

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

МАРКОВА МАРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 621.735.3-416

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ВИГОТОВЛЕННЯ ПУСТОТІЛИХ ПОКОВОК НА ОСНОВІ СПОСОБУ
КУВАННЯ БЕЗ ОПРАВКИ**

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 Іграмотдін Сєражутдінович,
Донбаська державна машинобудівна академія
(м. Краматорськ), завідувач кафедри «Обробка металів тиском» (ОМТ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кухар Володимир Валентинович,
Державний вищій навчальний заклад
«Приазовський державний технічний університет»
(м. Маріуполь), завідувач кафедри «Обробка металів тиском»;

кандидат технічних наук, доцент
Ашкелянець Антон Володимирович,
Національна металургійна академія України
(м. Дніпро), доцент кафедри «Обробка металів тиском».

Захист відбудеться «28» жовтня 2016 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.01 при Донбаській державній машинобудівній академії (84313, м. Краматорськ, вул. Академічна (Шкадінова), 72, ауд. 1319).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії (84313, м. Краматорськ, вул. Академічна (Шкадінова), 72).

Автореферат розісланий «__» вересня 2016 р.

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



Ю. К. Доброносів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Пріоритетним напрямком розвитку важкого машинобудування України є підвищення якості деталей відповідального призначення для поліпшення їх експлуатаційних характеристик і зниження витрат на їх виробництво. У сучасних умовах існує затребуваність в одержанні, підвищенні якості й зниженні витрат на виготовлення великогабаритних пустотілих деталей відповідального призначення. До таких деталей відносяться пустотілі циліндри із дном (пустотілі плунжери й корпуси потужних гідравлічних циліндрів) і товстостінні труби з малим діаметром отвору.

Основні існуючі методи виробництва пустотілих циліндрів із дном передбачають приварку дна до пустотілих циліндрів. Отримані даним способом деталі не гарантують суцільності металу дна й корпусу циліндра. Це у свою чергу знижує ударну в'язкість і міцність металу деталі в зоні зварного шва. Із цієї причини можливий обрив дна циліндра внаслідок дії високих знакозмінних навантажень.

Менш розповсюджені способи одержання пустотілих заготовок з дном на основі застосування кування трубної заготовки із заковом дна не забезпечують повного змикання й заварювання отвору заготовки внаслідок окисленої поверхні металу заготовки в процесі гарячого деформування. Дані способи одержання пустотілих заготовок з дном не забезпечують герметичності дна одержуваних заготовок, і такі поковки не можуть бути використані для виготовлення пустотілих плунжерів або корпусів гідравлічних циліндрів з бічною подачею рідини високого тиску.

Більше того, при куванні товстостінних труб з діаметром отвору менш 350 мм неможливе застосування оправки внаслідок її сильного розігріву й деформації в процесі кування. У цьому випадку видалення оправки з поковки стає неможливим. На виробництві ця проблема вирішується закриттям отвору напуском, що приводить до високої витрати металу.

Розширення технологічних можливостей і підвищення техніко-економічних показників процесів кування пустотілих поковок вимагає розробки нових схем деформування. У значній мірі рішенню цих завдань сприяє розробка й впровадження в промисловість нових прогресивних технологій виготовлення суцільно кованих пустотілих заготовок без використання оправки.

У сучасній теорії й практиці з обробки металів тиском (ОМТ) відсутні наукові основи проектування процесів і рекомендації для кування пустотілих заготовок без застосування оправки. Це унеможлиблює розробку ресурсозберігаючих процесів кування пустотілих поковок. У цьому зв'язку необхідність розробки науково обґрунтованої методики проектування нових технологічних процесів кування пустотілих циліндрів без оправки, з метою розширення технологічних можливостей і підвищення техніко-економічних показників процесів кування пустотілих поковок, представляє значний науковий і практичний інтерес і підтверджує актуальність теми дисертаційної роботи.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки «Новітні ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі» та науковому напрямку «Розвиток ресурсозберігаючих процесів обробки тиском на основі створення нових технологічних способів і методик аналізу закономірностей пластичного деформування» наукової школи кафедри ОМТ Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА). Робота виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР) ДДМА, передбачених планами Міністерства освіти і науки України (роботи 0111U006174, 0112U001244, 0113U000608, 0116U003614), при виконанні яких авторка брала участь як виконавець.

Мета й завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи – розширення технологічних можливостей і підвищення техніко-економічних показників процесів кування пустотілих поковок на основі застосування способу кування без оправки.

Для досягнення зазначеної мети поставлені й вирішені наступні завдання:

- проаналізувати існуючі технологічні процеси кування пустотілих заготовок із дном і товстостінних труб з малим діаметром отвору, розробити напрямки їхнього подальшого вдосконалення;
- розробити методику проведення теоретичних і експериментальних досліджень моделювання процесів кування пустотілих заготовок без оправки;
- встановити вплив діаметру отвору у вихідної заготовки на подовження поковки й зміну товщини стінки в процесі кування без оправки;
- запропонувати новий параметр оцінки інтенсивності подовження поковки, що дозволить оцінити ступінь заковування осьового отвору через зміну площі поперечного перерізу пустотілої заготовки в процесі кування;
- встановити закономірності розподілу параметрів НДС пустотілої заготовки в процесі протягування без оправки залежно від різних розмірів заготовки, режимів кування й геометрії інструмента, що дозволить встановити схему кування з рівномірним розподілом деформацій у тілі заготовки;
- визначити формозміну й інтенсивність подовження пустотілої заготовки в процесі кування без оправки бойками різної геометрії при різних технологічних режимах протягування, що дозволить розробити нову схему кування з мінімальним заковуванням отвору;
- провести верифікацію теоретичних результатів моделювання формозміни заготовки при куванні без оправки експериментальними дослідженнями;
- на основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розробити рекомендації з удосконалення технологій та оснащення для кування пустотілих заготовок без оправки;
- спроектувати ефективну геометрію вирізних бойків, яка забезпечує мінімальне заковування отвору при куванні без оправки;
- розробити методику проектування технологічних процесів кування без оправки пустотілих заготовок, що дозволить розширити технологічні можливості процесів кування;
- виконати дослідно-промислову апробацію нового технологічного процесу кування пустотілих заготовок без оправки й впровадити його у виробництво.

Об'єкт дослідження. Технологічні процеси й інструмент для кування пустотілих поковок.

Предмет дослідження. Закономірності формозміни, технологічні можливості й параметри напружено-деформованого стану (НДС) заготовок у процесі кування без оправки пустотілих поковок.

Методи дослідження. Теоретичне дослідження НДС реалізоване на основі методу скінчених елементів (МСЕ). Формозміну заготовки в процесі кування без оправки визначали експериментом у лабораторних умовах, які ґрунтуються на законах подоби й моделювання. При обробці результатів експериментів застосовувалися методи математичної статистики. Вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечена дотриманням відповідних сучасних методик при проведенні експериментів і підтверджена відповідністю експериментальних даних з результатами теоретичних розрахунків.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше встановлено на основі теоретичного дослідження, що в процесі кування пустотілих заготовок без оправки зі збільшенням діаметру отвору вихідної заготовки інтенсивність подовження заготовки знижується, а максимальне збільшення товщини стінки в процесі кування без оправки відбувається при діаметрі отвору 0,6 від зовнішнього діаметру заготовки.

2. Вперше на основі МСЕ встановлено закономірності розподілу параметрів НДС пустотілої заготовки в процесі протягування без оправки залежно від різних вихідних співвідношень розмірів заготовки, ступеня обтиснення, величини подачі й геометрії інструмента, що дозволило встановити схему кування з рівномірним розподілом деформацій у тілі заготовки.

3. Вперше для процесів кування пустотілих заготовок без оправки запропонований параметр оцінки інтенсивності подовження заготовки, який дозволяє оцінити ступінь заковування осьового отвору через зміну площі поперечного перерізу пустотілої заготовки в процесі кування.

4. Розширено уявлення щодо впливу величини подачі, кутів вирізів і кутів скосів вирізних бойків на формозміну отвору пустотілої заготовки, що дозволило встановити ефективну геометрію інструмента, режими кування й розробити нову схему деформування без оправки з мінімальним заковуванням отвору.

Практичну цінність дисертаційної роботи представляють наступні її основні результати:

– запропоновано новий спосіб деформування пустотілих заготовок без оправки вирізними бойками зі скосами, який розширює технологічні можливості процесу кування;

– розроблено методику проектування технологічних процесів кування, яка полягає у визначенні діаметра отвору вихідної заготовки перед протягуванням без оправки залежно від діаметру отвору поковки й ступеня деформації;

– розроблені нові технологічні процеси, механічні режими деформування й геометрія деформуючого інструмента для кування пустотілих заготовок без оправки, які дозволяють інтенсифікувати процес протягування й забезпечують рівномірний розподіл деформацій у тілі поковки.

Економічний ефект від впровадження нових технологічних процесів кування пустотілих заготовок на ПАТ «НКМЗ» з урахуванням часткової участі склав 576 000 грн. за рівнем цін 2015 р., а на ПАТ «ЕМСС» – 175 000 грн. за рівнем цін 2014 р.

