Л. В. Таган, А. В. Шкира // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – М., 2013. – №1(13). – С. 13–18.

8. Пат. 107950 Україна, МПК В21J 5/12, В21К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих виробів типу стакана / Алієва Л. І., Гончарук Х. В., Шкіра О. В., Сивак Р. І.; власник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u 2015 13100; заявл. 30.12.2015 ; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. – 3 с.

9. Технологические возможности трехстороннего комбинированного выдавливания / А. В. Шкира, Л. И. Алиева, М. С. Косилов, А. А. Еремина // Всеукраинская научно-техническая конференция молодых специалистов «Энергомашспецсталь 2013» – Краматорск, 24 мая 2012. – С. 37–39.

10. Алиева Л. И. Комбинированное трёхстороннее выдавливание сложно-профилированных деталей / Л. И. Алиева, И. А. Деревенько, А. В. Шкира // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». – Краматорськ : ДДМА, 4–6 червня 2013. – С. 17.

11. Алиева Л. И. Холодное выдавливание прецизионных деталей сложной формы / Л. И. Алиева, О.А. Жукова, А.В. Шкира // XIV Международная научно-техническая конференция «Прогрессивная техника, технология и инженерное образование».- Севастополь, 25–28 июня 2013 – С. 28-29.

12. Оценка ресурса пластичности при комбинированном радиально-продольном выдавливании / Л. И. Алиева, И.А. Деревенько, К. В. Гончарук, А.В. Шкира // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали дванадцятої Міжнародної науково-технічної конференції 23–24 вересня 2014 року / — Краматорськ: ДДМА, 2014. – С. 17–18.

13. Анализ энергосиловых параметров процесса комбинированной осадки / К. В. Гончарук, Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина, Л. В. Таган, А. В. Шкира // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали тринадцятої Міжнародної науково-технічної конференції 2–4 червня 2015 року / – Краматорськ: ДДМА, 2015. — С.24–25.

14. Алиева Л. И. Холодное выдавливание прецизионных деталей сложной формы / Л. И. Алиева, А. В. Шкира, К. В. Гончарук // I Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу». – Херсон : Херсонський національний технічний університет, 2015. – Випуск 2. – С. 33–34.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1, 4, 7] – проведення комп'ютерного моделювання процесу комбінованого видавлювання; [2, 3] – отримання і аналіз кінематично можливих полів швидкостей; [5, 13] – розробка математичних моделей та аналіз впливу геометричних параметрів процесу; [6] – обґрунтування нового технологічного способу видавлювання; [8, 9] – обробка статистичних даних, отриманих при моделюванні МСЕ; [10, 12] – теоретичний аналіз процесу комбінованого видавлювання; [11, 14] – аналіз і систематизація результатів патентно-інформаційного пошуку.

АНОТАЦІЯ

Шкіра О. В. Удосконалення технологічних процесів штампування деталей з фланцем та відростком на основі способів комбінованого видавлювання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – «Процеси та машини обробки тиском». – Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена вдосконаленню технології і оснащення холодного об'ємного штампування деталей з фланцем і відростком на основі моделювання технологічних режимів, розробки методики проектуванні, а також застосування комбінованих способів штампування.

Надано подальший розвиток на основі енергетичного методу балансу потужностей силового режиму процесу комбінованого тристороннього видавлювання. Чисельним модулюванням встановлено вплив виду схеми та її геометричних параметрів на величину відхилення від профілю, надано рекомендації з мінімізації його величини. Результати теоретичного аналізу підтверджено фізичним моделюванням. Розроблено та апробовано новий спосіб видавлювання деталей типу стакан.

На основі експериментальних та теоретичних досліджень розроблено методику проектування технологічних процесів точного об'ємного штампування комбінованим тристороннім видавлюванням деталей з фланцем та відростком.

Ключові слова: штампування, холодне видавлювання, комбіноване деформування, оснащення, приведений тиск, напружено-деформований стан, деталь з фланцем і відростком, відхилення форми, деформівність, силовий режим.

