

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

КОСІЛОВ МАКСИМ СЕРГІЙОВИЧ



УДК 621.735.3

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КУВАННЯ
ПУСТОТІЛИХ ПОКОВОК ЗІ ЗМІННОЮ ТОВЩИНОЮ СТІНКИ
СПОСОБОМ РОЗКОЧУВАННЯ СТУПІНЧАСТИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Спеціальність 05.03.05 – Процеси та машини обробки тиском

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Краматорськ – 2018

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Марков Олег Євгенійович,
Донбаська державна машинобудівна академія
(м. Краматорськ), завідувач кафедри «Механіка
пластичного формування».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Чухліб Віталій Леонідович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
(м. Харків), завідувач кафедри «Обробка металів
тиском»

кандидат технічних наук,
Василевський Олег Вікторович,
ООО «Квадроинтернешенел»
(м. Київ), начальник виробництва

Захист відбудеться «15» листопада 2018 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 72, ауд 1319.

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

Автореферат розісланий «12» жовтня 2018 р.

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



Ю. К. Доброносів

ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

Актуальність теми. Машинобудування України є високотехнологічною галуззю машинобудівного комплексу, яка охоплює сукупність підприємств-виробників, проектно-конструкторських і науково-дослідних організацій. Сучасні економічні умови ставлять перед Україною потребу в пошуку нових ринків збуту енергетичного обладнання. У зв'язку з цим постає питання виготовлення продукції машинобудування з забезпеченням прийнятної ціни при високій якості та надійності.

Одним з видів продукції, яку виготовляють вітчизняні машинобудівні підприємства, є вироби для АЕС, зокрема елементи корпусу реактора, які мають профільовану поверхню. До таких виробів найчастіше належать обичайки з однобічними виступами, у яких змінюється товщина стінки. Традиційний виробничий шлях виготовлення таких деталей полягає у куванні обичайки з гладкими поверхнями (внутрішньою та зовнішньою) та подальшій механічній обробці до потрібних розмірів та форми. Недоліки такого способу полягають у необхідності додаткової механічної обробки для надання необхідної форми, що призводить до збільшення загального часу виготовлення деталі. При цьому під час механічної обробки значна кількість металу йде у відходи, що призводить до збільшення собівартості виробництва. Крім того, надання необхідної форми шляхом механічної обробки призводить до перерізу волокон металу у місці зміни товщини стінки, що зменшує строк експлуатації виробу.

Одним з напрямків удосконалення технологічних процесів деформування пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки є використання інструменту з профільованою поверхнею. Застосування подібного інструменту дозволяє змінити напружено-деформований стан (НДС) заготовки в процесі деформування, що підвищує якість виробу, наближує форму поковки до деталі, завдяки чому зменшуються напуски та утворюється волокниста структура, яка повторює профіль деталі. Крім того, наближення форми поковки до профілю деталі дозволить зменшити переріз волокон під час подальшої механічної обробки, знизити витрати енергії, загальний час та собівартість виготовлення.

Всупереч перевагам використання в технологічних циклах кування операції розкочування інструментом з профільованою поверхнею, вона вимагає точного вибору режиму деформування з урахуванням параметрів заготовки для розкочування, ступеня деформації та геометрії робочого інструмента. Тому кожне нове застосування таких способів вимагає ретельних попередніх досліджень, які б полегшували проектування технологічних карт кування та використання інструмента з профільованою поверхнею на практиці. В іншому випадку налагодження і застосування технологій на виробництві потребує часу, при цьому процес супроводжується появою дефектів. Розв'язання цих питань пов'язане з подальшим проведенням теоретичних та експериментальних досліджень для створення рекомендацій та методики проектування процесів та конструювання інструменту для розкочування. На сьогодні немає рекомендацій з геометричних параметрів робочого інструменту та розмірів пустотілої

заготовки перед розкочуванням, які б дозволили виготовляти поковки типу «обичайка з виступом», покращити опрацювання литої структури та отримати задані розміри поковок.

Виходячи з вищевикладеного, тема дисертаційної роботи, яка присвячена удосконаленню технологій кування пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки способом розкочування ступінчастим інструментом, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки та техніки в Україні «Нові речовини і матеріали» (Закон України №2519-IV від 9 вересня 2010 року) і науковому напрямку «Розвиток ресурсозаощаджувальних процесів обробки тиском на основі створення нових технологічних способів і методики аналізу і закономірностей пластичного деформування» наукової школи кафедр «Механіка пластичного формування» (МПФ) та «Обробка металів тиском» (ОМТ) Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА). Робота виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР), передбачених планами Міністерства освіти і науки України на кафедрі МПФ ДДМА (№ держреєстрації 0114U002536, 0116U003614, 0118U003047). Автор був відповідальним виконавцем при виконанні держбюджетної теми № 0118U003047 та виконавцем в інших.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення механічних властивостей та зниження витрат енергії та металу при виготовленні поковок зі змінною товщиною стінки шляхом розробки нових енерго- та ресурсозаощаджувальних технологічних процесів деформування на основі застосування ступінчастого інструмента під час розкочування.

Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені та вирішені такі основні завдання:

- виконати аналіз наявних тенденцій та шляхів удосконалення процесів розкочування обичайок профільованим інструментом;
- обрати методи, програмне забезпечення та розробити загальну методику для дослідження процесів розкочування обичайок зі змінною товщиною стінки;
- виконати теоретичний аналіз НДС та формозміни заготовки при розкочуванні ступінчастим бойком, встановити фактори, що впливають на параметри формозміни;
- виконати експериментальні дослідження розкочування обичайок зі змінною товщиною стінки та на їх основі отримати закономірності параметрів формозміни заготовки від ступеня деформування та математичну модель, встановити межі її застосування;
- провести металографічне дослідження та визначити базові механічні властивості поковки, отриманої за базовою та за новою технологіями;
- розробити методику та надати рекомендації щодо виготовлення куванням пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки, на їх основі розробити технологічні процеси розкочування та запропонувати конструкцію профільованого деформувального інструменту.

Об'єкт дослідження. Процес розкочування пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки.

Предмет дослідження. Закономірності та режими формозміни, деформований стан та показники якості пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки в процесі розкочування ступінчастим бойком.

Методи дослідження. В основу теоретичних досліджень НДС, зміни геометричних параметрів, які впливають на формоутворення покладено метод скінченних елементів (МСЕ).

Експериментальні дослідження процесу проводилися з використанням методів фізичного моделювання на свинцевих та сталевих моделях. Для зменшення кількості експериментів та отримання достатньої кількості даних застосовувався метод планування експерименту. Для визначення показників якості була досліджена структура сталевих зразків, визначення балу зерна проводилося за методом підрахунку зерен, для вимірювання твердості застосовувався метод Роквелла.

Для обробки масиву даних, отриманого під час експериментальних досліджень, використовувалися методи математичної статистики, завдяки яким отримані регресійні рівняння формозміни заготовки в процесі розкочування.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше на основі методу скінченних елементів отримані кількісні оцінки напружено-деформованого стану кільцевої поковки з однобічним виступом, яка розкочується, в залежності від геометричних параметрів заготовки, ступеня деформації та схем деформування, що дозволило встановити раціональні режими реалізації досліджуваних процесів розкочування, які відрізняються кількістю зон в осередку деформації;

- вперше на основі регресійного аналізу експериментальних досліджень процесу розкочування кільцевих поковок зі змінною товщиною стінки ступінчастим інструментом встановлені залежності для визначення розмірів вихідної профільованої заготовки від розмірів поковки, ступеня та схеми деформування, які дозволяють встановити раціональні розміри і форму заготовки для розкочування, що підвищує точність розмірів та форми поковок, які виготовляються;

- вперше на основі теоретичного та експериментального аналізу процесу розкочування профільованим інструментом визначено характер поетапної зміни НДС кільцевої поковки з однобічним виступом в залежності від різниці між діаметрами виступу та уступу та встановлена небезпечна перехідна зона біля основи виступу, яка може призвести до утворення кільцевого затиску, для усунення якого запропонована форма робочого інструменту з раціональним кутом ступінчастого переходу;

- отримали подальший розвиток уявлення про закономірності зміни деформованого стану пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки при розкочуванні, які відрізняються від наявних підвищенням рівномірності розподілу деформацій шляхом використання ступінчастого інструменту для розкочування, що дозволило удосконалити технологічні режими кування, підвищити точність та знизити металомісткість процесу виготовлення.

Практичне значення отриманих результатів:

- запропоновано спосіб розкочування обичайок з однобічним виступом, який підвищує якість великогабаритних пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки внаслідок спрямованої течії металу та створення сприятливої волокнистої структури. На спосіб отримано патент;
- розроблено рекомендації для проектування технологічних процесів розкочування обичайок з фланцем, які дозволяють знизити витрати металу на 20...30 % внаслідок зменшення напусків;
- розроблено методику проектування технологічного процесу кування, яка дозволяє розрахувати геометричні параметри профільованої заготовки перед розкочуванням для отримання конічних або циліндричних поковок;
- розроблено універсальну конструкцію профільованого інструменту для розкочування та раціональну його геометрію, яка забезпечує керовану течію металу та дозволяє уникнути виникнення дефектів.
- спроектовано новий технологічний процес деформування обичайки з фланцем, який передбачає отримання профільованої заготовки і її розкочування ступінчастим бойком.

Особистий внесок здобувача. Внесок автора у процесі виконання роботи полягає в обґрунтуванні та вирішенні теоретичних завдань з визначення НДС заготовки під час її формозміни, розробці нових технологій і практичних рекомендацій для розкочування кільцевих виробів зі змінною товщиною стінки. При проведенні досліджень, результати яких опубліковані у співавторстві, автору належить вибір і розробка методів досліджень, проведення теоретичного аналізу процесів розкочування ступінчастим бойком, підготовка та проведення експериментів, аналіз і узагальнення отриманих результатів. Внесок здобувача в роботах, опублікованих разом зі співавторами, представлений в анотаціях до списку опублікованих праць за темою дисертації.

Публікації. Матеріали та основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 23 роботах з наукової тематики, з них 7 статей у спеціалізованих виданнях (з яких 5 статей, що входять до міжнародних наукових баз даних), 6 робіт у збірниках за матеріалами науково-технічних конференцій. Отримано 4 патенти України на корисну модель.

