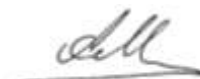


Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

МАКОВЕЦЬКИЙ АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 621.735.2.043

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГАРЯЧОГО ОБ'ЄМНОГО
ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ
ВАЖКОДЕФОРМІВНИХ СПЛАВІВ

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертація на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Тараненко Михайло Євгенович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський
авіаційний інститут», професор кафедри
технології виробництва літальних апаратів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сатонін Олександр Володимирович,
Донбаська державна машинобудівна
академія, професор кафедри автоматизованих
металургійних машин та обладнання

доктор технічних наук, професор
Тітов Вячеслав Андрійович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри механіки пластичності
матеріалів та ресурсозберігаючих процесів

Захист відбудеться «30» січня 2013 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.10 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий "25" грудня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 64.050.10



В.Г. Сукіасов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В аерокосмічній і авіаційній техніці широке поширення мають деталі складної просторової форми - з тонкими полотнами великої площі, тонкими і високими ребрами, малими радіусами спрягнень і переходів із важкодеформівних авіаційних сплавів. При цьому в номенклатурі заготовок для таких деталей значний обсяг займають ковані та штамповані поковки.

Такі особливості процесів гарячого об'ємного штампування деталей з ребрами із важкодеформівних сплавів, як підвищена витрата металу, висока трудомісткість виготовлення якісних штампованих поковок, підвищене споживання енергоресурсів свідчать про необхідність вдосконалення і впровадження ресурсозберігаючих процесів штампування на підприємствах авіаційної галузі. Отримання поковок з ребрами в даний час має певні технологічні труднощі. Існують проблеми в обранні співвідношень геометричних параметрів елементів поковки, що призводить в процесі штампування до виникнення дефектів у вигляді складок, затисків, обривів волокна, незаповнень і т.д. При цьому одним з основних напрямів удосконалення процесу штампування є розробка більш досконалого штампового оснащення, що сприяє течії матеріалу з меншим опором, при збереженні необхідної точності. Застосування процесу штампування поковок з ребрами на базі запропонованого оригінального способу штампування дозволить змінити напрямок течії металу на попередній стадії штампування та дасть можливість підвищити якість поковок шляхом поліпшення заповнення рельєфу рівчака штампу.

У зв'язку з викладеним, вдосконалення технологічних процесів штампування деталей зі складним вертикальним перетином із важкодеформівних сплавів і відповідного штампового оснащення є актуальним завданням для вирішення якого необхідно розробити нові способи і прийоми деформування заготовок в штампах шляхом вдосконалення режимів деформування та конструкції штампового оснащення. Вирішення вказаних задач визначило напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» згідно з планом прикладних і фундаментальних науково-дослідних робіт МОН України: «Методологічні основи проектування сучасних технологічних процесів виготовлення деталей і вузлів літальних апаратів» (ДР № 0106U001045); «Моделювання і розробка елементів технологічних систем виробництва авіаційної та автомобільної техніки» (ДР № 0109U001115), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення ресурсозберігаючих технологічних процесів об'ємного штампування деталей авіаційних конструкцій складної форми з тонкими і високими ребрами, тонкими полотнами великої площі із важкодеформівних сплавів і відповідного технологічного оснащення.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

– провести систематизацію робіт, присвячених розробці та дослідженню процесів гарячого об'ємного штампування деталей авіаційних конструкцій складної форми з одно- і двостороннім розташуванням ребер із важкодеформівних сплавів. Визначити напрямки і способи вдосконалення існуючих технологічних процесів отримання деталей складної

просторової форми, виявити найбільш раціональні методи дослідження і рішення задач процесів об'ємного штампування досліджуваних деталей;

- удосконалити технологічні процеси об'ємного штампування деталей складної форми з тонкими і високими ребрами із важкодеформівних сплавів на базі запропонованого оригінального способу штампування;

- виконати комплекс чисельного та експериментального моделювання процесу штампування поковок П-подібної форми в попередньому та остаточному рівчаку штампів для відпрацювання вдосконалених технологічних процесів штампування та уточнення розрахунків конструкції оснащення. Провести верифікацію проведеного дослідження шляхом порівняння отриманих результатів з експериментальними даними і результатами досліджень, отриманими із застосуванням інших типів моделей;

- дослідити вплив технологічних параметрів штампування і геометричних характеристик штампного оснащення на енергосилові параметри процесу і технологічну точність одержуваних деталей на основі чисельних експериментів. Розробити статистичну модель трудомісткості виготовлення штампного оснащення, технологічні рекомендації щодо розрахунку конструкції штампного оснащення та вибору технологічних параметрів процесу штампування.