АННОТАЦИЯ

Шкира А. В. Совершенствование технологических процессов штамповки деталей с фланцем и отростком на основе способов комбинированного выдавливания – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – «Процессы и машины обработки давлением». – Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, 2016.

Диссертационная работа посвящена совершенствованию технологии и оснастки холодной объемной штамповки деталей с фланцем и отростком на основе моделирования технологических режимов, разработки методик проектирования, а также применение комбинированных способов штамповки.

На основе проведенного литературного анализа определено что процессы точной холодной объемной штамповки являются ресурсосберегающими технологиями, применение которых обеспечивает экономичность технологического процесса и высокую точность готового изделия. Анализ существующих способов холодной объемной штамповки (ХОШ) показал, что основными ограничениями для данных процессов являются высокие удельные нагрузки на инструмент, низкая пластичность материалов и недостаточная точность сложнопрофильных деталей, обусловленная многопереходностью процесса.

Разработаны математические модели на основе энергетического метода баланса мощностей, позволяющие определять энергосиловые параметры процесса при комбинированном трехстороннем выдавливании. Рекомендованы оптимальные параметры границы разделения течения металла, обеспечивающие минимум приведенных давлений деформирования. Результаты теоретического анализа подтверждены сопоставлениями с данными физического и численного (выполненного МКЭ) экспериментов.

Численным моделированием определено влияние геометрических параметров схемы на величину приведенного давления процесса. На основе планирования математического эксперимента и регрессионного анализа данных полученных моделированием в специализированном программном пакете установлены математические зависимости для определения величины приведенного давления выдавливания и раскрытия матрицы.

Экспериментально и численно (МКЭ) определено деформированное состояние заготовки в процессе комбинированного трехстороннего выдувания с учетом различной геометрии инструмента. Установлен вид и форма очага деформации, даны рекомендации по проектированию штамповой оснастки.

На основе теоретических (МКЭ) исследований, проанализированы опасные зоны в теле заготовки, в которых наблюдаются максимальные сдвиговые деформации и установлена величина исчерпания ресурса пластичности

в опасной области полуфабриката. Проведено экспериментальное подтверждение получения бездефектных деталей с учетом полученных теоретических результатов.

Предложен способ получения деталей типа стакан, с возвратно-поступательным течением материала в отросток, который позволил изготавливать детали с качественно проработанной структурой по всему сечению заготовки. Способ получил развитие в трехстороннем комбинированном выдавливании.

На основе результатов экспериментальных и теоретических исследований, разработана методика проектирования технологического процесса точной объемной штамповки деталей с фланцем и отростком. Разработаны и переданы для промышленного освоения по разработке процессов прямо-обратно-радиального выдавливания и проектированию штамповой оснастки.

Ключевые слова: штамповка, холодное выдавливание, комбинированное выдавливание, оснастка, приведенное давление, напряженно-деформированное состояние, деталь с фланцем и отростком, отклонение формы, деформируемость, сила.

ABSTRACT

Shkira A. V. Improving technology of forging process with parts flange and branch on the basis of combined extrusion variants. - Manuscript.

Dissertation for the candidate of technical sciences degree, specialty 05.03.05 – Processes and Machines of plastic working. Donbass State Engineering Academy, Kratomorsk. 2016.

The dissertation is devoted to improving technology and equipment in cold forging process with parts flange and branch based on simulation of technological regimes to develop methods of design and the application of combined extrusion processes.

The further development is presented based on upper bound method (the energy balance method of power mode) in three directions combined extrusion process. It is defined with simulation process influence of the scheme and kind of geometrical parameters scheme in the deviation of the profile and recommendations to minimize its value. The results of the theoretical analysis are confirmed by physical simulation. Developed and designed a new variant of extrusion for parts as cup.

Based on experimental and theoretical investigation is determined technique of design technology for cold forging as three directions combined extrusion process with parts flange and branch.

Keywords: forging, cold extrusion, combined extrusion, equipment, relative pressure, stress-strain state, part of the flange and branch, the deviation form, deformability, force.

Підп. до друку 21.10.2016. Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк. 1,1.
Обл.вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. № 97.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003