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях (МНТК):

XIX – XXI МНТК «Досягнення та проблеми розвитку технологій та машин обробки тиском» 2016 – 2018 р., м. Краматорськ; V МНТК молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 17-18 листопада 2016 року, м. Тернопіль; МНТК «Університетська наука – 2017» 18-19 травня 2017р., м. Маріуполь; VI МНТК «Перспективні технології, матеріали і обладнання у ливарному виробництві» 25-28 вересня 2017р., м. Краматорськ; IX МНТК «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів і обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії» 22-24 листопада 2017 р., м. Харків; XXV МНТК студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» 25-26 квітня 2018 р., м. Кременчук; IX МНТК «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості

фахової освіти» 28 травня – 1 червня 2018 р., м. Київ – м. Херсон., а також на щорічних наукових конференціях ДДМА (2015 – 2018 рр.) і об'єднаному науковому семінарі з МПФ ДДМА (2018 р.).

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів з опціональним формуванням списку використаних джерел (загалом 145 джерел) та восьми додатків. Загальний обсяг роботи 222 сторінки, в тому числі 14 сторінок анотації, 135 сторінок основного тексту, 22 рисунка на окремих сторінках, 3 таблиці на окремих сторінках, список використаних джерел та 8 додатків на 48 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, показано актуальність роботи та зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами та планами. Поставлено мету та завдання дослідження. Охарактеризована наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, їх апробація і впровадження, відзначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі встановлено, що існує необхідність у розробці нових підходів щодо виготовлення обичайок з фланцем, які сприяють підвищенню міцності, надійності та безпеки корпусів блоків атомних реакторів. В більшості випадків корпус реакторного блоку АЕС представляє поєднані між собою кільцеві вироби з різними зовнішніми діаметрами. Через це існує попит на профільовані кільцеві поковки зі змінною товщиною стінки типу обичайки з фланцем, які поєднують декілька кілець зі змінними діаметрами.

На підставі літературного огляду встановлено, що існують способи розкочування, які припускають застосування профільованого інструменту, що дозволяє заощаджувати матеріальні ресурси. Серед вчених багато розробок щодо виготовлення поковок відповідального призначення з використанням профільованого інструментом належить вітчизняним та закордонним дослідникам, таким як: Алієв І. С., Жбанков Я. Г., Злигорєв В. М., Кальченко П. П., Марков О. Є., Соколов Л. М., Чухліб В. Л., Aso K., Barbelet M., Costes F., Enami T., Giardin G., Jaouen O., Jobard D., Ohashi N., Lasne P., Perdriset F., Sato I., Suzuki K., Wanaka H., та іншим.

Для вказаних поковок застосовують переважно два типи злитків – звичайний та пустотілий. Обидва мають свої переваги та недоліки. Встановлено, що в більшості випадків для покращення механічних властивостей поковок відповідального призначення займаються удосконаленням технологій лиття злитків. Одним з поширених способів виготовлення корпусів реакторних блоків є поєднання декількох виготовлених деталей з різними діаметрами шляхом зварювання, що призводить до збільшення часу виготовлення. Проблемам розробки нових ресурсозаощаджувальних технологічних процесів кування не приділяється достатньої уваги. Технології виготовлення обичайок з виступом зводяться до розкочування кільцевої поковки з гладкою поверхнею, а необхідну форму отримують механічною обробкою, що призводить до високої собівартості

виготовлення через використання напусків. До того ж збільшується час виробництва. З огляду на це розробка нових способів та підходів виготовлення кільцевих поковок зі змінною товщиною стінки є важливим та дієвим напрямком підвищення їх якості, надійності, зниження витрат та прискорення виробництва. Запропонований спосіб розкочування, який передбачає використання профільованого інструменту, мало досліджений, відсутні рекомендації щодо геометричних параметрів інструменту, розроблення технологічних процесів та режимів кування.

Дослідження та розробку нових ресурсозаощаджувальних технологічних процесів розкочування поковок зі змінною товщиною стінки, таких як обичайки з фланцем, пропонується вести з використанням ступінчастого бойка. Завдяки застосуванню такого інструмента кільцеві поковки будуть повторювати форму виробу, що сприяє підвищенню їх механічних властивостей внаслідок сприятливої волокнистої структури та меншої кількості перерізаних волокон. Крім того, зменшується металомісткість поковки, час її механічної обробки та загальний час виготовлення.

У другому розділі обґрунтовано вибір методів теоретичного та експериментального досліджень розкочування обичайок з використанням ступінчастого бойка.

Для виконання теоретичного дослідження обрано МСЕ. Завдяки теоретичному аналізу проаналізовано НДС обраних схем розкочування, що дозволило визначити можливості застосування ступінчастого бойка, обрано впливові фактори для планування експерименту.

При виконанні експериментальних досліджень необхідно визначити формоутворення та базові механічні властивості поковок в процесі розкочування з використанням ступінчастого бойка. Визначення формоутворення виконується за допомогою планування експерименту, що дозволяє визначити три рівняння варіювання розмірів заготовки для розкочування. Для виконання експериментальних досліджень виготовляються свинцеві заготовки, які додатково обробляються механічно. Під час розкочування, після зміни відстані між інструментами на 1 мм, заміряються усі розміри поковки. Кожен експеримент проводиться до відстані між інструментами 7 мм, що відповідає товщині стінки уступу. Обробка отриманих даних проводиться з використанням методів математичної статистики, для чого до уваги були прийняті експериментальні дані, які відповідають умові $\varepsilon_s=0,1\dots0,3$. За результатами обробки визначаються регресійні рівняння, завдяки яким можна розраховувати параметри заготовки перед розкочуванням в межах зазначеного діапазону деформування.

Визначення базових механічних властивостей проводяться шляхом виконання експериментів на сталевих зразках. Для цього протягуються та розкочуються дві заготовки. Для розкочування першої поковки використовується плоский боек, що відповідає базовій технології кування, для другої – ступінчастий, що відповідає новій технології кування. З отриманих поковок вирізаються по одному зразку для порівняння структури та твердості. Описані способи отримання мікро- та макрошліфів та обґрунтовано вибір

методу вимірювання твердості. Показником якості обрано бал зерна, для розрахунку якого застосовувався метод підрахунку зерен.

У **третьому розділі** представлені результати теоретичних досліджень формозміни та НДС заготовки при розкочуванні ступінчастим бойком шляхом моделювання МСЕ. Досліджено схеми розкочування з одночасним деформуванням виступу та уступу на початковій стадії кування та з деформуванням виступу на початковій стадії кування. Також запропоновано шляхи для вдосконалення наведених схем.

Вихідними даними для моделювання є матеріал заготовки – 42ХМ4, початкова температура заготовки – 1200°С, кількість елементів сітки – 80000 шт., швидкість переміщення головного інструменту – 40 мм/с, хід бойка – 60 мм, температура інструменту – 100°С, коефіцієнт тертя за законом Зібеля – 0,7. Позиціювання задавалося вручну переміщенням об'єктів моделювання на певні відстані.

Для моделювання процесу розкочування з одночасним деформуванням виступу та уступу на початковій стадії кування взято заготовку з відносним діаметром виступу 2,3, уступу – 1,87. Аналіз деформованого стану дозволив встановити, що найбільші деформації сконцентровані в уступі на поверхні контакту інструментів з заготовкою (рис. 1, а). У виступі деформації найменші, що вказує на менше його опрацювання. При цьому відносний ступінь деформації в уступі ε_y збільшується інтенсивніше, ніж у виступі ε_x (рис. 1. б). Різний деформований стан виникає через різну товщину виступу та уступу та спричиняє інтенсивніше збільшення діаметру отвору з боку уступу та утворення конусної форми поковки.

Аналіз зміни конусності в процесі розкочування при одночасному деформуванні виступу та уступу дозволив встановити, що протягом всього процесу розкочування конусність поковки постійно збільшується (рис. 1, в). Різде збільшення конусності після ступеня деформації 0,2 пов'язане з тим, що стінка уступу тонша, ніж на початку процесу розкочування, а абсолютна деформація залишилась незмінною. Це спричинило інтенсивніше збільшення діаметра уступу. В кінцевій стадії розкочування, ступінь деформації уступу 0,38, отримана поковка має конусність, рівну 1:7 (0,167).

Для усунення конусності при одночасному розкочуванні виступу та уступу пропонується застосовувати додаткові напуски з одного з боків поковки. Результати моделювання дозволяють встановити, що конусність поковки у випадку додавання напуску з боку виступу складає 1:20 (0,05), що значно менше, ніж під час моделювання без напуску, а у випадку з додавання напуску з боку уступу конусність дорівнює 1:25 (0,04). При цьому напуск з боку уступу призводить до збільшення довжини поковки та зменшення діаметрів.

Для моделювання процесу розкочування з деформуванням виступу на початковій стадії кування взято заготовку з відносним діаметром виступу 2,4, уступу – 1,8. Особливістю процесу розкочування в цьому випадку є збільшена різниця між діаметрами виступу та уступу, внаслідок чого на початку розкочування виступ контактує з бойком, а між уступом та бойком утворюється зазор, через що уступ деформується пізніше.