Науково-практичні розробки, виконані в дисертації, використовуються в навчальному процесі й НДР кафедри ОМТ ДДМА при вивченні дисциплін «Технологія кування» та «Кування великогабаритних поковок», а також при виконанні студентами спеціальності «Обробка металів тиском» курсових, дипломних проектів і магістерських робіт.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно здійснена постановка мети й завдань дисертаційної роботи, виконаний аналіз літературних джерел і розроблені скінчено-елементні моделі процесів кування пустотілих заготовок без оправки. Проведено експериментальні дослідження й запропоновані рекомендації із проектування технологічних процесів кування пустотілих циліндричних заготовок без оправки. Розроблені та запропоновані для промислового освоєння технологічні процеси й інструмент для кування без оправки. Внесок здобувача в роботах, опублікованих разом зі співавторами, представлений в анотаціях до списку опублікованих робіт з теми дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи, наукові й практичні результати доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях (МНТК): XVI–XIX МНТК «Досягнення й проблеми розвитку технологій і машин обробки тиском» (Краматорськ, 2013–2016); IV МНТК «Перспективні технології, матеріали й устаткування в ливарному виробництві» (Краматорськ, ДДМА, 2013); НТК «Механіка пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів» (Київ: НТТУ «КПІ», 2014); XIV МНТК «14th International Conference RaDMI» (Topola, Serbia, 2014); XII МНТК «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (Краматорськ, 2014); XXXVII НТК професорсько-викладацького складу, науково-технічних працівників, аспірантів і студентів (Краматорськ, 2015); III МНТК «Машини й пластична деформація металів» (Запоріжжя, 2015); IV МНТК молодих учених та студентів (Тернопіль, 2015); VII МНТК «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні й металургії» (Харків: НТУ ХПІ, 2015), а також на щорічних наукових семінарах ДДМА (2013–2016 рр.) і об'єднаному науковому семінарі з ОМТ ДДМА (2016 р.).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 17 друкованих працях, з них 10 статей в 10 наукових спеціалізованих виданнях України, у тому числі 1 стаття без співавторів; 2 статті в закордонних виданнях; 4 тез доповідей на МНТК. Нові технічні рішення захищені 1 патентом України.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і 4 додатків. Загальний об'єм роботи становить 178 сторінок, у тому числі основного тексту – 111 сторінок, 81 рисунків і 12 таблиць, список використаних джерел з 144 найменувань на 20 сторінках, додатки на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми, показаний зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами й темами. Сформульовано мету роботи й завдання дослідження. Дано характеристику наукової новизни й практичної цінності отриманих результатів, їх апробація й впровадження, відзначений особистий внесок здобувача.

У першому розділі розглянуті сучасні підходи до проектування й удосконалення технологічних процесів виготовлення пустотілих циліндрів. Вивчено теоретичні й експериментальні методи дослідження процесів кування пустотілих заготовок. Порівнювалися методи мульти-радіального, ротаційного й радіального кування порожньої заготовки на оправці й без використання оправки. Розглянуто перспективи розвитку технологій і оснащення для кування пустотілих циліндрів без використання оправки.

Дослідженням процесів кування пустотілих циліндрів із дном присвячена велика кількість вітчизняних і закордонних робіт. Великий внесок у вивчення процесів і устаткування для кування великогабаритних поковок внесли: Ю. М. Антощенков, А. В. Ашкелянєць, Л. П. Белова, В. М. Єфімов, Я. Г. Жбанков, П. В. Камнєв, Б. С. Каргін, О. А. Кобелєв, В. В. Кухар, В. А. Лазоркін, А. О. Мішулін, А. Б. Найзабеков, А. К. Онищенко, Я. М. Охріменко, О. В. Пакало, О. М. Пасько, Л. М. Соколов, І. Я. Тарновський, В. О. Тюрін, В. Л. Чухліб, G. Banaszek, P. Christiansen, Y. Li і багато інших вітчизняних і закордонних учених.

На підставі літературного огляду було встановлено, що на сьогоднішній день деталі типу пустотілих циліндрів із дном (пустотілі плунжери й корпуси потужних гідравлічних циліндрів) виготовляють зварювано-кутими (до пустотілого циліндра приварюється дно). У процесі роботи гідроциліндра від дії циклічних навантажень значної величини в ряді випадків відбувається обрив дна корпусу циліндра в місці розташування зварного шва.

Другим відомим способом одержання таких заготовок є кування на оправці пустотілої заготовки із заковуванням дна. При заковуванні дна не відбувається зварювання стінок отвору пустотілої заготовки внаслідок окисленої поверхні після нагрівання. Це знижує герметичність металу дна деталі. Такі заготовки не можуть застосовуватися для виготовлення пустотілих плунжерів і корпусів гідроциліндрів з бічною подачею рідини високого тиску.

Всі існуючі технологічні процеси кування пустотілих циліндрів або труб припускають застосування ковальської оправки для можливості одержання заданого отвору поковки. Однак, при куванні пустотілих заготовок із діаметром отвору менше 350 мм застосування оправки неможливе внаслідок її деформації в процесі кування й неможливості подальшого її видалення з поковки. Більше того, тонкі оправки значно розігріваються (через відсутність в них осьового каналу для охолодження), що приводить до зниження їх стійкості. Ковальські оправки виготовляють із жароміцної сталі, що робить їх дорогим інструментом.

Відзначені особливості виключають застосування оправки при куванні пустотілих поковок із діаметром отвору менше 350 мм. У цьому випадку отвір закривається напуском і отримується глибоким свердленням. У результаті підвищуються витрати металу, а кування суцільної заготовки приводить до утворення текстури. Свердлення металу заготовки з текстурою приводить до перерізання волокон структури, що знижує ударну в'язкість металу деталі в тангенціальному напрямку. Більш того, у тілі суцільної заготовки залишаються осьові дефекти злитка, які знижують якість внутрішньої поверхні отвору.

У цьому зв'язку перспективним представляється спосіб кування пустотілих заготовок без використання оправки. Кування пустотілих поковок без використання оправки характеризується комбінованим плином металу уздовж і поперек осі заготовки, зміненням НДС металу в порівнянні з куванням на оправці або куванням суцільних заготовок із наступним свердленням отвору. Літературний огляд дозволив встановити, що НДС металу й закономірності формозміни заготовки в процесі кування пустотілих поковок без використання оправки є недослідженими, а їх визначення є актуальною науковою задачею, тому що НДС визначає пророблення литої структури, а відповідно, механічні властивості деталі. Визначення НДС доцільно встановлювати з використанням МСЕ, що дозволяє моделювати процес із високим ступенем вірогідності одержуваних результатів.

У теорії й практиці ОМТ відсутні наукові основи проектування процесів і рекомендації для кування пустотілих заготовок без використання оправки. Це унеможливорює розробку ресурсозберігаючих процесів кування пустотілих поковок без використання оправки. Розробку технологічних рекомендацій і методик кування пустотілих заготовок без використання оправки доцільно проводити на основі даних експериментальних досліджень.

У результаті проведення літературного огляду було встановлено, що існує затребуваність в одержанні суцільно-кованих пустотілих поковок із дном і необхідно встановити вплив розмірів заготовки й геометрії інструмента на деформований стан металу заготовки в процесі кування без використання оправки.

У **другому розділі** розроблені методики досліджень технологічних процесів кування пустотілих циліндрів без використання оправки. Розглянуто методику теоретичного дослідження механізму заковування внутрішнього отвору при протягуванні пустотілих циліндричних деталей без використання оправки. У результаті дослідження визначатимуться рекомендації для проектування нового технологічного процесу кування пустотілих циліндрів із дном без використання оправки. Процес кування пустотілих поковок без використання оправки характеризується тривимірним плином металу при протягуванні. Протягування заготовки вирізними бойками без використання оправки приводить до її подовження, заковування внутрішнього отвору й збільшення товщини стінки. На формозміну пустотілої заготовки в процесі кування впливають форма вихідної заготовки, режими деформування (подача, кантування, обтиснення) і геометрія інструменту.

Проведено планування математичного експерименту. Дослідження процесів протягування пустотілих заготовок без використання оправки здійснювалося МСЕ. В якості реалізації методу використався програмний продукт «Deform 3D».

Матеріал заготовки – сталь 34ХНМ, який розглядався як нестисливе пружно-пластичне тіло. Температурний інтервал кування 1200...800°C, механічні й теплофізичні характеристики матеріалу, такі, як опір деформуванню, теплопровідність, теплоємність відповідали матеріалу, обраному з бази даних програми «Deform 3D». Швидкість деформування складала $v = 40$ мм / с. Для визначення ефективної геометрії заготовки для кування без використання оправки варіювалися різні діаметри внутрішнього отвору. Відношення зовнішнього й внутрішнього діаметра отвору (рис. 1, а) становили $d_0/D = 0,3; 0,55; 0,8$. У скінчено-елементному (СЕ) дослідженні використовувалися циліндричні сталеві пустотілі моделі. Зовнішній діаметр заготовок $D = 1000$ мм, а діаметр внутрішнього отвору варіювався в діапазоні $d_0 = 800$ мм; 550 мм; 300 мм; висота заготовок становила $H_1 = 480; 330; 288$ мм. Варіювання діаметрів отворів і висот дозволяли забезпечити постійний об'єм заготовки для адекватного порівняння отриманих результатів.

На першому етапі була розроблена методика проведення дослідження процесу кування пустотілої заготовки без використання оправки звичайними вирізними бойками (без скосів).