Об'єкт дослідження – процеси гарячого об'ємного штампування деталей з ребрами.

Предмет дослідження – механізм формозміни, технологічні параметри та можливості нових технологічних схем об'ємного штампування деталей складної форми з ребрами.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційної роботи використовувався комплекс теоретичних методів дослідження, в основі яких лежали методи теорії пластичності, комп'ютерні технології та методи математичної статистики, і експериментальних методів, що представляють собою фізичне моделювання досліджуваних процесів в лабораторних умовах. За допомогою варіаційного методу Треффця визначали енергосилові параметри процесу штампування поковок з ребрами на заключній стадії процесу. Механізм формозміни матеріалу та вплив конструктивних характеристик штампного оснащення на процес формозміни заготовки виявлено шляхом експериментального моделювання процесу штампування з використанням моделі із пластичного матеріалу. Відпрацювання вдосконалених технологічних процесів штампування, уточнення розрахунків конструкції оснащення та дослідження можливостей розроблених схем штампування проводили методом комп'ютерного кінцево-елементного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- вперше обґрунтовано проведення дослідження технологічних параметрів перспективних схем об'ємного штампування поковок з ребрами із важкодеформівних сплавів на основі чисельного моделювання;

- отримала подальший розвиток узагальнена математична модель процесу об'ємного штампування на базі варіаційного методу Треффця, що дозволяє визначати енергосилові параметри процесу штампування поковок з ребрами на заключній стадії штампування;

– на основі обробки статистичних даних про вартість виготовлення штампового оснащення розроблена математична модель, яка дозволяє орієнтовно визначити трудомісткість виготовлення різних конструкцій штампів та скоротити час на проведення технологічної підготовки виробництва.

Практичне значення одержаних результатів для галузі обробки матеріалів тиском полягає у розробці нової конструкції штампового оснащення і перспективного способу об'ємного штампування поковок з одно- і двостороннім розташуванням ребер із важкодеформівних сплавів (патент України № 27535). Удосконалено типові технологічні процеси штампування поковок з ребрами із важкодеформівних сплавів. Розроблено класифікацію типових представників деталей з тонкими і високими ребрами, тонкими полотнами великої площі.

Для дослідження процесу формоутворення заготовки, визначення енергосилових параметрів процесу штампування і встановлення впливу на них конструктивних характеристик штампового оснащення розроблено комп'ютерні моделі процесу об'ємного штампування поковок з ребрами, які дозволяють проектувати технологічні процеси штампування і штампове оснащення без проведення коштовних пробних експериментів.

Розроблено технологічні рекомендації щодо розрахунку конструкції штампового оснащення та вибору технологічних параметрів процесу штампування, що забезпечують підвищення ефективності і зниження трудомісткості при вдосконаленні існуючих і проектуванні нових технологічних процесів штампування поковок з одно- і двостороннім розташуванням ребер.

Результати дисертаційної роботи використано на ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (м. Краматорськ) та застосовано в навчальному процесі на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Особистий внесок здобувача. Усі принципові ідеї, теоретичні та експериментальні дослідження, що винесені на захист, належать особисто здобувачу. Серед них: розробка математичної моделі процесу об'ємного штампування поковок П-подібної форми в попередньому рівняку штампа на заключній стадії штампування, проведення модельних експериментів та аналіз отриманих результатів; розробка кінцево-елементних комп'ютерних моделей процесу об'ємного штампування поковок з ребрами, проведення чисельного моделювання процесу штампування, обробка отриманих результатів та їх верифікація; розробка статистичної моделі, що дозволяє визначити трудомісткість виготовлення штампового оснащення, оцінка її адекватності; розробка способу та елементів конструкції штампового оснащення для штампування поковок П- та Ш-подібної форми.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях: «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (м. Харків, 2008-2011 рр.); «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» (м. Харків, 2009-2012 рр.); «Ресурсозбереження й енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії» (м. Харків, 2010-2011 рр.). Робота в повному обсязі розглядалась та обговорювалась на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» та кафедрі обробки

металів тиском Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (2011 – 2012 рр.).