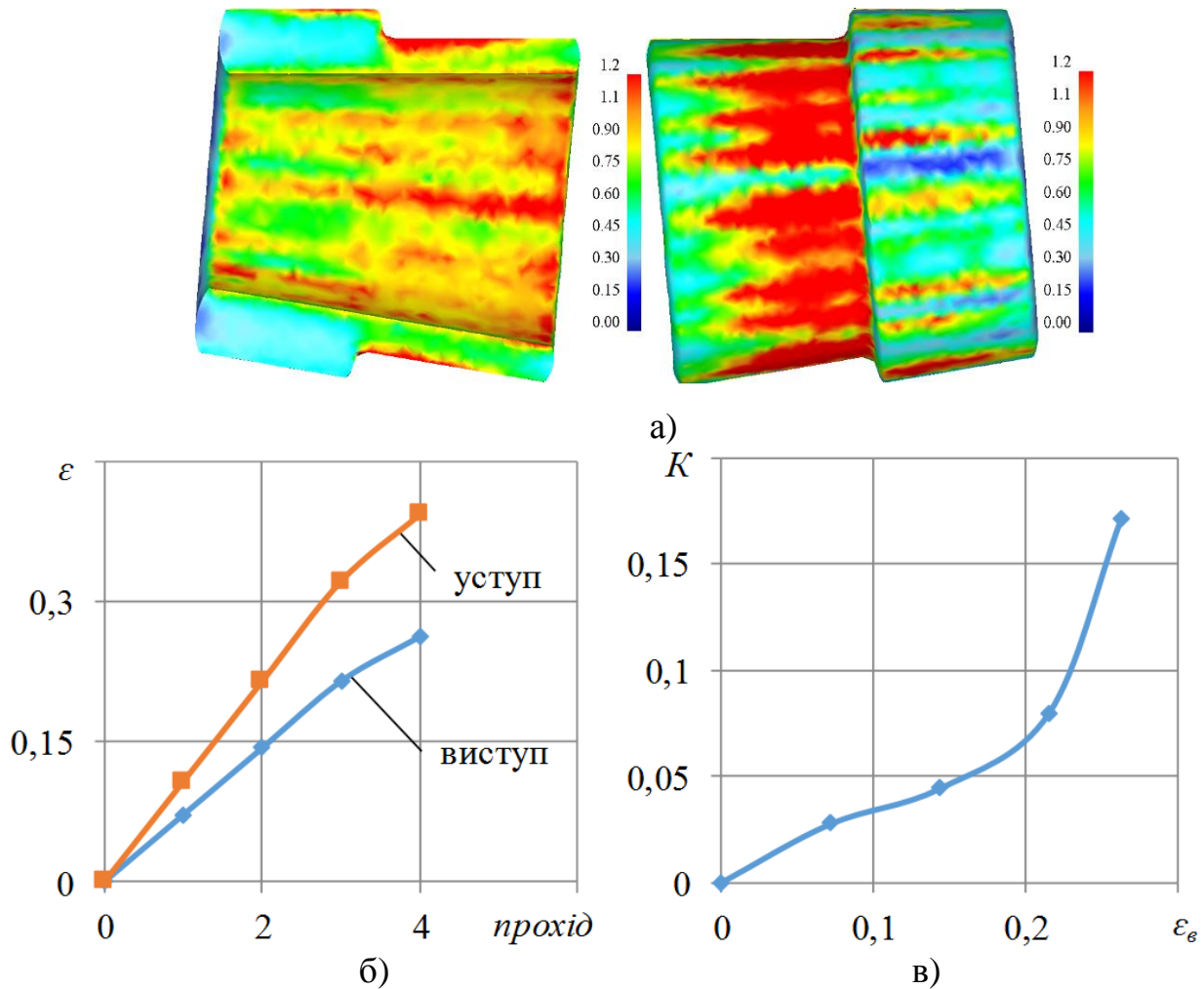


Рисунок 1 – Деформований стан поковки (а), закономірності зміни відносних ступенів деформації (б) та конусності K (в) при одночасному розкочуванні виступу та уступу на початковій стадії кування

За результатами моделювання (рис. 2, а) встановлено, що найбільші деформації зосереджені в місці зміни товщини стінки та на внутрішньому діаметрі з боку виступу. Перехідна зона більш рівномірно опрацьована, ніж в попередньому випадку. Відносний ступінь деформації у виступі ϵ_ϵ збільшується інтенсивніше (рис. 2, б), ніж в уступі ϵ_γ . Це пов'язано з відсутністю деформацій в уступі на початковій стадії розкочування через більшу різницю між діаметрами виступу та уступу заготовки, ніж сходинка бойка. Це призводить до збільшення діаметру отвору з боку виступу та до збільшення конусності (рис. 2, в). З початком деформування уступу діаметр отвору з боку уступу починає збільшуватися, а через меншу товщину стінки це збільшення відбувається інтенсивніше, ніж з боку виступу, що сприяє зменшенню конусності. Зростання ступеня деформації уступу на першому колі розкочування пов'язане з розтягувальними напруженнями, які виникають під час розкочування виступу. Через те, що в кінцевій стадії деформування ϵ_γ та ϵ_ϵ практично рівні (рис. 2, б), форма поковки залишається конусною.

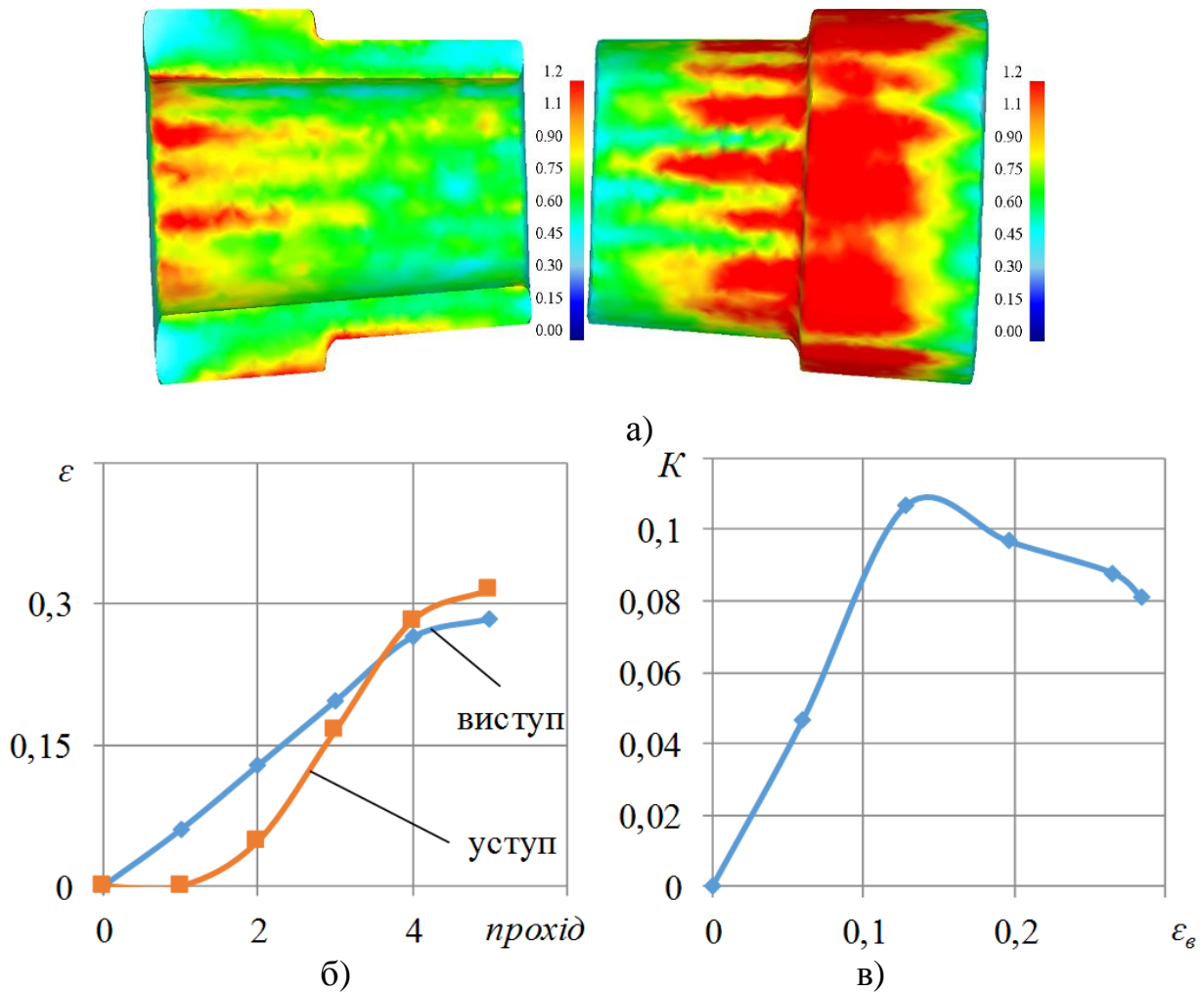


Рисунок 2 – Деформований стан поковки (а), закономірності зміни відносних ступенів деформації (б) та конусності K (в) при розкочуванні виступу на початковій стадії на початковій стадії деформування

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень розкочування поковок типу обичайка з фланцем. Визначено регресійні рівняння формозміни поковок під час деформування ступінчастим інструментом, які дозволяють розрахувати параметри заготовки для розкочування. Зіставлено базові механічні властивості поковок, отриманих за базовою та новою технологіями кування. Виділено три групи з різними відносними діаметрами уступу заготовки $D_y/d_{cp} = 2,05, 1,85, 1,65$.

В результаті розкочування заготовок з відносним діаметром уступу заготовки $D_y/d_{cp} = 2,05$ усі зразки мали конусну форму з більшим діаметром отвору з боку уступу. Аналіз отриманих результатів утворення конусності поковки від відносного ступеня деформації уступу ε_y (рис. 3) дозволив встановити, що зі збільшенням ступеня деформації конусність поковки збільшується. Винятком є деформування заготовки з відносним діаметром виступу заготовки, рівним 2,5, для якого до ступеня деформації $\varepsilon_y < 0,26$ конусність знижується, що пов'язано з деформуванням виступу поковки, при цьому уступ не деформується. При подальшому одночасному деформуванні виступу та уступу конусність збільшується, що пов'язане з інтенсивним

збільшенням діаметру отвору з боку уступу, яке пояснюється більшою течією металу у тангенціальному напрямку при обтисненні тоншої стінки.

Конусність для поковок з $D_e/d_{cp} = 2,4$ та $2,3$ зростає, тому що на початковій стадії розкочування деформується уступ. В міру зменшення відстані між бойком та дорном починає деформуватися виступ. Але деформації виступу недостатньо для того, щоб зменшити конусність.