Інтенсифікувати витяжку при протягуванні, а відповідно, знизити ступінь закування отвору заготовки можна за рахунок застосування вирізних бойків зі скосами. Кут скосів бойків (β) також служить значимим фактором, він визначає величину подачі. З літератури було встановлено, що ефективний кут скосів бойків становить 10...30°. Завданням дослідження також є визначення ефективного кута скосів робочих крайок бойків. Тому на другому етапі досліджень була розроблена методика дослідження процесу кування пустотілої заготовки спеціальними вирізними бойками зі скосами. Заготовки протягувалися вирізними бойками з кутами вирізу $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, 140^\circ$, кутами скосу вирізів $\beta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ і довжиною горизонтальної полиці деформуючої частини, що визначає величину подачі $a = 100, 200, 300$ мм (рис. 2). Ступінь деформації заготовки становив 20 %, 40 % і 60 %.

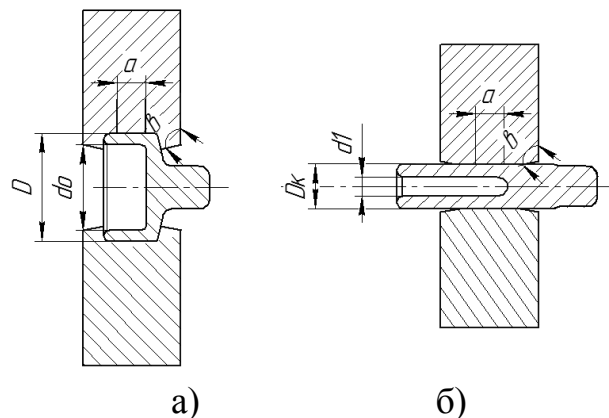


Рисунок 1 – Схема процесу протягування на початковому (а) і завершальному (б) етапі

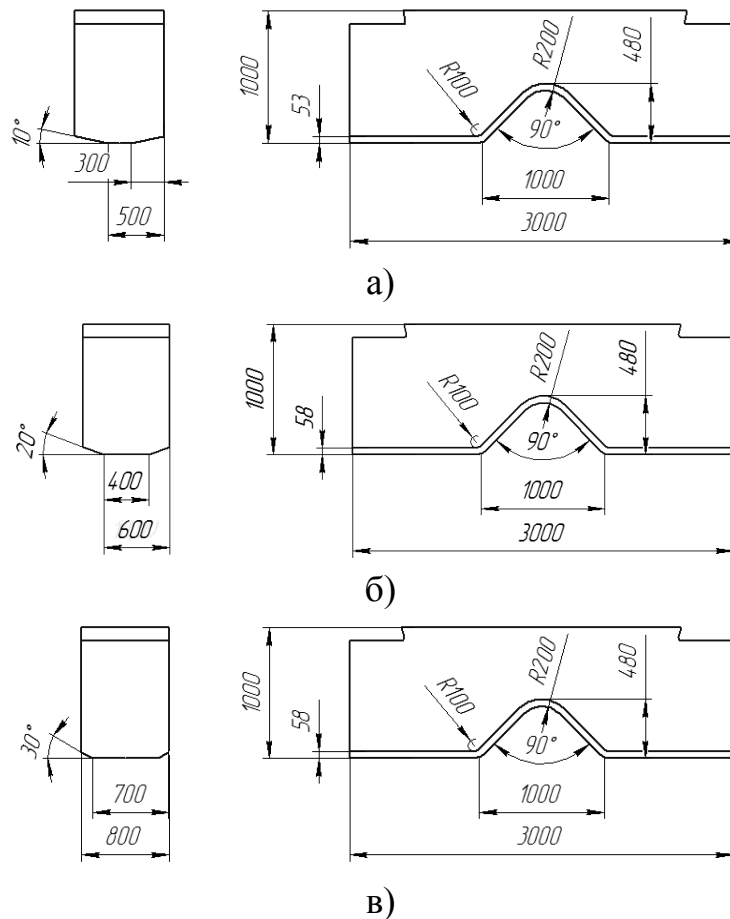


Рисунок 2 – Вирізні бойки зі скосами: а – 10°; б – 20°; в – 30°

Для реалізації процесу моделювання обрані основні фактори (табл. 1), що впливають на формозміну заготовки в процесі деформації: відносний діаметр отвору заготовки (d_0 / D), кут вирізу бойків (α), кут скосів бойків (β) і величина сумарного обтиснення заготовки (ε). В якості параметру оптимізації обраний кінцевий діаметр отвору d / D .

Таблиця 1 – Основні фактори й рівні їхнього варіювання при проведенні СЕ експерименту за планом типу ПФЕ 3^4

Фактори і інтервали їхнього варіювання	X_1	X_2	X_3	X_4
	d_0 / D	$\alpha, ^\circ$	$\varepsilon, \%$	$\beta, ^\circ$
Інтервал варіювання ΔX_i	0,25	25	20	10
Нижній рівень $X_i = -1$	0,3	90	20	10
Середній рівень $X_i = 0$	0,55	115	40	20
Верхній рівень $X_i = +1$	0,8	140	60	30

Проведено планування експерименту при використанні плану другого порядку з використанням плану повнофакторного експерименту за типом 3^n (число факторів $n=4$), проведено $3^4=81$ дослідження.

Вірогідність отриманих теоретичних результатів перевірялася експериментальними дослідженнями. Для експериментального моделювання процесів протягування застосовувалися свинцеві моделі. Додавання у свинець 1 % сурми дозволило наблизити механічні характеристики модельного матеріалу до властивостей сталі 34ХНМ у гарячому стані. Зовнішній діаметр заготовок 44,5 мм, довжина 26 мм, діаметр отвору 13,25; 22,5; 32,5 мм (коефіцієнт подоби 1:25). Заготовки з отвором (рис. 3, а) були отримані литтям у форму зі стрижнем. Для проведення експериментальних досліджень спроектовані й виготовлені вирізні бойки зі скосами (рис. 3, б).

Для забезпечення взаємної паралельності бойків і їхньої взаємної співвісності при русі рухливої траверси преса використовувався блок штампа з діагональним розташуванням напрямних вузлів. Оснащення встановлювалося на гідравлічний прес МС-500 зусиллям 500 кН, швидкість деформування 1 мм / с. У процесі протягування замірялися геометричні розміри зразків і зусилля деформування на кожній стадії протягування із кроком 10 %. Також проводилися виміри об'єму отвору поковки за допомогою заповнення його рідиною з лабораторного волюметра.



Рисунок 3 – Форма отриманих заготовок (а) і вирізні бойки зі скосами (б)

За відомим об'ємом та глибиною отвору визначалися площа й середній діаметр отвору заготовки в процесі кування без використання оправки.

У **третьому розділі** встановлений вплив геометрії інструмента й форми заготовок на формозміну й деформований стан металу заготовки.

Формозміна пустотілої заготовки в процесі кування без використання оправки залежить від НДС. НДС, у свою чергу, залежить від геометрії інструмента й режимів кування. Величина заковування отвору складається із двох процесів: зменшення діаметру отвору за рахунок зменшення зовнішнього діаметра заготовки, а також за рахунок збільшення товщини стінки пустотілої заготовки. За умови, що заготовки обтискалися на однаковий ступінь деформації ($\varepsilon = 20\%$), з постійним початковим діаметром ($D = 1000$ мм), ступінь заковування отвору визначається збільшенням товщини стінки.

У результаті теоретичних досліджень процесу протягування без використання оправки вирізними бойками без скосів встановлено вплив відносного діаметра отвору заготовки (d_0 / D) на заковування отвору (рис. 4, а) і

відносне подовження заготовки $\psi = (L_1 - L_0) / L_0$ (рис. 4, б). Були отримані математичні моделі відносного діаметра отвору (d_1 / D) і нерівномірності розподілу деформації ($\Delta e = e_{\max} - e_{\min}$) залежно від трьох факторів: відношення діаметрів вихідної заготовки d_0 / D , кута вирізу бойків α , величини подачі a .

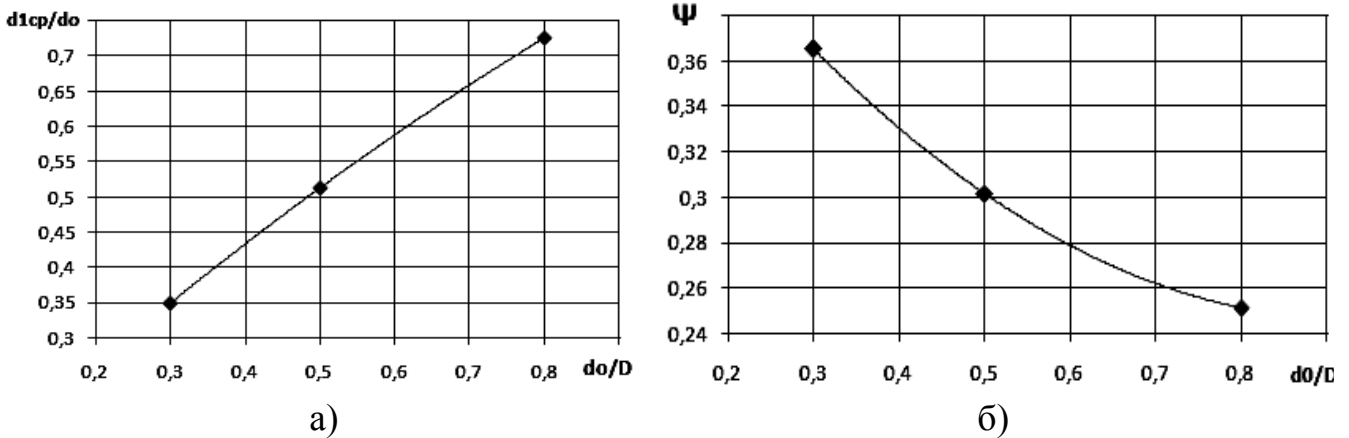


Рисунок 4 – Вплив відносного діаметра отвору заготовки на заковування отвору (а) та відносне подовження (б) при обтисканні вирізними бойками на 20 %

Встановлено, що зі збільшенням діаметру отвору вихідної заготовки збільшується кінцевий діаметр отвору поковки (рис. 4, а). Однак при цьому відбувається зменшення відносного подовження заготовки (ψ), що суперечить умові сталості об'єму заготовки (при зменшенні заковування отвору повинне збільшуватися подовження). У цьому зв'язку був додатково встановлений вплив відносного діаметра заготовки на відносну товщину стінки (рис. 5, а). Отримані результати пояснюються різними об'ємами заготовок при різних діаметрах отвору (товщинах стінки). При збільшенні діаметру отвору (тонкій стінці) заковування отвору й подовження менше (рис. 4, а; б), ніж при зменшенні діаметру отвору (товстій стінці). Це пояснюється різною величиною об'єму заготовки, що бере участь у процесі деформації. Тому оцінка подовження заготовок із різними об'ємами є невичерпною, а ступінь зміни діаметра отвору заготовки не враховує інтенсивність подовження для різних стінок при постійній деформації. Подальше дослідження проводилося для заготовок із постійним об'ємом.