Публікації. Основні наукові положення і результати досліджень за темою дисертації опубліковані у 14 наукових працях, серед яких 5 у наукових фахових виданнях України, 1 патент України та 8 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 149 сторінок, з них 56 рисунків по тексту, 10 рисунків на 10 окремих сторінках, 8 таблиць по тексту, 1 таблиця на 2 окремих сторінках, 80 найменувань літературних джерел на 9 сторінках, 2 додатки на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми та наведена загальна характеристика роботи, показана наукова новизна і практична значимість отриманих результатів досліджень.

В першому розділі проведено аналіз наведених науково-технічних джерел у галузі обробки металів тиском, що стосуються виготовлення деталей складної просторової конфігурації із важкодеформівних сплавів. Показано, що в даний час широке поширення в авіаційній та аерокосмічній техніці мають деталі з ребрами із важкодеформівних високоміцних сплавів (алюмінієві та титанові сплави). Проаналізовано номенклатуру досліджуваних деталей і проведена їх класифікація (рис. 1).



Рисунок 1 - Типові представники деталей з ребрами

Встановлено, що в умовах сучасного виробництва літальних апаратів широко застосовується гаряче об'ємне штампування як метод виготовлення відповідальних деталей складної форми. Це пояснюється високою продуктивністю процесу при можливому отриманні високих механічних властивостей деталей, можливістю досягнення заданої точності в межах встановлених відхилень.

Показано, що отримання деталей з ребрами із важкодеформівних сплавів являє собою значну трудність. Неправильно обрані співвідношення геометричних розмірів елементів поковки призводять в процесі штампування до виникнення таких дефектів: складок, затисків, незаповнень і т.д. При цьому вельми обмеженою є область сприятливих умов деформування. Встановлено, що основним напрямком удосконалення процесу об'ємного штампування деталей з ребрами є розробка більш досконалої технології гарячого об'ємного штампування і штампового оснащення при збереженні необхідної точності.

Наведено переваги використання штампування в умовах ізотермічного і наближених до нього деформування для отримання деталей досліджуваної групи.

Проаналізовано існуючі розробки для отримання якісних деталей з ребрами із важкодеформівних сплавів. Визначено основні технічні прийоми, вживані у виробничій практиці, що забезпечують отримання деталей заданої форми, точності і з необхідною структурою. До таких прийомів слід віднести штампування у штампах з компенсаційними виступами, застосування вальцювання, управління термомеханічними режимами обробки. Однак ці методи мають ряд недоліків, які призводять до підвищення собівартості виготовлення деталей. Показано, що доцільним є вдосконалення технологічних процесів штампування деталей з ребрами на базі запропонованого оригінального способу штампування.

Показана ефективність проведення комплексу чисельного й експериментального моделювання процесу штампування, що взаємодоповнюють одне одного і дозволяють стверджувати про високий ступінь адекватності проведеного дослідження при узгодженості результатів, отриманих з використанням різних моделей. При цьому кожен з цих методів має свої переваги і недоліки. Так фізичні методи моделювання характеризуються меншою точністю, у порівнянні з чисельними, але при цьому відрізняються більшою наочністю, відображаючи в більшій мірі якісну картину досліджуваного процесу.

У другому розділі запропоновано загальну методику дослідження та обрані методи теоретичних і експериментальних досліджень.

Загальна методика досліджень полягає в удосконаленні технологічного процесу штампування поковок з ребрами із важкодеформівних сплавів на підставі запропонованого способу штампування і проведення комплексу чисельного та експериментального моделювання процесу штампування на базі розроблених моделей для підвищення наукової обґрунтованості прийнятих технічних рішень.