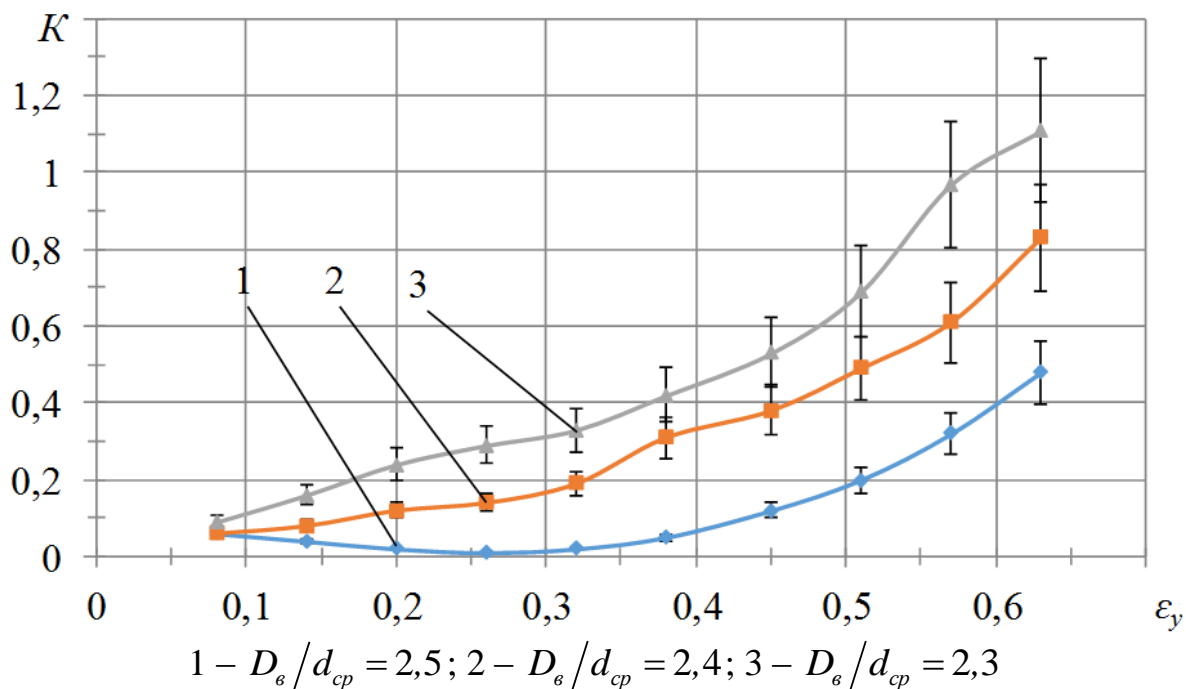


Рисунок 3 – Закономірності зміни конусності K від відносного ступеня деформації уступу ε_y для заготовок з $D_y/d_{cp} = 2,05$

В результаті розкочування заготовок з діаметром уступу $D_y/d_{cp} = 1,85$ найменшу конусність мала поковка, яка була розкочена з заготовки з відносним діаметром виступу $D_e/d_{cp} = 2,5$, а найбільшу – з $D_e/d_{cp} = 2,3$. Аналіз отриманих результатів утворення конусності поковки від ступеня деформації ε (рис. 4) дозволив встановити, що для всіх заготовок зі збільшенням ступеня деформації зміна конусності поковки має різну закономірність. При $D_e/d_{cp} = 2,5$ на початковому етапі конусність збільшується, що пов'язано з деформуванням виступу. Потім конусність має постійне значення, що свідчить про рівномірне збільшення діаметру отвору з боку уступу та виступу. Подальше зменшення конусності пов'язане з більш інтенсивним збільшенням діаметру отвору з боку уступу. При $D_e/d_{cp} = 2,4$ на початковому етапі конусність збільшується, що пов'язано з деформуванням виступу. На відміну від деформування заготовки з $D_e/d_{cp} = 2,5$ конусність знижується при меншому ступені деформації, що пояснюється меншою різницею між діаметрами виступу та уступу. Зниження пов'язане з одночасним деформуванням виступу та уступу та більш інтенсивним зростанням діаметру

отвору з боку уступу. Інтенсивніше зростання діаметру отвору з боку уступу призводить до того, що при ступені деформації $\varepsilon=0,3$ він починає перевищувати діаметр отвору з боку виступу, і конусність знову починає зростати, але в протилежному напрямку. Для поковки з відносним діаметром виступу заготовки $D_e/d_{cp} = 2,3$ конусність одразу починає збільшуватися, що пов'язано з одночасним розкочуванням виступу та уступу. Інтенсивніше зростання діаметру з боку уступу пов'язане з тим, що тонша стінка уступу отримує більший ступінь деформації в порівнянні зі стінкою виступу при однаковій абсолютній величині обтискання.

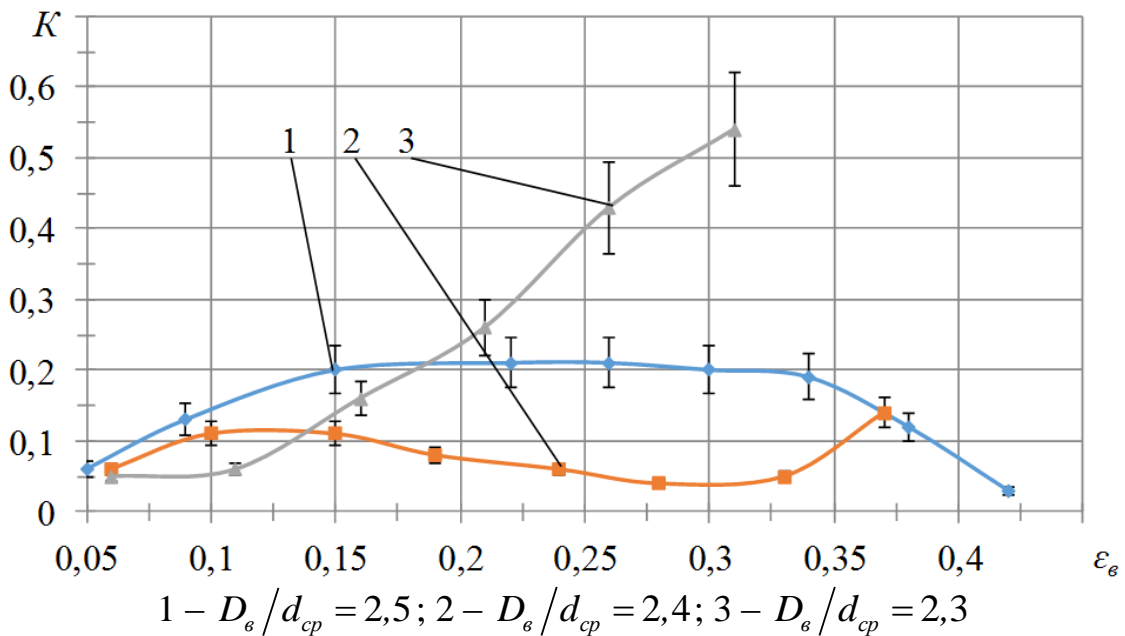


Рисунок 4 – Закономірності зміни конусності K від відносного ступеня деформації виступу ε_e для заготовок з $D_y/d_{cp} = 1,85$

В результаті розкочування заготовок з діаметром уступу заготовки $D_y/d_{cp} = 1,65$ найменшу конусність мала поковка, яка була розкочена із заготовки з відносним діаметром виступу $D_e/d_{cp} = 2,3$, а найбільшу – з $D_e/d_{cp} = 2,5$. Аналіз отриманих результатів утворення конусності поковки від ступеня деформації ε (рис. 5) дозволив встановити, що зі збільшенням ступеня деформації зміна конусності поковки, як і для відносного діаметра уступу заготовки 1,85, має різну закономірність. Для всіх трьох випадків, $D_e/d_{cp} = 2,5$; 2,4; 2,3, конусність починає збільшуватися, що пов'язано з деформуванням виступу. Зменшення конусності відбувається в різний момент для всіх трьох випадків, а саме при різних ступенях деформації, що пояснюється зміною різниці між діаметрами виступу та уступу. Зі зменшенням різниці, уступ починає деформуватися раніше, що призводить до зменшення конусності на більш ранній стадії деформування.

Характерною закономірністю для всіх схем розкочування є інтенсивніше збільшення діаметра отвору з боку уступу, ніж з боку виступу, що пов'язано з тоншою стінкою уступу, у якій при однаковій абсолютній величині деформування (хід бойка 1 мм) формується більший ступінь деформації. Встановлено, що зі зміною різниці між діаметрами виступу та уступу заготовки \bar{h} змінюється форма та величина конусності поковки (рис. 6). Різниця більша, ніж 0,4, призводить до отримання конусної поковки з більшим діаметром з боку виступу, а різниця менша, ніж 0,4 – з боку уступу. При відносній різниці, рівній 0,4, спостерігається мінімальна зміна конусності для усіх ступенів деформації.

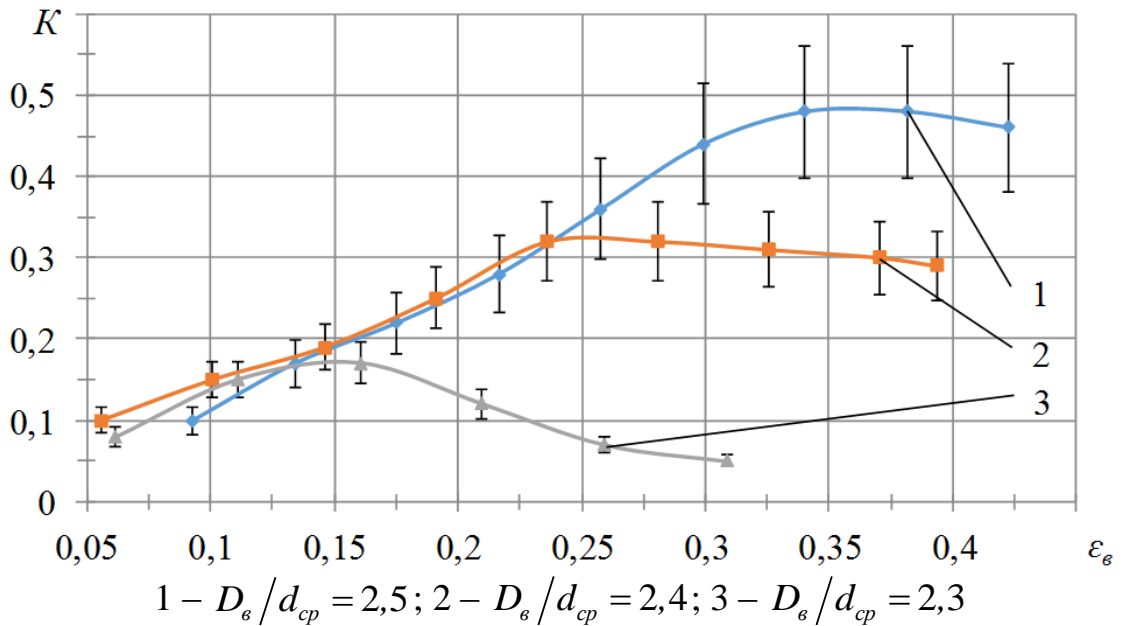


Рисунок 5 – Закономірності зміни конусності K від ступеня деформування виступу ϵ_ϵ для заготовок з $D_y/d_{cp} = 1,65$