Для адекватної оцінки механізму заковування введено показник інтенсивності подовження (f) (рис. 5, б). Цей показник враховує інтенсивність заковування отвору залежно від різної площі перетину вихідної заготовки (товщини стінки):

$$f = \frac{F_0 - F_K}{F_{обж}} = \frac{(D^2 - d_0^2) - (D_K^2 - d_1^2)}{D^2 - D_K^2},$$

де D, D_K – зовнішній діаметр вихідної й протягнутої заготовок, відповідно (див. рис. 1);

d_0, d_1 – діаметр отворів заготовки й поковки, відповідно.

При $f = 0$, коли площа перетину не змінюється, збільшення товщини стінки не відбувається й метал плине в подовження. При $f = 1$, коли зміна площі заготовки в процесі кування дорівнює площі обтиснення заготовки ($F_0 - F_K = F_{обж}$), все обтиснення приводить до збільшення стінки заготовки, отже, подовження заготовки відсутнє.

Протягування пустотілих заготовок класичними вирізними бойками не сприяє інтенсивному подовженню заготовки, а навпаки сприяє інтенсивному заковуванню отвору пустотілої заготовки. Збільшення діаметра отвору пустотілої заготовки сприяє зниженню інтенсивності подовження (рис. 5, б). Це пояснюється тим, що при більших діаметрах отвору металу «легше» плинати в радіальному напрямку, ніж в осьовому. У цьому зв'язку необхідно вдосконалювати схему кування пустотілих заготовок без використання оправки для збільшення інтенсивності подовження металу заготовки.

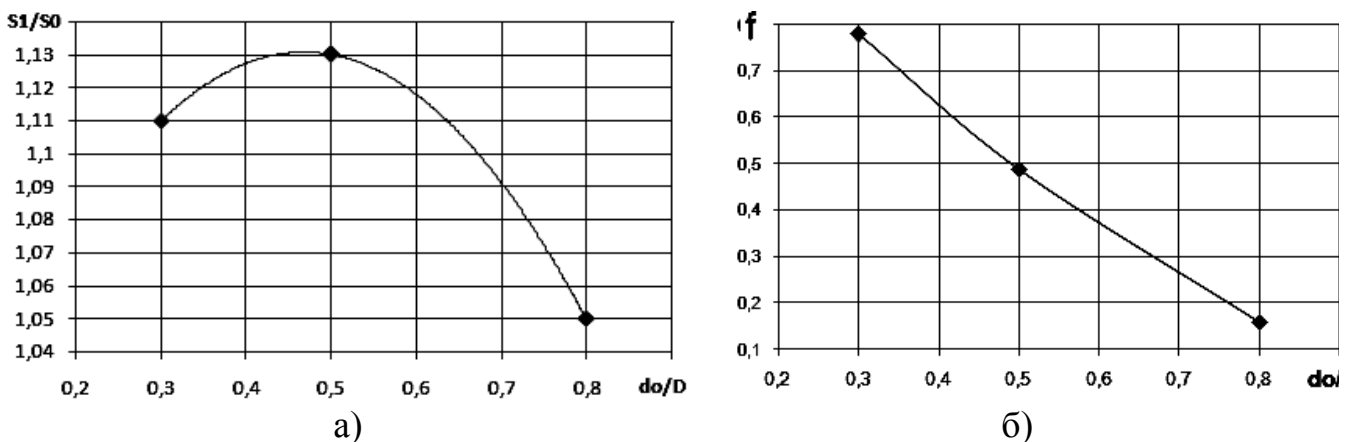


Рисунок 5 – Вплив відносного діаметра отвору заготовки на зміну товщини стінки поковки (а) і інтенсивність подовження (б) при обтисненні на 20 % вирізними бойками без скосів

У результаті проведених попередніх досліджень процесу протягування вирізними бойками було встановлено, що дана схема деформування призводить до інтенсивного заковування отвору поковки. Зменшити ступінь заковування отвору поковки можна за рахунок інтенсифікації подовження при протягуванні. З теорії ОМТ відомо, що збільшити витягування при протягуванні можна за рахунок застосування вирізних бойків зі скошеними крайками, зменшення подачі й обтиснення. У результаті була розроблена нова конструкція вирізних бойків зі скосами (див. рис. 2).

Заготовки протягувалися вирізними бойками з кутами вирізу $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, 140^\circ$ і різною довжиною горизонтальної полиці деформуючої частини, що визначає величину подачі $a = 100; 200; 300$ мм (відносна подача $0,1D; 0,2D; 0,3D$, відповідно). Відносний діаметр отвору заготовок становив $d_0 / D = 0,3; 0,55; 0,8$. Ступінь деформації (обтиснення ε) перебувала в діапазоні 20...60 %. СЕ 3D модель процесу протягування пустотілих заготовок без оправки вирізними бойками зі скосами наведена на рисунку 6.

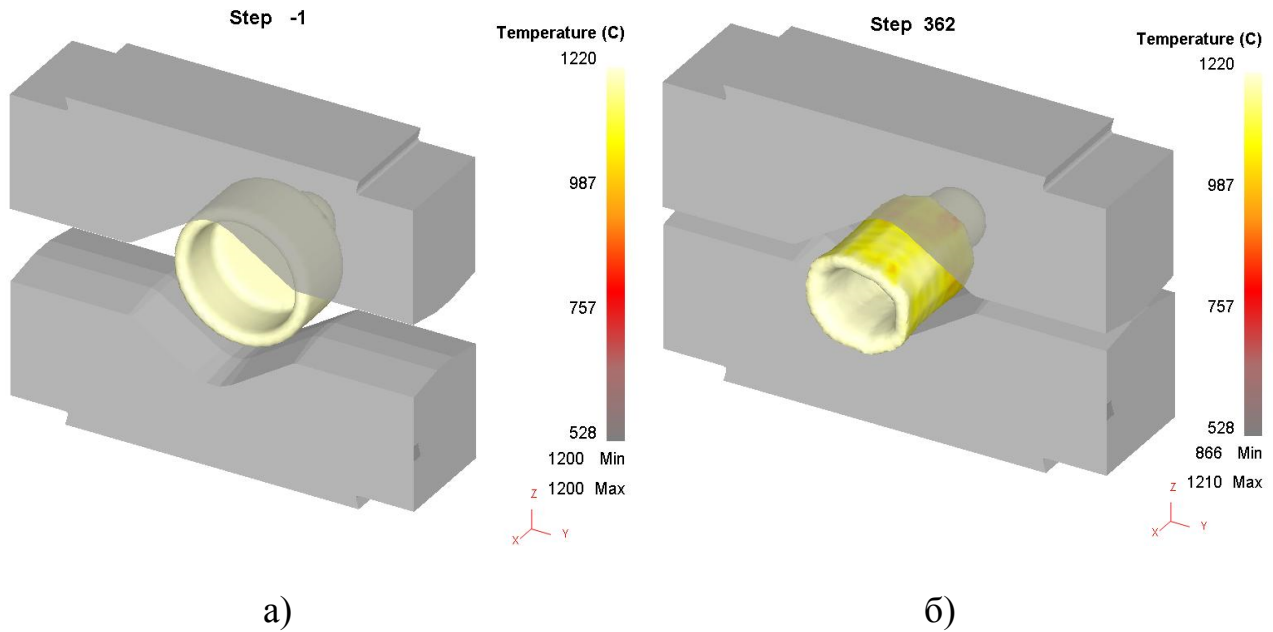


Рисунок 6 – 3D модель процесу протягування пустотілих заготовок без оправки вирізними бойками зі скосами до (а) і після (б) деформації

На підставі аналізу результатів теоретичного дослідження деформованого стану металу заготовки й механізму заковування отвору пустотілої заготовки була обрана схема, у якій вирізні бойки мали кут вирізу 115° і кут скосів бойків 10° , геометричні параметри заготовки $d_0/D = 0,8$ (рис. 7). У даній схемі при протягуванні переважно плин металу відбувався уздовж осі заготовки, що сприяє інтенсивному подовженню поковки й неповному заковуванню отвору, а також рівномірному розподілу деформацій і високій якості поверхні поковки в порівнянні з іншими способами протягування.