Удосконалено технологічний процес штампування поковок П-подібної форми із важкодеформівних титанових і алюмінієвих сплавів на основі запропонованого способу штампування. Використано спосіб, у відповідності з яким, на попередній стадії штампування на поковці формуються дві бічні порожнини складного профілю. При цьому використовується штамп з двома рівчачками, попереднім і остаточним. Так попередній рівчачок має рельєф, де на внутрішніх бокових стінках, відповідаючи ребрам на поковці, виконані симетрично цим ребрам спеціальні профілі з позитивною кривизною (напрямні виступи). Це дозволяє змінити напрямок течії металу на попередній стадії штампування, що дає можливість переважно затікати йому в вертикальні ребра, утворюючи ребра необхідної висоти на попередній стадії штампування.

Спосіб штампування поковок реалізується наступним чином. Первинно використовується для штампування нагрітий в електропечі до температури 950^{+20} °С (матеріал заготовки ВТ20) або 430^{+20} °С (матеріал заготовки В95) напівфабрикат у вигляді заготовки з прокату або кований злиток 1 (рис. 2, а). Потім у попередньому рівчачку штампа отримують напівфабрикат 2 з виконаними в ньому порожнинами 3 (рис. 2, а). Напівфабрикат 2 знову підігрівають до тієї ж температури і на остаточній стадії процесу відбувається обтиск утворених порожнин з подальшим їх переформуванням в готову поковку 4 (рис. 2, б). Після цього проводять обрізку облоя в обрізному штампі.

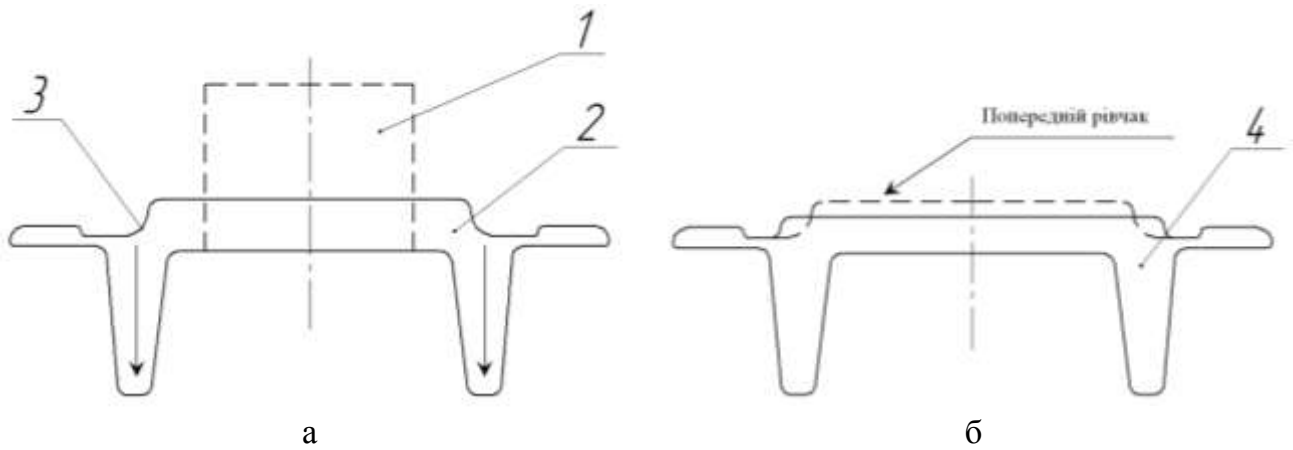


Рисунок 2 - Попередній (а) і остаточний (б) ривчак штампа: 1 - заготовка з прокату або кований злиток; 2 – поковка; 3 - порожнини в тілі поковки; 4 - готова поковка