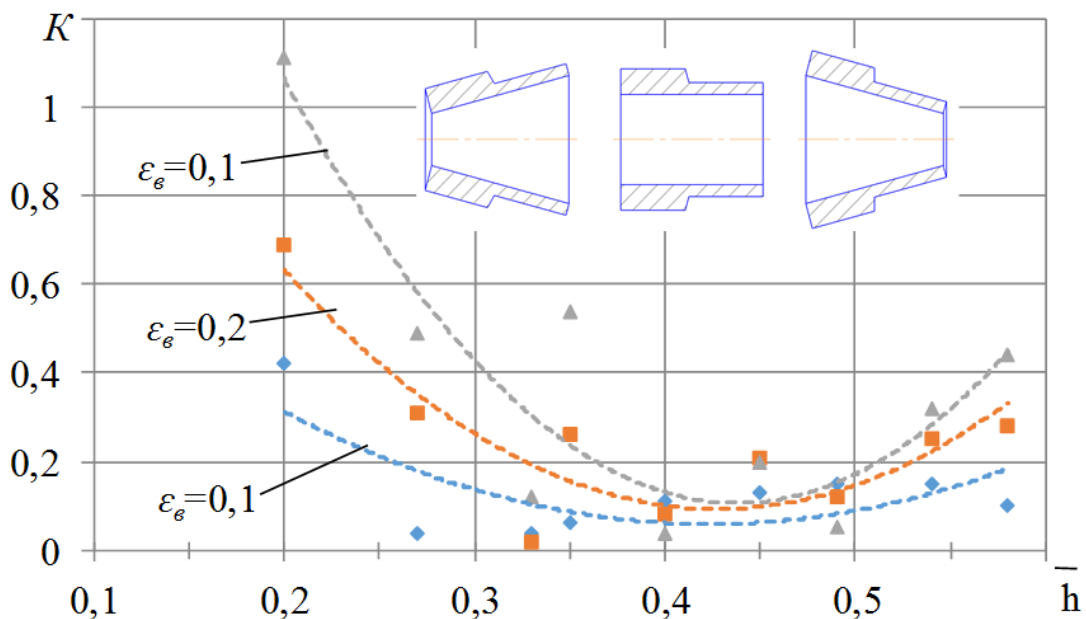


Рисунок 6 – Зміна конусності поковки в залежності від відносної різниці між діаметрами виступу та уступу

За результатами експериментів було отримано три математичні моделі для співвідношення торцевих діаметрів отвору d_e/d_y , відносного діаметра уступу $D_{y.1}/d_y$, відносного діаметра виступу поковки $D_{e.1}/d_e$, відхилення від експериментальних даних складає 8-17%:

$$d_{n.e}/d_{n.y} = 1,147 + 0,391 \times X_1 - 0,487 \times X_2 + 0,17 \times X_1 \times X_2 \times X_3, \quad (1)$$

$$D_{n.y}/d_{n.y} = 1,465 + 0,185 \times X_1 - 0,166 \times X_2 + 0,57 \times X_3 + 0,163 \times X_3^2 + 0,2 \times X_1^2 \times X_2^2 \times X_3^2 - 0,191 \times X_2^2 \times X_3 - 0,16 \times X_1^2 \times X_3^2 - 0,147 \times X_2^2 \times X_3 + 0,099 \times X_1^2 \times X_2, \quad (2)$$

$$D_{n.e}/d_{n.e} = 1,735 + 0,242 \times X_3 + 0,135 \times X_1^2 \times X_2^2 \times X_3^2 - 0,1 \times X_2 \times X_3^2. \quad (3)$$

Перехід від умовних параметрів до натуральних проводиться за наступними формулами:

$$X_1 = \frac{D_e/d_{cp} - 2,4}{0,1}, \quad X_2 = \frac{D_y/d_{cp} - 1,85}{0,2}, \quad X_3 = \frac{\varepsilon - 0,2}{0,1}.$$

Складаючи та вирішуючи систему з отриманих рівнянь, визначаємо параметри заготовки, яка буде розкочуватися.

Для порівняння властивостей поковок за новою та за базовою технологіями було проведено аналіз структури та виміряна твердість. Для цього куванням отримано дві поковки зі сталі ХВГ за технологіями, наведеними на рисунку 7. Обидва зразки підігрівалися до температури 1100°C з витримкою 10 хв. в електричній печі. Експеримент виконувався на однокривошипному пресі КД1426А з максимальною силою деформування 400кН та зі швидкістю 140 ход./хв. Обтискання складало 1 мм за коло для протягування та розкочування. Протягування за обома технологіями виконувалося у вирізних бойках, які були попередньо підігріті разом з оправкою до 150°C. Розкочування за обома технологіями відбувалося на дорні Ø25 мм.

Макроструктурний аналіз поковки, отриманої за базовою технологією, дозволив встановити, що виріб має спрямовану структуру з волокнами паралельними осі (рис. 8, а), а поковка, отримана за новим способом, має структуру з волокнами, які повторюють профіль отриманої поковки (рис. 8, б). З отриманих зображень макроструктури можна встановити, що завдяки новій технології кування в місці зміни товщини стінки волокна металу звужуються і в уступі їх концентрація більша, ніж у виступі. У такий спосіб після механічної обробки отримано виріб з волокнистою структурою, подібною до його контуру.

Мікроструктурний аналіз дозволив встановити, що для базової технології, яка передбачала деформування циліндричної заготовки плоским бойком, характерна наявність зерен перліту, що виділилися по границях зерен аустеніту, які оточені карбідною сіткою (рис. 9). Карбіди спостерігаються у вигляді сітки, що свідчить про слабе опрацювання металу за перерізом поковки.

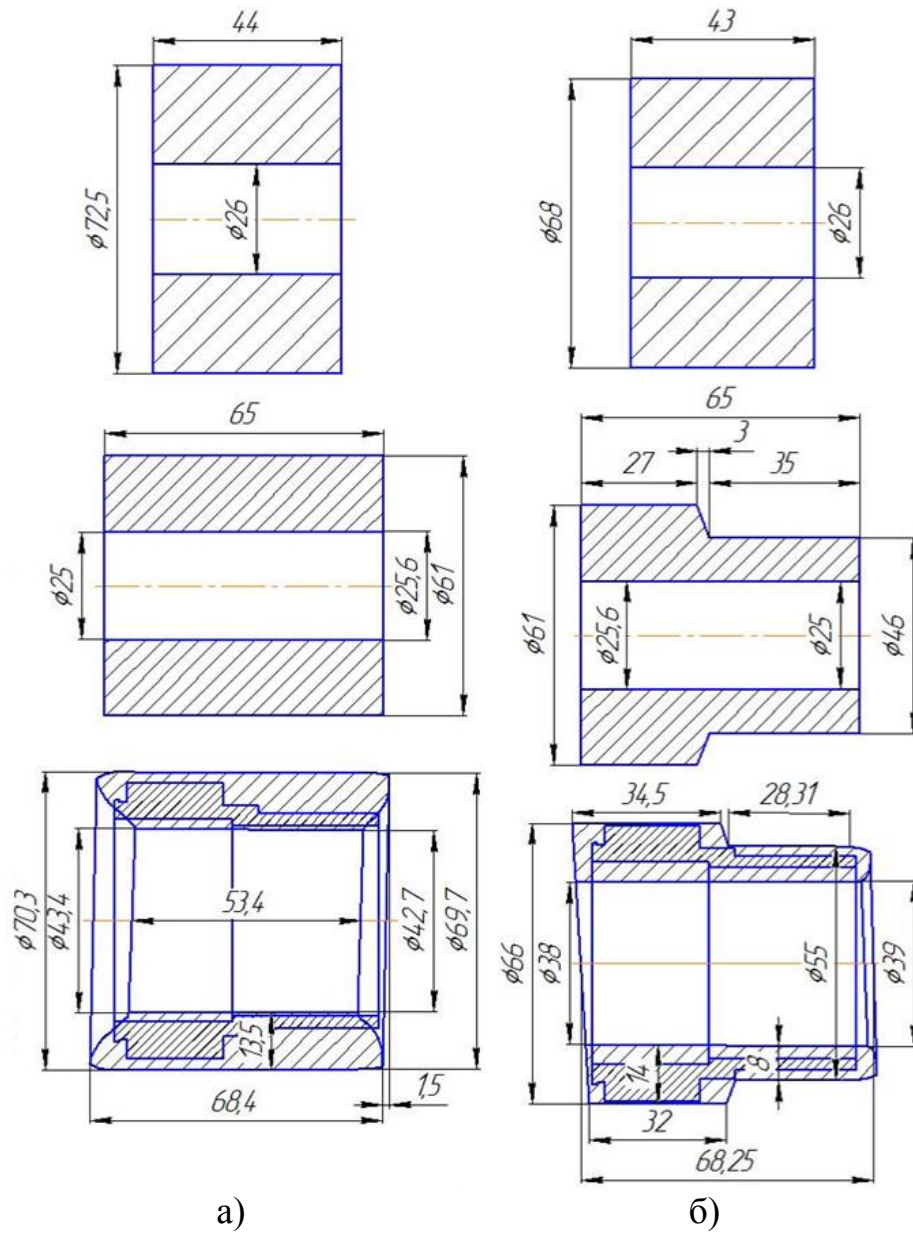


Рисунок 7 – Послідовність операцій базової (а) та нової (б) технологій

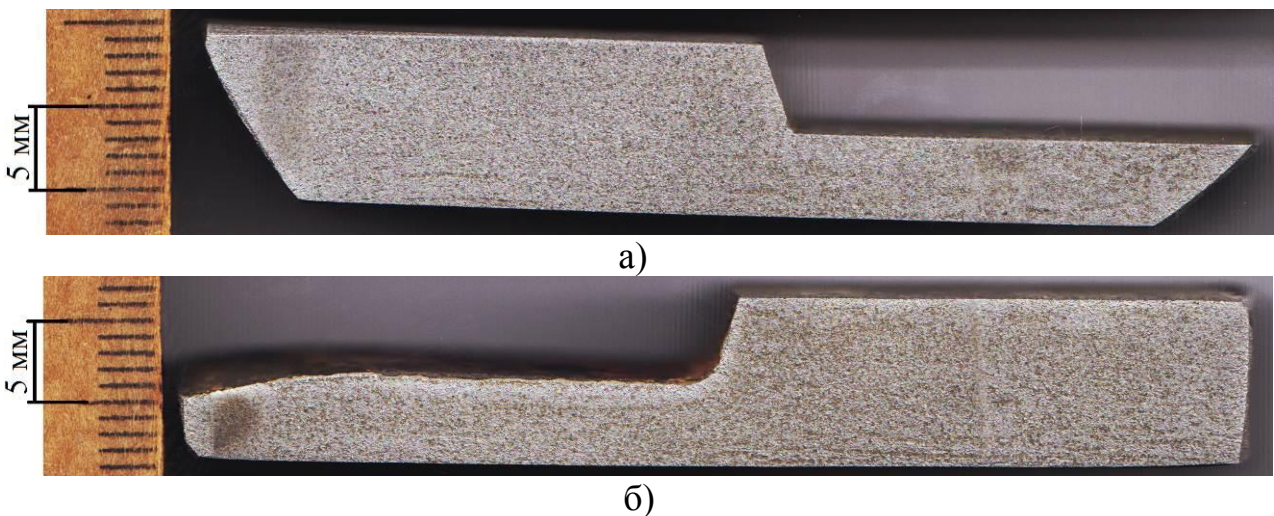


Рисунок 8 – Макроструктурний аналіз поковок, отриманих за базовою (а) та новою (б) технологіями