Більш рівномірно деформації розподіляються для подач $0,1D$, (нерівномірність розподілу деформацій становить $\Delta\epsilon \approx 5,7$). Також при протягуванні пустотілих заготовок з даним кутом вирізу й скосу бойків відсутність оправки дозволить одержати мінімальне заковування отвору, особливо при малих величинах подачі. Хвилястість поверхні отвору не перевищує величину подвоєного припуску на механічну обробку, що дозволить одержати задані розміри поковки без використання оправки. Отримані результати дозволяють рекомендувати дану схему для подальшого експериментального дослідження.

Встановлено, що кут вирізу бойків $\alpha = 115^\circ$ з кутом скосів вирізів 10° призводить до зменшення діаметра отвору поковки при збільшенні ступеня обтиснення й зменшенні товщини стінки (рис. 8, а).

Інтенсивність подовження заготовки (f) для даної геометрії інструмента переважно залежить від вихідного відносного діаметра отвору (d_0/D), ніж від ступеня обтиснення (рис. 8, б). Отримані результати дозволяють зробити висновок, що ступінь заковування збільшується при різних значеннях обтиснення, тобто діаметр заковується практично з постійною швидкістю.

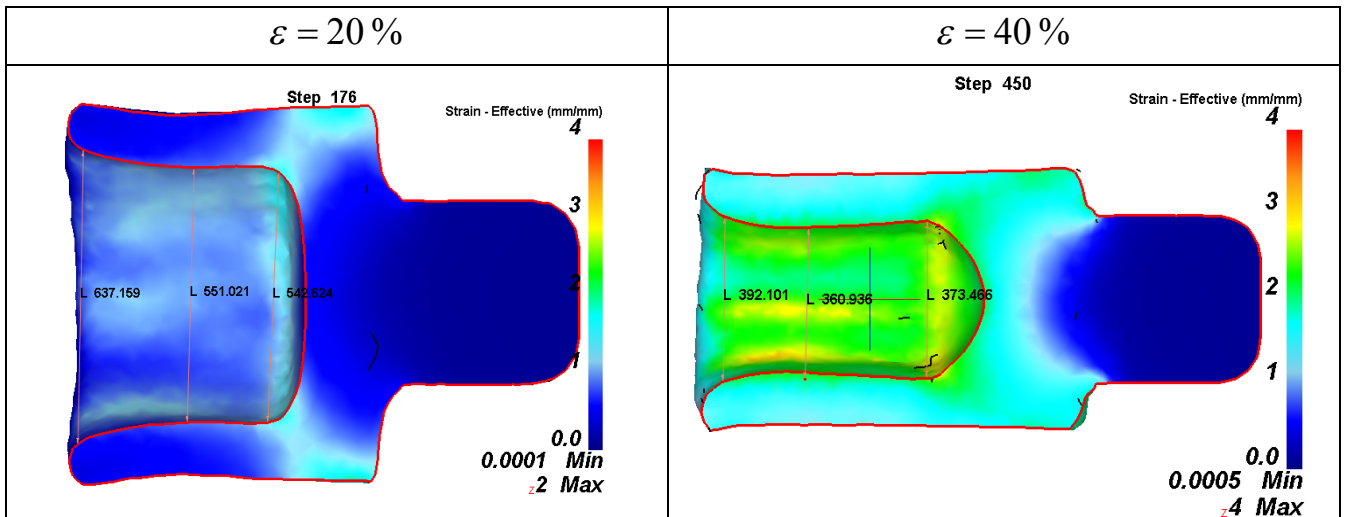


Рисунок 7 – Розподіл інтенсивності деформацій у поздовжньому перерізі пустотілих поковок із відносним діаметром отвору $d_0 / D = 0,8$ і кутом вирізу бойків $\alpha = 115^\circ$ при різних ступенях обтиснення для подачі 0,1D

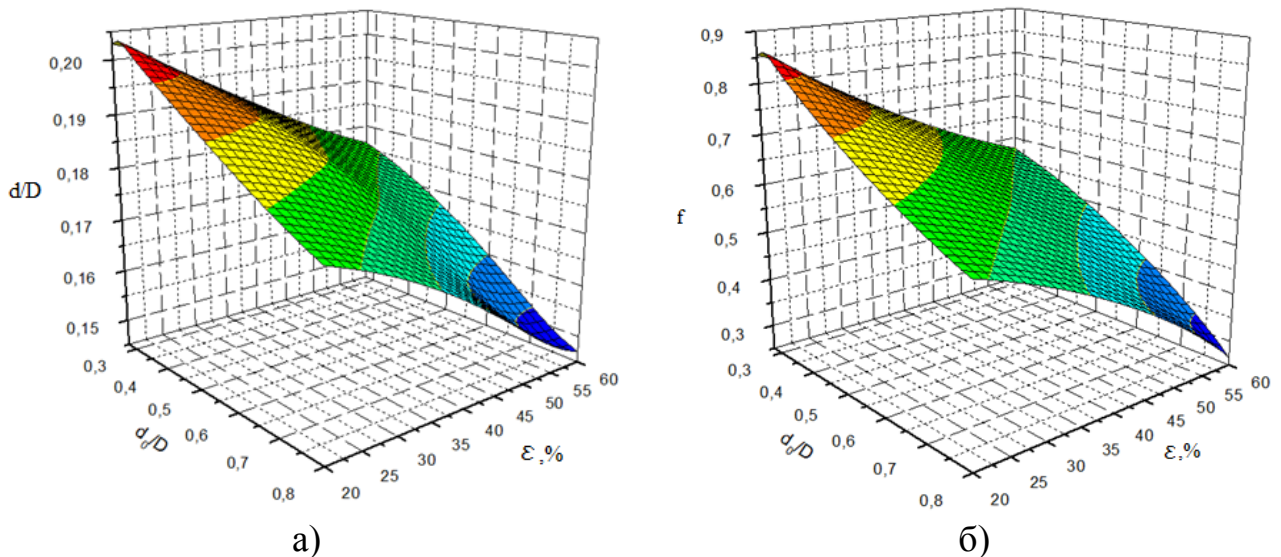


Рисунок 8 – Ступінь заковування (а) і інтенсивність подовження (б) отвору заготовки при протягуванні пустотілих заготовок з кутом вирізу бойків 115° і скосів 10° для різних товщин стінок і ступенів обтиснення

У **четвертому розділі** перевірено експериментально вплив основних параметрів на формозміну заготовки в ході деформування, перевірена вірогідність отриманих теоретичних результатів на свинцевих зразках. Основні параметри, які впливають на заковування отвору при протягуванні без використання оправки: ступінь деформації, відносний діаметр отвору й подача заготовки.

Відповідно до отриманих результатів встановлено, що зі збільшенням діаметра отвору подовження заготовки збільшується (рис. 9), а відповідно, зменшується ступінь заковування отвору. Це пояснюється тим, що при тонких стінках заготовки об'єм металу, що деформується, менше, а відповідно менша кількість металу плине на заковування отвору.

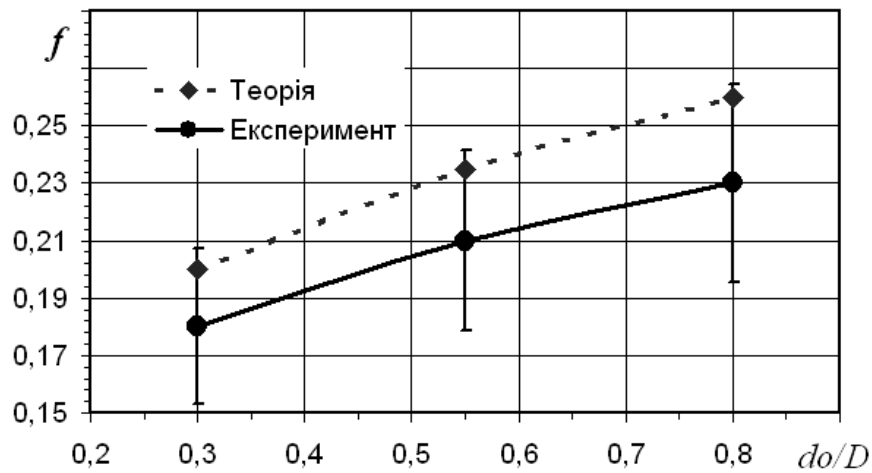


Рисунок 9 – Вплив відносного діаметру отвору вихідної заготовки на інтенсивність подовження поковки в процесі протягування без оправки

Результати з подовження заготовки в процесі кування, отримані МСЕ, приблизно на 10...13 % більше експериментальних (рис. 9). При цьому збільшення товщини стінки заготовки більш інтенсивно відбувається в експериментальних зразках (рис. 10). Отримані результати дозволили встановити, що зі збільшенням відносного діаметру отвору вихідної заготовки d_0/D до 0,6 збільшується товщина стінки поковки S_1/S_0 . Подальше збільшення діаметра отвору ($d_0/D > 0,6$) призведе до зниження товщини стінки. Експериментальні й теоретичні результати показали наявність максимуму потовщення стінки при відносному діаметрі отвору заготовки, рівного 0,6 (див. рис. 10). Це дозволяє зробити висновок про неефективність даних співвідношень розмірів заготовки для кування без оправки, внаслідок інтенсивного збільшення товщини стінки заготовки. Відхилення теоретичних та експериментальних даних складає 3...5 %.