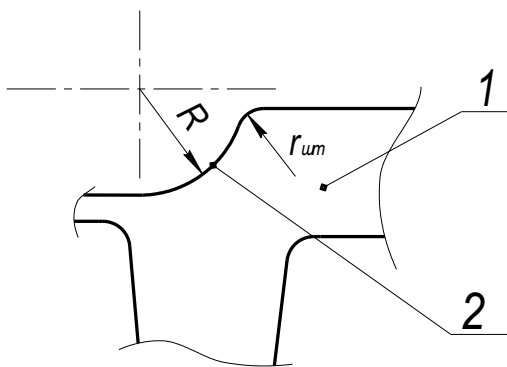


Рисунок 3 - Геометричні параметри порожнини 2, виконаної в тілі поковки 1

Крім того, порожнина виконується з радіусом кривизни, що не перевищує товщину полотна поковки, радіус порожнини також сполучається зі стінками ривчака штампувальними радіусами. Геометричні параметри порожнини 2, виконаної в тілі поковки 1 в попередньому ривчаку наведені на рис. 3. Введення додаткових (напрямних) елементів форми ривчаків штампа не призводить до підвищеної витрати матеріалу, тому що для створення додаткових порожнин в тілі поковки використовується основний матеріал заготовки, який потім перерформується в подальшому ривчаку штампа.

Обґрунтовано вибір методу теоретичних досліджень. В основу розробки математичної моделі процесу об'ємного штампування поволок П-подібної в перетині і подовженої в плані форми було покладено відомий варіаційний метод Треффця, суть якого полягає в тому, що здійснюється мінімізація інтегральної квадратичної помилки при задовільненні рівнянь рівноваги функціями, які виконують граничні умови або в мінімізації інтегральної квадратичної помилки функціями, що представляють часткові рішення диференціальних рівнянь. Такі рішення виражені у формі $u_1(x, y) \dots u_n(x, y)$. Функцію $u(x, y)$, що є рішенням рівняння і задовольняє заданим граничним умовам на межі області $L(x, y)$ розшуковують у вигляді

$$u = \sum_{i=1}^n c_i u_i(x, y), \quad (1)$$

де c_i - сталі.

Сталі c_i знаходяться з умови мінімуму інтегрального квадрата нев'язки R_0 на замкнутому контурі

$$I = \int_L R_0^2 dl \Rightarrow \min, \quad (2)$$

що виражається системою рівнянь, для c_i :

$$\frac{\partial I}{\partial c_1} = 0; \frac{\partial I}{\partial c_2} = 0; \dots \frac{\partial I}{\partial c_n} = 0. \quad (3)$$

У разі процесу об'ємного штампування у відкритому штампі вважається, що стан плоскодеформований, а характер навантаження симетричний.

Представлена методика комп'ютерного моделювання процесу штампування поковок П-подібної форми на базі кінцево-елементних моделей. Наведено особливості розробки таких моделей, стосовно досліджуваного процесу. Відображено необхідність верифікації отриманих результатів чисельного моделювання.

Наведено методику деформування зразків з пластичних матеріалів для експериментального моделювання процесу штампування поковок з ребрами і надані загальні положення вибору параметрів конструкції штампів та відповідності принципу подібності.

У третьому розділі наведені результати комплексу чисельного та експериментального моделювання процесу штампування поковок П-подібної форми із важкодеформівних сплавів, спрямованого на відпрацювання вдосконалених технологічних процесів та уточнення розрахунків конструкції відповідного штампового оснащення.

Розроблено математичну модель процесу штампування поковок П-подібної в перетині і подовженої в плані форми на підставі варіаційного методу Треффця. Подальше математичне моделювання процесу штампування з використанням розробленої моделі дозволило уточнити вихідні передумови та вжити конкретні технічні рішення по проектуванню конструкції штампового оснащення.

Для розрахунків напружень використаний метод мінімізації інтегральної квадратичної помилки при задовільненні прийнятих граничних умов частковими рішеннями диференціальних рівнянь рівноваги і умови пластичності.