Для нової технології також спостерігається наявність зерен перліту та сітки карбідів. Але, на відміну від попереднього дослідження, сітка менш виражена, а зерна перліту менші за розміром. Це свідчить про краще пророблення металу. Особливо різниця у розмірах зерен спостерігається в уступах поковок. Аналіз розміру зерен дозволив встановити, що в уступі поковки, яка отримана за новою технологією, зерна менші на 0,025 мм, ніж у поковці отриманій за базовою технологією, а бал зерна складає 4 та 3 одиниці відповідно. Це пояснюється більшим ступенем деформації, який утворився завдяки протягуванню уступу та розкочуванню, в той час коли базова технологія передбачала деформування цієї частини поковки тільки шляхом розкочування. У виступі поковки бал зерна для обох поковок однаковий і складає 3 одиниці, що вказує на однаковий ступінь деформації – з 20 мм товщина стінки зменшується до 14 мм шляхом розкочування.

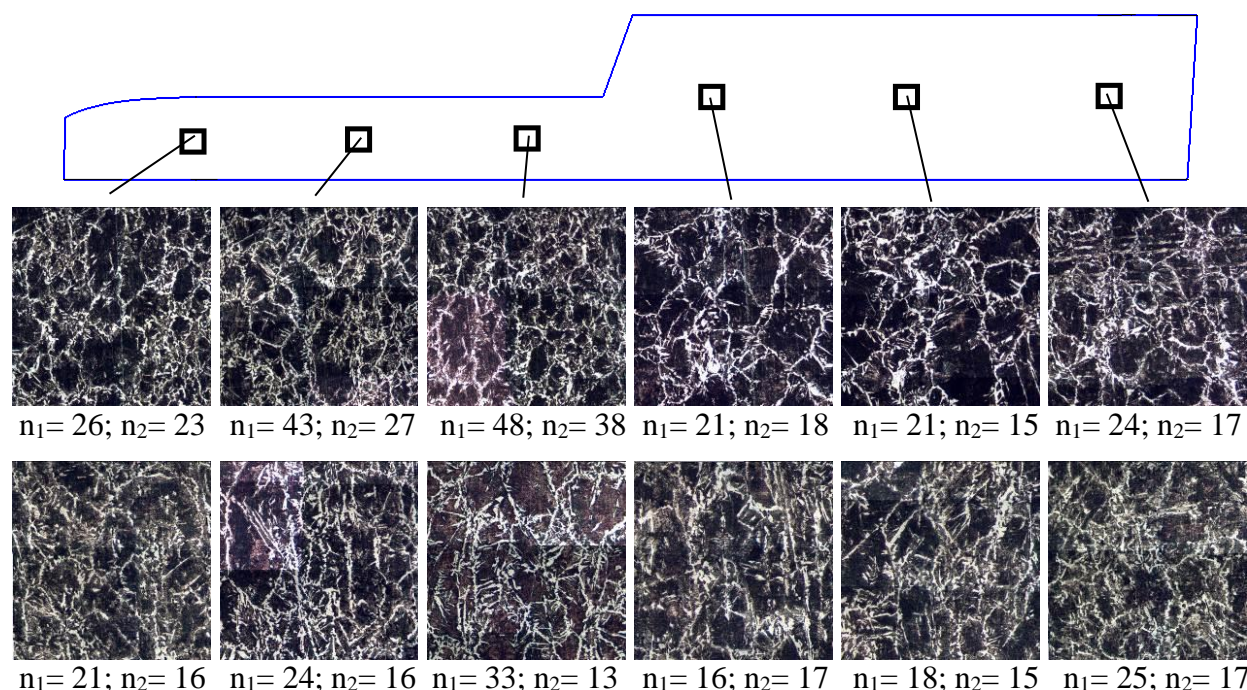


Рисунок 9 – Мікроструктура у характерних точках для поковок, отриманих за новою технологією (верхній ряд) та за базовою (нижній ряд), збільшення x125

Аналіз результатів вимірювання твердості дозволив встановити, що у виступі поковки твердість за обома способами кування приблизно однакова: для нової технології вона в середньому дорівнює 82,17 HRb, для базової – 82,86 HRb. Причому за новою технологією твердість у виступі збільшується від місця зміни товщини стінки до торця виступу поковки. В уступі поковки, яка отримана за новим способом кування, твердість в середньому склала 85,4 HRb, а за базовим способом – 81,65 HRb. Це вказує на більшу деформованість уступу за новим способом через меншу його товщину перед розкочуванням.

У п'ятому розділі на основі результатів теоретичного та експериментального досліджень була розроблена методика проектування технологічного процесу розкочування ступінчастих обичайок. Проаналізовано дефекти, які утворювалися під час розкочування свинцевих зразків. Надано

рекомендації щодо конструювання бойка та запропоновано конструкцію зі змінною частиною для варіювання розмірів ступінчастих обичайок. Надано рекомендації щодо користування отриманими регресійними рівняннями.

Під час експерименту та теоретичного дослідження для трьох схем розкочування (рис. 10) з'явилися затиски. Вони утворилися в зоні зміни товщини стінки. Їх виникнення обумовлене кутом, під яким утворений виступ. В наведеному дослідженні був використаний кут перехідної зони 10° , як на заготовці, так і на бойку. Однак, через те що спочатку деформується виступ, в першому випадку, метал частково затікає під бойок, що спричиняє виникнення затиску. У другому випадку затиск утворюється через радіус округлення на бойку. Метал заповнює зазор між бойком та заготовкою. В третьому випадку, коли спочатку деформується уступ, збільшується конусність. З боку уступу виникає більший діаметр. Кут перехідної зони зменшується, між бойком та заготовкою утворюється зазор, який заповнюється металом, що спричиняє виникнення затиску (рис. 11). З огляду на те, що для всіх схем характерною ознакою є виникнення затиску, для запобігання виникнення цього дефекту під час виконання експериментальних досліджень на сталевих зразках кут в перехідній зоні на бойку був збільшений з 10° до 20° , а на заготовці він отримувався при протягуванні уступу.

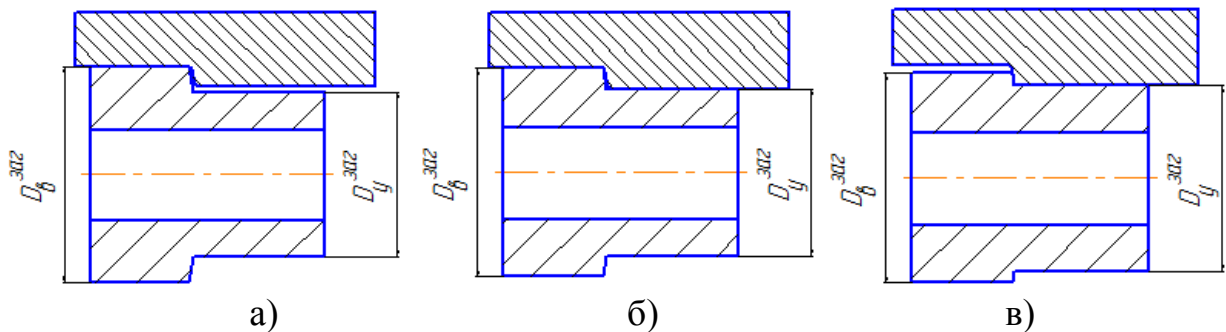


Рисунок 10 – Схеми розкочування:

а – спочатку деформується виступ, б – одночасне деформування виступу та уступу, в – спочатку деформується уступ

Вихідними даними для отримання заготовки є розміри поковки. Під час розрахунку заготовки для розкочування необхідно враховувати сталість об'ємів, діаметр отвору заготовки та ступінь деформації. Ступінь деформації грає важливу роль тому, що від нього залежить формоутворення поковки, через різну товщину стінок виступу та уступу, а також напрямок конусності. Для цього необхідно визначитися з діаметром отвору заготовки, від чого будуть залежати товщини стінок виступу та уступу, а, відповідно, їх діаметри та різниця між ними, яка впливає на конусність поковки. Тому для визначення розмірів заготовки пропонується використовувати регресійні рівняння (1)-(3), які отримані на основі експериментальних досліджень. Три рівняння з трьома невідомими потрібно поєднати в систему. Через взаємодію змінних факторів, які покладені в кожне рівняння, їх вирішення є доволі складним, тому пропонується застосовувати математичні програми для їх обчислення,

наприклад MathCAD. Розроблена модель працюватиме для поковок зі співвідношенням довжини виступу до загальної довжини заготовки $L_g/L = 0,4 \dots 0,5$ та для ступеня деформації $0,1 \dots 0,3$.