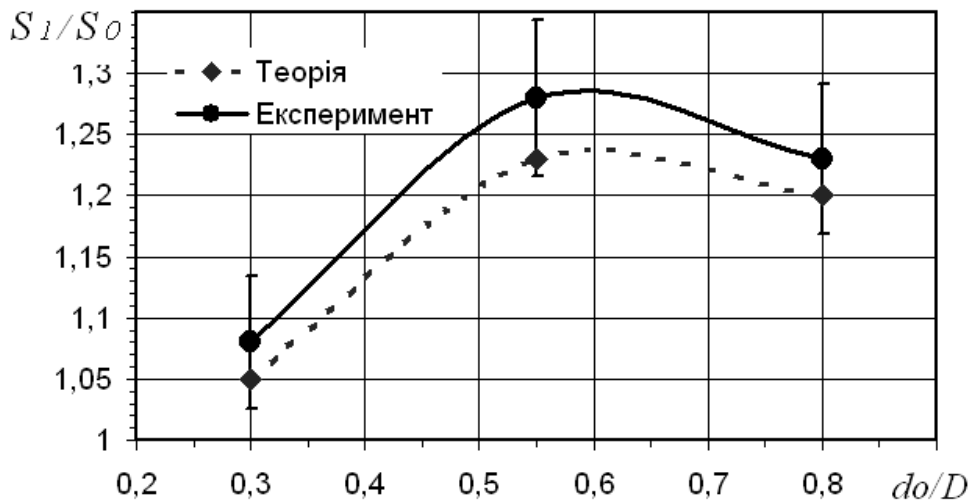


Рисунок 10 – Вплив відносного діаметру отвору вихідної заготовки на зміну товщини стінки в процесі протягування без оправки

Достовірність теоретичних результатів МСЕ підтверджує аналіз результатів заковування отвору залежно від діаметра отвору заготовки (рис. 11) в процесі

протягування без оправки. Похибка теоретичних даних від експериментальних становить 10...15 %. Встановлені закономірності мають схожий характер зміни. Ці закономірності дозволяють встановити кінцевий діаметр отвору поковки. Зі збільшенням вихідного діаметра отвору збільшується кінцевий діаметр отвору поковки.

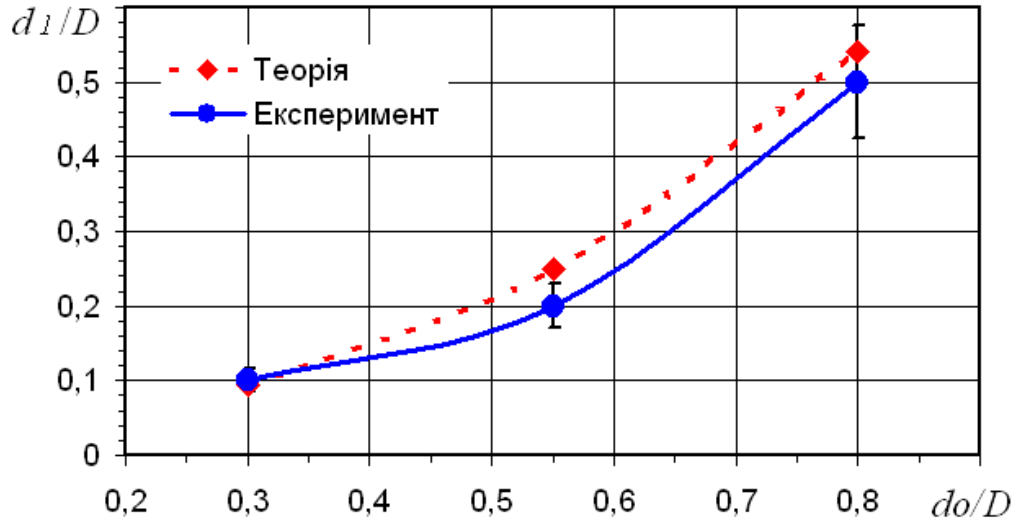


Рисунок 11 – Вплив відносного діаметру отвору вихідної заготовки на заковування отвору в процесі протягування без оправки

Була визначена ефективна схема протягування з найбільшим подовженням заготовки й найменшим заковуванням отвору. Ця схема протягування бойками з кутом вирізу $\alpha = 115^\circ$, кутом скосів бойків $\beta = 10^\circ$ і відносним діаметром заготовки $d_0 / D = 0,8$.

Для аналізу отриманих теоретичних та експериментальні даних були побудовані графіки зміни відносного діаметра отвору від ступеня деформації (рис. 12), і графіки впливу ступеня деформації на інтенсивність подовження заготовки в процесі протягування (рис. 13).

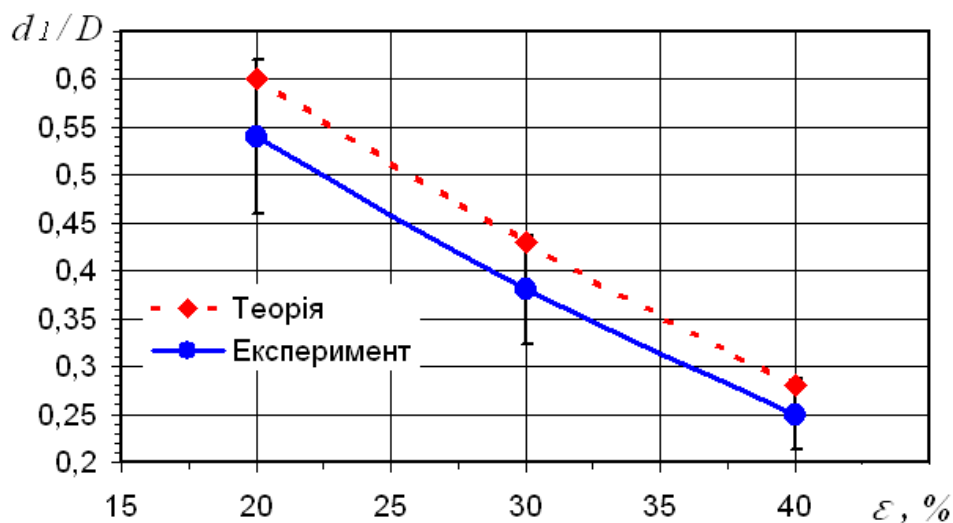


Рисунок 12 – Вплив ступеня деформації вихідної заготовки на заковування отвору в процесі протягування без оправки

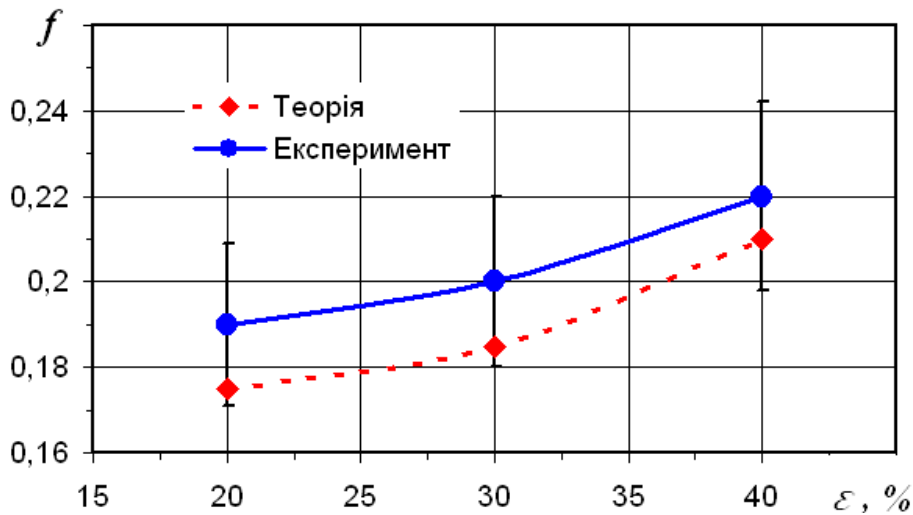


Рисунок 13 – Вплив ступеня деформації вихідної заготовки на інтенсивність подовження в процесі протягування без оправки

Встановлено, що зі збільшенням ступеня деформації при протягуванні без оправки ступінь заковування отвору збільшується за лінійною залежністю, інтенсивність подовження зростає (див. рис. 12, 13), тобто відбувається потовщення стінки заготовки.

У **п'ятому розділі** на основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблені рекомендації й методика для проектування нових технологічних процесів кування пустотілих циліндрів без використання оправки.

Особливістю нового технологічного процесу кування пустотілих поковок є застосування вирізних бойків зі скосами. Ідея застосування вирізних бойків зі скосами полягає в тому, що така геометрія деформуючого інструмента забезпечує виникнення пластичних деформацій у поверхневих шарах заготовки (зона пластичної деформації при куванні не поширюється вглиб заготовки), й завдяки невеликим подачам плин металу відбувається уздовж осі заготовки, що забезпечує її подовження й знижує ступінь заковування отвору.

На основі результатів досліджень, щоб одержати сприятливий НДС для більш інтенсивної витяжки заготовки, необхідно застосовувати вирізні бойки з кутом вирізів $\alpha = 115^\circ$, кутом скосів вирізів $\beta = 10^\circ$ і шириною деформуючої крайки, рівної $0,1D$ (D – зовнішній діаметр заготовки).

Більш високий і рівномірний розподіл деформацій у заготовки та її інтенсивне подовження забезпечує її протягування у вирізних бойках за схемою: прохід \rightarrow кантування на 90° \rightarrow прохід \rightarrow кантування на 90° \rightarrow прохід \rightarrow кантування на 45° \rightarrow прохід.