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_{\bar{\sigma}}}{\partial \bar{\sigma}} + \frac{\partial \tau_{\bar{\sigma}\bar{\sigma}}}{\partial \bar{\sigma}} = 0, \\ \frac{\partial \sigma_{\bar{\sigma}}}{\partial \bar{\sigma}} + \frac{\partial \tau_{\bar{\sigma}\bar{\sigma}}}{\partial \bar{\sigma}} = 0; \end{cases} \quad \sigma_x - \sigma_y = \bar{\sigma} + 4\tau_{xy}^2 = \frac{4}{3}\sigma_s^2. \quad (4)$$

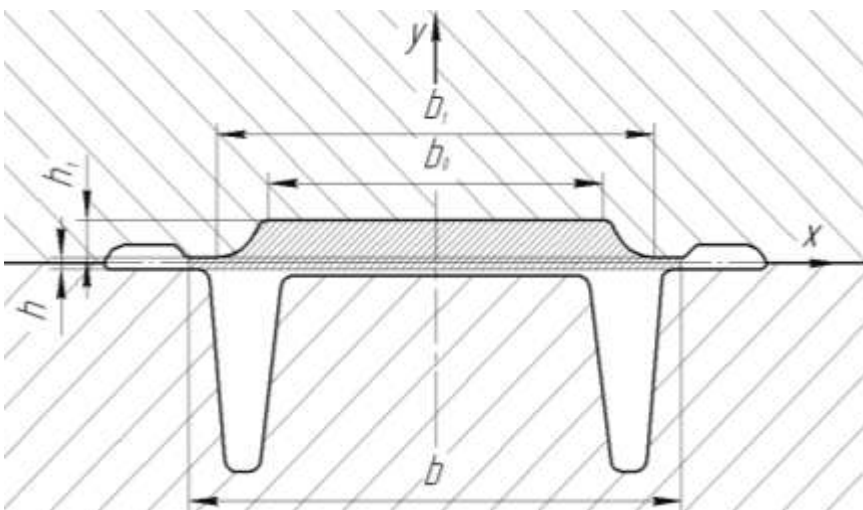


Рисунок 4 - Схема процесу об'ємного штампування

При цьому граничні умови, що відповідають тертю на поверхнях прийняті у вигляді закону Зибеля:

$$\tau_k = \mu_s \sigma_s, \quad (5)$$

де μ_s - коефіцієнти тертя;
 σ_s - межа плинності.

Напруження в пластичному шарі знаходять за допомогою часткового рішення рівнянь рівноваги і умови ідеальної пластичності, якщо прийняти, що τ_e і $\bar{\sigma}_0$ - постійні, що підлягають визначенню.

Вирази для визначення напружень мають наступний вигляд:

$$\tau_{xy} = -2\tau_k \frac{y}{H_1}, \quad \sigma_y = 2\tau_k \frac{x}{H_1} - p_0, \quad \sigma_x = 2\tau_k \frac{x}{H_1} + 2\sqrt{\left(\frac{\sigma_s^2}{3} - 4\tau_k^2 \frac{y^2}{H_1^2}\right)} - p_0. \quad (6)$$

Задовільнення граничних умов рівняннями для напружень призведе до таких нев'язок: $R_o = \left| \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} - \tau_k \right|$ - нев'язки по контактним напруженням на торцевих поверхнях; $R_o = \left| 2\tau_k \frac{y}{H_1} \right|$ - нев'язки по контактним напруженням на бічних поверхнях;

$R_o = \left| \tau_k \frac{b}{H_1} - p_0 + 2\left(\frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} - 2\tau_k \frac{|y|}{H_1}\right) \right|$ - нев'язки по нормальним напруженням, з урахуванням тертя по Зибелю, при $H_1 = h + h_1$, де H_1 - поточна загальна товщина шару.

Інтегральна величина квадрата нев'язок на поверхнях пластичної області з урахуванням симетрії її навантаження знайдена за наведеним нижче виразом. При цьому значення нев'язки на криволінійній ділянці (напрямно виступ) знайдемо як суму нев'язок по окремих ділянках (розбиттям на n смуг).