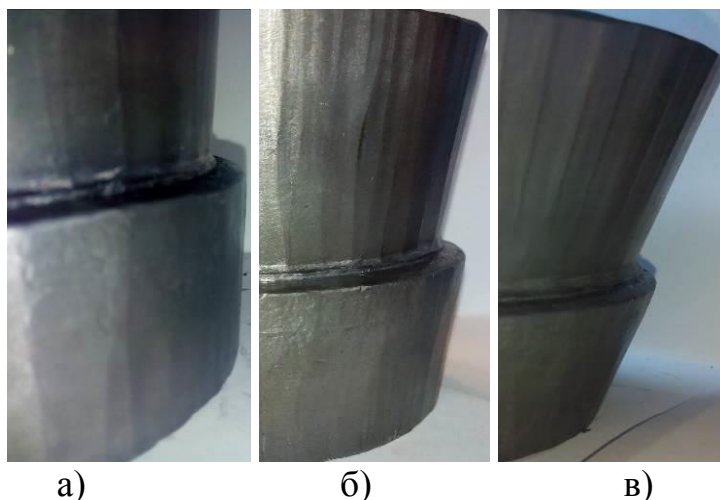


Рисунок 11 – Затиски, утворені при розкочуванні:

а – спочатку деформується виступ, б – одночасне деформування виступу та уступу, в – спочатку деформується уступ

За результатами роботи запропоновано спосіб розкочування поковок зі змінною товщиною стінки, на який отримано патент (№ 122773), технологічний процес кування подібних поковок, конструкція бойка зі ступінчастою поверхнею. Розрахунки дозволили встановити, що при виготовленні виробу вагою 46 т економія металу складає 28,6% внаслідок зменшення напуску, в порівнянні з чинною технологією. Завдяки зміні форми поковки собівартість виготовлення пустотілих деталей з односторонніми виступами знизилася на 10-15% в умовах виробництва ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», що підтверджено актом впровадження.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена актуальному науково-технічному завданню з розширення можливостей процесів кування на гідравлічному пресі внаслідок використання профільованого інструменту для підвищення ефективності виготовлення виробів з профільованою поверхнею шляхом наближення форми поковки до форми деталі, що призводить до удосконалення процесу розкочування завдяки отриманню профільованої поверхні пустотілих поковок, в результаті чого зменшується їх металомісткість, підвищується якість виробів завдяки направленій течії металу та розширюється їх номенклатура.

1. Аналіз літературних джерел дозволив визначити, що обичайки з фланцями та буртами, отримані куванням, набувають все більшого застосування у конструкціях реакторів АЕС, оскільки подовжують термін їх роботи. Встановлено пріоритетні напрямки та завдання для виготовлення крупних кільцевих поковок, які полягають у застосуванні профільованого

інструменту, який дозволяє підвищити якість виробів внаслідок отримання направленої волокнистої структури та зменшити матеріальні витрати.

2. Комп'ютерне моделювання процесу розкочування пустотілої поковки зі змінною товщиною дозволило визначити НДС та параметри процесу, які найбільше впливають на формоутворення при деформуванні. Встановлено, що зміна геометричних параметрів, ступеня деформації та схем деформування впливають на режими досліджуваних процесів розкочування, які відрізняються кількістю зон в осередку деформації.

3 Під час одночасного деформування виступу та уступу заготовки, різниця між відносними діаметрами яких дорівнює 0,43, поковка має конусну форму з більшим діаметром з боку уступу, що пояснюється більшим ступенем деформації в уступу, ніж у виступі. При розкочуванні заготовки з різницею відносних діаметрів 0,58, до ступеня деформації виступу $\varepsilon_\varepsilon = 0,2$ уступ не деформується й утворюється конічна поковка з більшим діаметром з боку виступу. При $\varepsilon_\varepsilon > 0,2$ починає деформуватися уступ, що призводить до зменшення конусності через інтенсивне збільшення діаметра уступу. В обох випадках інтенсивне збільшення діаметра уступу пояснюється тоншою стінкою уступу, в якій формується більший ступінь деформації.

4. Експериментальні дослідження на модельних зразках дозволили встановити, що зі зміною різниці між діаметрами виступу та уступу заготовки (величиною сходинки) \bar{h} змінюється форма і величина конусності поковки. При $\bar{h} > 0,45$ буде отримана конусна поковка з більшим діаметром з боку виступу, а при $\bar{h} < 0,4$ – з боку уступу. При відносній різниці у діапазоні 0,4...0,45 спостерігається мінімальна зміна конусності для усіх ступенів деформації. Це дозволяє розширити номенклатуру кільцевих виробів та підвищити їх точність.

5. За результатами експериментальних досліджень на свинцевих зразках на основі регресійного аналізу отримані регресійні рівняння для визначення відносного діаметра виступу поковки, відносного діаметра уступу поковки та співвідношення діаметрів отвору з боку виступу та уступу поковки від відносного діаметра виступу заготовки D_ε/d_{cp} , відносного діаметра уступу заготовки D_y/d_{cp} та ступеня деформації ε . Отримані регресійні рівняння дійсні для $D_\varepsilon/d_{cp} = 2,5... 2,3$; $D_y/d_{cp} = 2,05...1,65$ та $\varepsilon_\varepsilon = 0,1...0,3$ та при співвідношенні довжини виступу до загальної довжини $L_\varepsilon/L = 0,4...0,5$.

6. Аналіз макро- та мікроструктури кільцевої поковки зі змінною товщиною стінки зі сталі ХВГ дозволив встановити, що завдяки використанню пропонованого способу кування, який полягає у протягуванні уступу у вирізних бойках та подальшому розкочуванні отриманої заготовки ступінчастим бойком, волокна металу повторюють контур деталі. Зерна в уступі за новою технологією менші на 0,025 мм, ніж за базовою, а бал зерна складає 4 та 3 одиниці відповідно, що сприяє підвищенню його механічних властивостей. Насамперед твердість в уступі за пропонованим способом більша на 4-6 одиниці HRb, ніж за базовою, яка полягала у розкочуванні пустотілої заготовки

прямокутного перерізу плоским бойком. Зміна твердості виникає через більше подрібнення кристалічної будови при використанні запропонованого способу кування завдяки протягуванню уступу та виникненню більшої деформації в уступі при розкочуванні.

7. На основі теоретичних та експериментальних досліджень встановлена зміна НДС ступінчастої поковки в процесі розкочування, що дозволило виявити дефект у вигляді кільцевого затиску, який виникає на перехідній зоні біля основи виступу під час розкочування ступінчастим бойком. Встановлено, що на утворення дефекту впливають геометрія зони зміни товщини стінки, кут нахилу на інструменті та схема деформування. Зі зменшенням величини ступені розмір затиску зменшується. Надано рекомендації щодо усунення дефектів, які були використані при розробці конструкції ступінчастого бойка для розкочування, які полягають у збільшенні кута ступінчастого переходу до 20° .

8. На основі результатів досліджень розроблені рекомендації та методика проектування технологічних процесів кування обичайок з фланцем, яка полягає у застосуванні регресійних рівнянь при розрахунку геометричних параметрів профільованої заготовки для розкочування під час розробки технологічного процесу кування обичайок з фланцем. На спосіб розкочування заготовок ступінчастим бойком отримано патент на корисну модель. Розроблений універсальний інструмент для розкочування розширює номенклатуру отримуваних кільцевих виробів завдяки змінній вставці, що дозволяє зменшити величину напуків шляхом варіювання висоти перехідної зони.

9. Методичні матеріали та рекомендації з проектування технологічного процесу та бойка для розкочування кільцевих поковок передані для промислового освоєння. Завдяки зміні форми поковки собівартість виготовлення пустотілих деталей з односторонніми виступами в цілому знизилася на 10-15% в умовах виробництва ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», що підтверджено актом впровадження. Розрахунки дозволили встановити, що завдяки отриманню обичайки з фланцем використання металу зменшується на 28,6% в порівнянні з отриманням обичайки прямокутного профілю. Результати теоретичних і експериментальних досліджень використовуються студентами кафедр ОМТ та МПФ при виконанні проектних та практичних робіт.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Development of forging processes using intermediate workpiece profiling before drawing: research into strained state / [O. E. Markov, A. V. Perig, M. S. Kosilov et al.] // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. – 2017. – №39. – С. 4649–4665. – <https://doi.org/10.1007/s40430-017-0812-y>

2. Аналіз формозміни та деформованого стану пустотілої ступінчастої поковки в процесі розкочування / О. Є. Марков, М. С. Косілов, О. В. Герасіменко, С. О. Шевцов // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. – №3. – С. 47–53. – <http://dx.doi.org/10.20535/2521-1943.2017.81.115224>

3. Особливості процесу виготовлення пустотілих поковок з буртом та фланцем / О. Є. Марков, М. С. Косілов, О. В. Герасименко, С. О. Шевцов // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2017. – №2. – С. 85–91. – DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2521-1943.2017.80.109575>
4. Аналіз формозміни та деформованого стану тонкостінної трубної заготовки за новим способом деформування / О. Є. Марков, А. О. Шарун, О. В. Герасименко, М. С. Косілов // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2018. – №1 (82). – С. 28-33. – <http://dx.doi.org/10.20535/2521-1943.2018.82.112353>
5. Дослідження формозміни та деформованого стану східчастих заготовок під час розкочування профільованим бойком / М. С. Косілов, О. Є. Марков, О. В. Герасименко, Є. В. Інчаков // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КрНУ, 2017. – №5. – С. 82–88.
6. Дефектоутворення на обичайках з одностороннім уступом під час розкочування профільованим східчастим інструментом / М. С. Косілов, О. В. Герасименко, О. Є. Марков, А. С. Хващинський // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. – Кременчук, 2018. – №2(109). – С. 41–47. – DOI: 10.30929/1995-0519.2018.2.p1.41-47
7. Моделювання деформованого стану східчастих пустотілих поковок в процесі розкочування / М. С. Косілов, О. Є. Марков, О. В. Герасименко, С. О. Шевцов // *Вісник НТУ «ХПІ». Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії*. – Харків, 2017. – № 35. – С. 25–29.
8. Дослідження формозмінення поковки при розкочуванні інструментом ступінчастої форми / О. Є. Марков, М. С. Косілов, В. Ю. Станков, П. І. Різак // *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць*. – Краматорськ: ДДМА, 2017. – №40,. – С. 130-137.
9. Влияние угла клиновых бойков 160° на схему напряженного состояния поковки в процессе протяжки / В. Н. Злыгорев, О. Е. Марков, М. С. Косілов, П. И. Ризак // *Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2016. – №2 (43). – С. 51-56.
10. Современные тенденции изготовления тонкостенных пустотелых поковок для энергетической промышленности / [О. Е. Марков, А. И. Лобанов, М. С. Косілов и др.] // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. – 2017. – №1(40). – С. 5–10.
11. Разработка новых заготовок для поковок ответственного назначения / О. Е. Марков, А. В. Герасименко, М. С. Косілов, С. А. Шевцов // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. – 2017. – №2(41). – С. 124–130.
12. Пат. 122773 Україна, МПК (2006) В 21 J 5 / 00. Спосіб кування кільцевих поковок зі ступінчастою поверхнею / О. Є. Марков, О. І. Лобанов, М. С. Косілов, А. О. Шарун, Є. В. Інчаков, заявник та власник патенту Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201707819; заявл. 25.07.2017; опубл. 25.01.2018, бюл. № 2. – 4 с.
13. Пат. 117176 Україна, МПК (2017.01) В 21 J 5/00. Спосіб кування опорних валків / П. П. Кальченко, О. Є. Марков, М. С. Косілов, А. В. Коляденко; заявник та власник патенту Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201609278; заявл. 05.09.2016; опубл. 26.06.2017, бюл. № 12. – 4 с.