Відсутність оправки сприяє заковуванню отвору пустотілої заготовки й збільшенню товщини стінки поковки, що ускладнює проектування технологічного процесу. У цьому зв'язку необхідно встановити початкові розміри заготовки (d_0 / D) від остаточних поковочних розмірів (d / D) і ступеня деформації (ε). Отримана графічна залежність (рис. 14) дозволяє визначати необхідні початкові розміри пустотілої заготовки для одержання необхідних остаточних

розмірів поковки, при куванні вирізними бойками з кутом вирізу 115° , кутом скосів вирізу $\beta = 10^\circ$ і подачею $0,1D$.

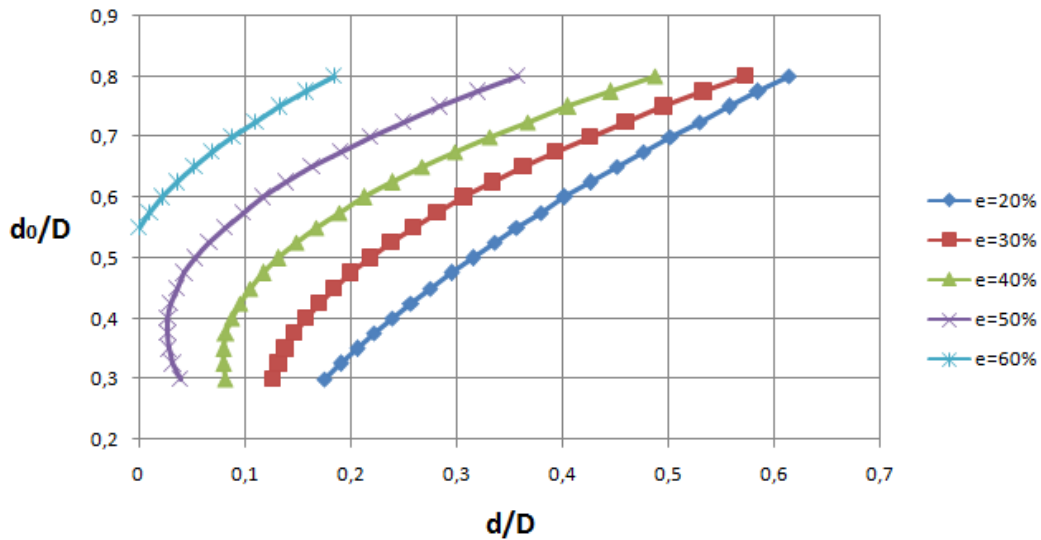


Рисунок 14 – Номограма для визначення діаметра отвору вихідної заготовки до операції протягування без оправки

Використовуючи розроблені рекомендації з процесу кування пустотілих заготовок без оправки були розроблені нові технологічні процеси кування й проведена апробація у виробничих умовах при куванні 2 поковок «Труба». Матеріал злитка – сталь 15X1M1Ф и 16ГС, маса злитків 21 000 кг. Для протягування використовувалися вирізні бойки з величиною подачі 0,1 від діаметра заготовки. Отримана пустотіла заготовка відповідає вимогам креслення поковки. Хвилястість внутрішньої поверхні не перевищує подвійного припуску по зовнішній поверхні.

Відсутність оправки знизилася інтенсивність охолодження заготовки, що дозволило зробити кування пустотілої заготовки за одне нагрівання. Після кування й нормалізації з відпуском були визначені механічні властивості на тангенціальних зразках і проведений ультразвуковий контроль. Механічні властивості поковки й результати з УЗК відповідають вимогам замовника. Це підтверджує позитивний вплив нового способу кування пустотілих заготовок без оправки на якість одержаної продукції.

ВИСНОВКИ

У роботі отримані нові науково-технічні результати з проектування й удосконалення процесів кування пустотілих циліндрів без оправки й на базі цього вирішені актуальні завдання, що розширюють технологічні можливості й підвищують техніко-економічні показники процесів кування.

1. На підставі літературного огляду було встановлено, що на сьогоднішній день існує затребуваність в одержанні суцільно-кутих пустотілих заготовок із дном. На сьогодні такі поковки виготовляються зварно-кутими. Наявність зварного шва з боку дна деталі знижує ударну в'язкість деталі, що істотно знижує

її термін служби. Способи кування без оправки пустотілих заготовок на гідравлічних пресах застосовні вкрай рідко. Це обумовлено відсутністю технологічних рекомендацій з формозміни заготовки в процесі кування без оправки. Необхідно встановити вплив розмірів заготовки й геометрії інструмента на заковування отвору в процесі кування без оправки. Розроблено методіку досліджень для визначення розмірів отвору при протягуванні пустотілих заготовок без використання оправки.

2. Теоретичні дослідження дозволили встановити, що зі збільшенням вихідного діаметра отвору подовження заготовки в процесі протягування збільшується та зменшується ступінь заковування отвору. Подача, що рекомендується, для інтенсивного витягування заготовки й зменшення ступеня заковування отвору повинна бути в діапазоні 0,1...0,2 від діаметра заготовки. Запропонований новий параметр оцінки інтенсивності подовження поковки, що дозволить оцінити ступінь заковування осьового отвору через зміну площі поперечного перерізу пустотілої заготовки в процесі кування.

3. З використанням МСЕ була встановлена ефективна геометрія інструмента, в якій вирізні бойки мали кут вирізу 115° , кут скосів вирізів 10° і ширину деформуючої частини 0,1D. Дана схема кування сприяє мінімальному заковуванню отвору, а також рівномірному розподілу деформацій.

4. Експериментальні дослідження дозволили встановити, що зі збільшенням ступеня деформації при протягуванні без оправки інтенсивність подовження зменшується за рахунок потовщення стінки пустотілої заготовки. Максимум потовщення стінки спостерігається при відносному діаметрі отвору заготовки, рівному 0,6. Це дозволяє зробити висновок про неефективність даних співвідношень розмірів заготовки для кування без оправки. Експериментальні дані з інтенсивності подовження заготовки в процесі кування без оправки приблизно на 5...8 % менше теоретичних, отриманих МСЕ.

5. Підтверджені у виробничих умовах рекомендації з геометрії оснащення та формозміни пустотілої заготовки при куванні без оправки. Кування без оправки доцільніше робити вирізними бойками зі скосами. Була спроектована спеціальна конструкція вирізних бойків з кутом вирізу 115° і кутами скосів 10° . Розроблено методіку проектування технологічних процесів кування, що полягає у визначенні діаметра отвору заготовки перед протягуванням без оправки залежно від діаметра отвору поковки й ступеня деформації. Перевірені у виробничих умовах рекомендації з механічних режимів кування, а саме величина подачі повинна становити 0,1 від діаметра заготовки, обтиснення за натискання не більше 10 %, а послідовність кування: прохід \rightarrow кантування на 90° \rightarrow прохід \rightarrow кантування на 45° \rightarrow прохід.

6. Впроваджена нова технологія кування пустотілих заготовок без оправки. У результаті на 25...30 % підвищилася продуктивність процесу кування, а кількість нагрівань знизилася на 15...25 %. Встановлені в роботі рішення розширили технологічні можливості процесу кування пустотілих заготовок із дном та з наскрізним отвором. Якість отриманих поковок відповідає вимогам замовника. Сумарний економічний ефект від впровадження технологічних процесів кування пустотілих заготовок склав 751 000 грн. за рівнем цін 2015 р.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Комбинированная пластическая деформация со сдвигом для получения крупных заготовок / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков, М. А. Маркова, Л. В. Таган // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2013. – №3 (36). – С. 3–9.
2. Маркова, М. О. Дослідження технологічного процесу кування крупних опорних валів без осадження / М. О. Маркова, В. М. Семенов, Л. В. Таган // Научный вестник ДГМА. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – № 2 (12Е). – С. 79–85. – Режим доступу : www.nbuuv.gov.ua/e-journals/VDDMA/2010_1/article%5C10MOEUIR.pdf.
3. Маркова, М. А. Исследование деформированного состояния заготовки при протяжке полых поковок без оправки бойками со скосами / М. А. Маркова // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2014. – № 3 (15Е). – С. 74–82.
4. Маркова, М. А. Формоизменение полых поковок в процессе протяжки без оправки бойками со скосами / М. А. Маркова, П. И. Ризак // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2014. – № 2 (39). – С. 81–87.
5. Zavorodnii, A. V. Mathematical modeling of stress-deformed state of metal while flattening of the straddle profiled metal / Andrii V. Zavorodnii, Svetlana S. Nastoyasha, Marina A. Markova // 14th International Conference «Research and development in mechanical industry» RaDMI 2014. – Topola, Serbia 18–21 September 2014. – Vol. 2. – P. 305–309.
6. Маркова, М. А. Заковка отверстия при ковке бойками с выпуклым рабочим профилем / М. А. Маркова, В. Н. Злыгорев, П. И. Ризак // Вісник ДДМА : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2015. – № 1 (34). – С. 57–63.
7. Градиент деформаций при получении полых заготовок с применением интенсивных пластических деформаций / М. А. Маркова, Ю. Г. Розов, Е. А. Мкртчян, П. И. Ризак // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2015. – № 1 (16Е). – С. 67–73.
8. Механизм заковки отверстия при ковке без оправки / М. А. Маркова, Ю. Г. Розов, Е. А. Мкртчян, А. Е. Сомкин // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 2 (41). – С. 115–121.
9. Маркова, М. А. Новый инструмент для получения пустотелых заготовок методами интенсивных пластических деформаций / М. А. Маркова, Ю. О. Ячмень, А. В. Алтухов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 36. – С. 116–120.
10. Розподіл інтенсивності деформацій при куванні бойками з випуклим профілем / І. С. Алієв, М. О. Маркова, В. М. Злигорєв, Ю. О. Ячмінь // Вісник НТУ «ХПІ». Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 47 (1166). – С. 7–10.

11. Алиев, И. С. Исследование процессовковки бойками выпуклой геометрии с интенсивными пластическими деформациями / И. С. Алиев, М. А. Маркова, В. Н. Злыгорев / Вісник НТУУ «КПІ». Секція машинобудування. – № 75 (2015). – С. 125–130.

12. Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation / O. E. Markov, A. V. Perig, M. A. Markova, V. N. Zlygoriev // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology – 2016. – Vol. 83. – № 9–12. – P. 2159 – 2174. – [DOI: 10.1007/s00170-015-8217-5](https://doi.org/10.1007/s00170-015-8217-5).

13. Пат. 86881 Україна, МПК(2013.01) В 21 J 5/00. Спосіб кування порожнистих циліндрів з дном / Марков О. Є., Маркова М. О.; Краматорськ. – № u201309697; заявл. 05.08.13; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1. – 5 с. : іл.

14. Маркова, М. А. Качество укороченных слитков с направленной кристаллизацией / М. А. Маркова, Л. В. Таган, Ю. О. Ячмень // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве. Материалы IV МНТК, 30 сентября – 4 октября 2013г. – Краматорск : ДГМА, 2013. – С. 156–157.

15. Застосування комбінованої пластичної деформації зі зсувом при куванні крупних заготовок / Л. І. Алієва, Я. Г. Жбанков, М. А. Маркова, Л. В. Таган // Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція «Машинобудування». Підсекція «Механіка пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів». – Київ : НТТУ «КПІ», 2014. – С. 66–67.

16. Схемыковки крупных поковок с интенсивными пластическими деформациями / М. А. Маркова, Р. С. Недодай, А. О. Шарун, К. Л. Чуева // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». – 23–24 вересня 2014 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ : ДДМА, 2014. – С. 61.

17. Маркова, М. А. Заковка отверстия в процессековки без оправки / М. А. Маркова, В. Н. Злыгорев // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 25–26 листопада, Тернопіль : Тернопільській національний технічний університет ім. І. Палюя, 2015. – С. 178–179.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1, 15] – визначення раціональних значень основних геометричних параметрів бойків; [2] – дослідження впливу осадження на розподіл коефіцієнта уковування; [4, 6, 9] – дослідження формозмінення в поковках при протягуванні без оправки бойками зі скосами; [5] – розробка методики дослідження математичного моделювання; [7, 8] – дослідження механізму заковування отвору при різних обтисненнях при куванні без оправки; [10, 11] – встановлення закономірності НДС пустотілих заготовок у процесі протягування без оправки вирізними бойками зі скосами; [12] – розподіл деформацій при куванні випуклим бойком; [13] – обґрунтування нового способу кування; [14] – показана область застосування укорочених злитків для кування великогабаритних поковок; [16] – вивчення ступеня проробки шарів заготовки випуклими бойками; [17] – вивчення механізму заковування отвору в пустотілих заготовках при куванні без оправки.

АНОТАЦІЯ

Маркова М. О. Удосконалення технологічних процесів виготовлення пустотілих поковок на основі способу кування без оправки. – 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, 2016.

Дисертація спрямована на вирішення актуальної науково-технічної задачі вдосконалення технологічних процесів кування пустотілих поковок типу циліндра на основі застосування нового способу та інструменту для кування без оправки, які забезпечують отримання якісних пустотілих поковок з необхідною товщиною стінки і діаметром отвору.

Розроблено методику та рекомендації з проектування технологічних процесів кування, які полягають у визначенні діаметра отвору заготовки перед протягуванням без оправки в залежності від діаметра отвору поковки і ступеня деформації. Отримано рекомендації з геометрії оснащення для реалізації технологічного процесу кування пустотілих заготовок без оправки підтверджені у виробничих умовах. Кування без оправки доцільно проводити вирізними бойками з кутом вирізів 115° і кутами скосів 10° .

Апробація результатів досліджень у виробничих умовах дозволила підтвердити отримані рекомендації з формозміни пустотілої заготовки в процесі кування без оправки вирізними бойками зі скосами. Величина подачі повинна становити 0,1 від діаметра заготовки, обтиснення за натискання не більше 10 %, а послідовність кування: прохід → кантування на 90° → прохід → кантування на 90° → прохід → кантування на 45° → прохід.

Була впроваджена нова технологія кування пустотілих заготовок без оправки. В результаті на 25...30 % підвищилася продуктивність процесу кування, а кількість нагрівань знизилася на 15...25 %. Встановлені в роботі рішення розширили технологічні можливості процесу кування пустотілих заготовок та підвищили їх якість.

Ключові слова: кування, протягування, оправка, вирізні бойки, подача, кут скосів бойків, кут вирізів бойків, заковування отвору, напружено-деформований стан, метод скінчених елементів.

АННОТАЦИЯ

Маркова М. А. Совершенствование технологических процессов изготовления пустотелых поковок на основе способаковки без оправки. – 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, 2016.

Диссертация направлена на решение актуальной научно-технической задачи совершенствования технологических процессовковки пустотелых поковок с дном на основе применения нового способа и инструмента дляковки без оправки, которые обеспечивают получение качественных пустотелых поковок с требуемой толщиной стенки и диаметром отверстия.

Методом конечных элементов проведено моделирование процессовковки цилиндров, которое позволило установить эффективную геометрию инструмента, в которой вырезные бойки имели угол выреза 115° , угол скосов вырезов 10° и ширину деформирующей части 0,1 от диаметра заготовки. Данная схемаковки способствует минимальной заковке отверстия, а также равномерному распределению деформаций.

Установлено, что с увеличением степени деформации при протяжке без оправки интенсивность удлинения уменьшается за счет утолщения стенки пустотелой заготовки. Максимум утолщения стенки наблюдается при относительном диаметре отверстия в заготовке, равном 0,6. Это позволило сделать вывод о неэффективности данных соотношений размеров заготовки дляковки без оправки. Экспериментальные данные по удлинению заготовки в процессековки без оправки примерно на 5...8 % отличаются от теоретических, полученных МКЭ. С увеличением начального диаметра отверстия увеличивается конечный диаметр отверстия поковки.

Разработаны методика и рекомендации проектирования технологических процессовковки, которые заключаются в определении диаметра отверстия в заготовке перед протяжкой без оправки в зависимости от диаметра отверстия в поковке и степени деформации. Полученные рекомендации по геометрии оснастки для реализации технологического процессаковки пустотелых заготовок без оправки подтверждены в производственных условиях. Ковку без оправки целесообразнее производить вырезными бойками с углом выреза 115° и углами скосов 10° .

Апробация результатов исследований в производственных условиях позволила подтвердить полученные рекомендации по формоизменению пустотелой заготовки в процессековки без оправки вырезными бойками со скосами. Величина подачи должна составлять 0,1 от диаметра заготовки, обжатие за нажим не более 10 %, а последовательностьковки: проход \rightarrow кантовка на 90° \rightarrow проход \rightarrow кантовка на 90° \rightarrow проход \rightarrow кантовка на 45° \rightarrow проход.

Была внедрена новая технологияковки пустотелых заготовок без оправки. В результате на 25...30 % повысилась производительность процессаковки, а число нагревов снизилось на 15...25 %. Установленные в работе решения расширили технологические возможности процессаковки пустотелых заготовок и повысили их качество.

Ключевые слова: ковка, протяжка, оправка, вырезные бойки, подача, угол скосов, угол вырезов, заковка отверстия, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

ABSTRACT**Markova M. A. Improvement of forging processes of the hollow workpieces based on the deformation without a mandrel. – Manuscript.**

Dissertation for the candidate of technical sciences degree on the speciality 05.03.05 – Processes and Machines of Plastic Working. – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2016.

This study is aimed at solving the actual scientific and technical problem of developing improved technological processes for forging hollow workpieces like cylinders. The technical result is achieved through the use of a new method and tools for forging without a mandrel, which provides high-quality hollow forgings with the desired wall thickness and hole diameter.

A technique and technological process recommendations for forging have been developed. These recommendations are to determine the diameter of the hole in the workpiece before forging without mandrel, depending on the diameter of the hole in the workpiece and the degree of deformation. The recommendation of the tool geometry for accomplishing the blank forging without a mandrel was confirmed under industrial conditions. The forging without a mandrel was produced with cut-out dies with an angle of 115 ° and cut bevel angle of 10 °.

Validation studies under industrial conditions allowed the confirmation of recommendations to achieve a formable hollow workpiece during forging without a mandrel by cut-out dies with bevels. The value of feed should be 0.1 of the workpiece diameter. The reduction should be less than 10 %. The forging sequence should be: pass° → canting to 90 ° → pass° → canting to 90 ° → pas ° → canting to 45 ° → pass.

New technology for hollow workpiece forging without a mandrel has been introduced. As a result, the efficiency of the forging process was increased by 25...30 %. The number of heating cycles was reduced by 15...25 %. An expansion in the technological capabilities of the process for forging hollow workpieces was achieved.

Keywords: forging, drawing, mandrel, cut-out dies, feed, bevels, the angle of cut, closing of the hole, the stress-strain state, finite element method.

Підп. до друку 12.09.2016. Формат 60×84/16.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9.
Тираж 110 пр. Зам. № 84.

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