14. Пат. 118042 Україна, МПК (2017.01) В 21 J 5/00. Спосіб кування криволінійних плит / П. П. Кальченко, О. Є. Марков, М. С. Косілов, А. О. Шарун; заявник та власник патенту Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201612114; заявл. 29.11.2016; опубл. 25.07.2017, бюл. № 14. – 5 с.

15. Косілов М. С. Способы получения пустотелых поковок для энергетической промышленности / М. С. Косілов, Е. В. Инчаков // Міжнародна науково-технічна конференція «Університетська наука-2017»: зб. тез доповідей у 3-х томах. Маріуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2017– С. 174-175.

16. Дослідження процесів кування порожнистих поковок відповідального призначення / О. Є. Марков, А. О. Шарун, М. С. Косілов, К. В. Орлик // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17–18 листопада 2016.) – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – С. 267–269.

17. Розробка нових заготовок для поковок відповідального призначення / О. Є. Марков, О. В. Герасименко, М. С. Косілов, С. О. Шевцов // Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарному виробництві : матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції, 25–28 вересня 2017 р. – Краматорськ : ДДМА, 2017. – С. 88.

18. Косілов М. С. Дослідження деформованого стану та формоутворення ступінчастої поковки під час розкочування / М. С. Косілов, О. В. Герасименко // Ресурсозбереження та енергоефективність процесів і обладнання обробки металів тиском у машинобудуванні та металургії : матеріали IX міжнародної науково-технічної конференції, 22–24 листопада 2017 р., Харків – 2017. – С. 35.

19. Косілов М. С. Аналіз формозміни обичайок з виступом при розкочуванні профільованим бойком / Косілов М. С., Герасименко О. В. // Матеріали XXV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства», 25 – 26 квітня 2018 р., Кременчук – 2018. – С. 75–76.

Додатково наукові результати відображені в роботах:

20. Разработка нового способаковки днищ / [О. Е. Марков, В. Ю. Станков, М. С. Косілов и др.] // Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2017. – №2(45). – С. 63–66.

21. Использование выпуклых бойков для повышения качества крупных плит / В. Н. Злыгорев, О. Е. Марков, М. С. Косілов, Н. И. Нагиев // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2016. – № 1 (19Е). – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma_2016_1_10

22. Современные способы получения тонкостенных деталей ответственного назначения / О. Е. Марков, А. О. Шарун, М. С. Косілов, Е. В. Инчаков. // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2017. – №1(44). – С. 115–122.

23. Пат. 118099 Україна, МПК (2017.01) В 21 J 5/00. Спосіб протягування заготовок з карбідних сталей / П. П. Кальченко, В. М. Олешко, О. Є. Марков, В. В. Антонов, М. С. Косілов, А. О. Шарун; заявник та власник патенту Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201700269; заявл. 10.01.2017; опубл. 25.07.2017, бюл. № 14. – 5 с.

Особистий внесок автора в роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1, 20] – аналіз деформованого стану поковок на основі математичного моделювання; [2, 3, 7, 8] – моделювання процесу розкочування пустотілої поковки з фланцем та аналіз деформованого стану поковки; [4] – аналіз деформованого стану протягнутої трубної поковки; [5, 18] – моделювання процесу розкочування поковок з виступом та проведення експериментів на свинцевих зразках; [6] – виконання експериментальних досліджень на свинцевих зразках та аналіз причини утворення дефектів; [9] – огляд літератури та визначення переваги використання клинових бойків; [10, 16] – аналіз стану питання виготовлення пустотілих поковок для енергетичної промисловості; [11, 17] – огляд способів вдосконалення наявних заготовок для кування; [12] – пошук та аналіз наявних способів розкочування пустотілих поковок та запропонована конструкція інструменту; [13] – пошук та аналіз способів осаджування для виготовлення поковок типу валків; [14] – пошук та аналіз способів кування плит для виготовлення кільцевих збірних виробів; [15] – пошук та аналіз існуючих способів розкочування пустотілих поковок; [19] – обробка експериментальних даних деформування зразків ступінчастим інструментом; [21] – аналіз НДС заготовок після протягування випуклими бойками; [22] – обробка статистичних даних, отриманих при моделюванні; [23] – проаналізовано механічні властивості при протягуванні зі змінним ступенем деформації.

АНОТАЦІЯ

Косілов М. С. Удосконалення технологій кування пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки способом розкочування ступінчастим інструментом. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – Процеси та машини обробки тиском. – Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2018.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної науково-технічної задачі удосконалення технологій кування пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки шляхом використання ступінчастого інструменту.

В результаті скінченно-елементного моделювання було встановлено, що при одночасному деформуванні на початковій стадії процесу розкочування виступу та уступу заготовка набуває конусної форми з більшим діаметром отвору з боку уступу. Збільшення різниці між діаметрами виступу та уступу призвело до деформування на початковій стадії розкочування виступу, а при подальшому розкочуванні – до одночасного деформування виступу та уступу.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням методу планування експерименту. Визначені закономірності формозміни заготовки в процесі розкочування, які враховують вплив розмірів поковки та ступеня деформації. Механічні властивості поковки встановлено шляхом вимірювання твердості. Встановлено, що в уступі за новою технологією твердість більша на 4-6 одиниць HR_B. Поковка, яка отримана новим способом, має макроструктуру з напрямком волокон, подібним профілю виробу.

Надано методику та рекомендації щодо проектування технологічного процесу кування пустотілих поковок зі змінною товщиною стінки та рекомендації щодо конструкції ступінчастого бойка. Завдяки зміні форми поковки собівартість виготовлення пустотілих деталей з односторонніми виступами знизилася на 10-15% в умовах виробництва ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», що підтверджено актом впровадження.

Ключові слова: розкочування, кільцева поковка, ступінчастий боек, обичайка з фланцем, напружено-деформований стан, метод скінчених елементів, макроструктура, протягування, напуск, конусна обичайка.

АННОТАЦІЯ

Косилов М. С. Совершенствование технологийковки пустотелых поковок с переменной толщиной стенки способом раскатки ступенчатым инструментом. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением. – Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, 2018.

Диссертационная работа направлена на решение актуальной научно-технической задачи совершенствования технологийковки пустотелых поковок с переменной толщиной стенки путём использования ступенчатого инструмента.

В результате конечно-элементного моделирования было установлено, что при одновременном деформировании на начальной стадии процесса раскатки выступа и уступа образуется конусная поковка с большим диаметром отверстия со стороны уступа. Увеличение разницы между диаметрами выступа и уступа привело к деформации на начальной стадии раскатки выступа, а при дальнейшей раскатке – к одновременному деформированию выступа и уступа.

Экспериментальные исследования проводились с использованием метода планирования эксперимента. Определены закономерности формоизменения заготовки в процессе раскатки, которые учитывают влияние размеров поковки и степени деформации. Механические свойства поковки установлены путём измерения твердости. Установлено, что в уступе по новой технологии твердость больше на 4-6 единиц HRb. Поковка, полученная новым способом, имеет макроструктуру с направлением волокон, подобным профилю изделия.

Предложена методика и рекомендации по проектированию технологического процессаковки пустотелых поковок с переменной толщиной стенки и рекомендации по конструкции ступенчатого бойка. Благодаря изменению формы поковки себестоимость изготовления пустотелых деталей с односторонним выступом снизилась на 10-15% в условиях производства ЧАО «Новокраматорский машиностроительный завод», что подтверждено актом внедрения.

Ключевые слова: раскатка, кольцевая поковка, ступенчатый боек, обечайка с фланцем, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, макроструктура, протягивание, напуск, конусная обечайка.

ABSTRACT

Kosilov M. S. Improvement of forging technologies of hollow forgings with varying wall thickness by enlarging by a stepped tool. – On the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.03.05 – Processes and machines of plastic working. – Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, 2018.

The dissertation work is aimed at solving the actual scientific and technical problem of improving the forging technology of hollow forgings with varying wall thickness by using a stepped tool.

As a result of finite-element simulation, it was found that the work becomes a conical shape with a large hole diameter from the ledge while salient and the ledge are simultaneous deformation at the initial enlarging stage. This fact can be explained a large degree of deformation in the salient than in the ledge. In this regard, it was considered a scheme envisaged an increase in the difference between the diameters of the ledge and the salient. Thus, the degree of deformation in the salient was elevated and conical forging with a larger diameter of the hole from the salient was obtained. Based on the analysis of the stress-strain state of two enlarging schemes, the formation peculiarities of the conical form of forgings were established and the characteristic deformation zones were found.

An experiment planning method was used and enlarging samples were made for experimental studies. It took into account the case of simultaneous deformation at the initial stage the salient and the ledge and the case of salient enlarging at the initial stage. As a result, regularities of shaping the workpiece during the enlarging were obtained. It took into account the effect of the forging size and the degree of deformation at the workpiece dimensions. Based on these regularities, a mathematical model for determining the workpiece was developed. The model's rejection from the experimental data was 8–17%. To confirm the advantages of the proposed enlarging method, experiments on steel specimens were carried out. Thanks to it, the mechanical properties of forging were obtained. Thus, the hardness index in the ledge of the new technology is greater by 4-6 HRb than the base, due to the crushing of the crystalline structure during the stretching of the ledge and the occurrence of greater deformation in the ledge during enlarging by step die. As a result of macrostructural analysis, the forging has a directed structure. It's fibers are parallel to the axes. The forging obtained by a new way has fibers repeated the profile of the product.

The technique and recommendations for calculation the technological process of forging hollow forgings with varying wall thickness. The recommendations for step die designing are developed. Due to the change in the form of forging the cost of manufacturing hollow parts with one-sided salient has decreased by 10-15% under the conditions of production of PrSC «Novokramatorskiy Mashinostroitelny Zavod», which is confirmed by the implementation act.

Key words: enlarging, ring forging, step die, shell with flange, the stress-strain state, finite element method, macrostructure, drawing, fall-over, conical shell.

Підп. до друку 05.10.2018 Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 1,3. Обл.-вид. арк. 0,9.

Тираж 120 пр. Зам. №101.

Видавець і виготівник

Донбаська державна машинобудівна академія

84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК №1633 від 24.12.2003