$$I = 2a_n \int_{0.5b_1}^{0.5b} \left(\frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} - \tau_k\right)^2 dx + 2a_n \int_0^{0.5b} \left(\frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} - \tau_k\right)^2 dx + 2a_n \int_{0.5b_1}^{0.5b_0} \left(\frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} - \tau_k\right)^2 dx + 4a_n \int_0^{0.5h} \left(2\tau_k \frac{y}{H_1}\right)^2 dy + 4a_n \int_0^{0.5h} \left(\tau_k \frac{b}{H_1} - p_0 + 2\sqrt{\frac{\sigma_s^2}{3} - 4\tau_k^2 \frac{y^2}{H_1^2}}\right)^2 dy + \frac{2a_n}{n} \sum_{i=1}^n \left(\int_{0.5h}^{0.5h+h_i} \left(\tau_k \frac{b_i}{H_1} - p_0 + 2\sqrt{\frac{\sigma_s^2}{3} - 4\tau_k^2 \frac{y^2}{H_1^2}}\right)^2 dy\right), \quad (7)$$

де a_n - довжина поковки по зовнішньому контуру містка облойної канавки; n - можливе число смуг розбивки.

Необхідними умовами мінімуму величини I є:

$$\frac{\partial I}{\partial \tau_k} = 0; \quad \frac{\partial I}{\partial p_0} = 0. \quad (8)$$

В подальшому, виділяючи значення τ_k і значення p_0 , визначимо вирази:

$$p_0 = \frac{2\sigma_s}{\sqrt{3}} \left(1 + 2 \frac{[0.5h_1(b - 0.5h) + bh_1 + h_1^2 + hh_1 + 4H_1(0.5b - b_o)] \cdot (bh + \sum_{i=1}^n b_i h + h_1^2 + hh_1)}{[0.5h_1(b - 0.5h) + h_1(b - h_1 + h)] \cdot (bh + \sum_{i=1}^n b_i h + h_1^2 + hh_1) + (0.5h - h_1) \cdot [h(b^2 - \frac{h^2}{3}) + \sum_{i=1}^n b_i^2 h - \frac{4}{3}(0.5b - h_1)^3 - 0.5h^3 + H_1^2(0.5b - b_o + 0.5^3 h)]}\right), \quad (9)$$

$$\tau_k = -\frac{4\sigma_s}{\sqrt{3}} \frac{(0.5h - h_1)}{(bh + \sum_{i=1}^n b_i h_1 + h_1^2 + hh_1)} \left(H_1 \cdot \frac{[0.5h_1(b - 0.5h) + bh_1 + h_1^2 + hh_1 + 4H_1(0.5b - b_o)] \cdot (bh + \sum_{i=1}^n b_i h + h_1^2 + hh_1)}{[(0.5h_1(b - 0.5h) + h_1(b - h_1 + h)) \cdot (bh + \sum_{i=1}^n b_i h + h_1^2 + hh_1) + (0.5h - h_1) \cdot [h(b^2 - \frac{h^2}{3}) + \sum_{i=1}^n b_i^2 h - \frac{4}{3}(0.5b - h_1)^3 - 0.5h^3 + H_1^2(0.5b - b_o + 0.5^3 h)]}\right). \quad (10)$$

Графічна інтерпретація виразів для p_o і τ_k (9,10) наведена на рис. 5,6.

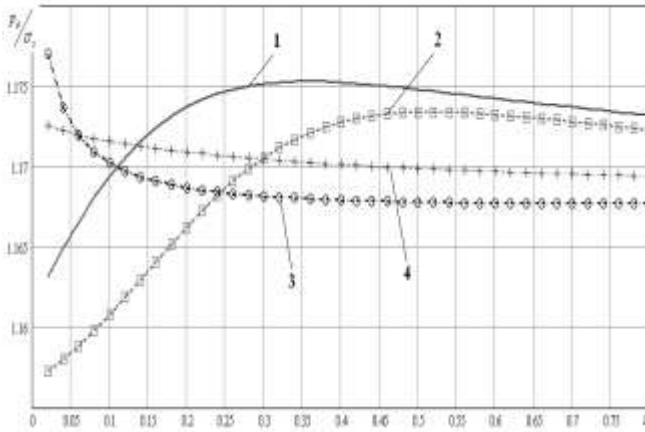


Рисунок 5 - Залежність відносних напружень

p_o/σ_s від параметра $t = \frac{H_1}{b}$:

1- $\frac{h}{H_1}=0,3$; 2- $\frac{h}{H_1}=0,1$; 3- $\frac{h}{H_1}=0,8$; 4- $\frac{h}{H_1}=0,6$

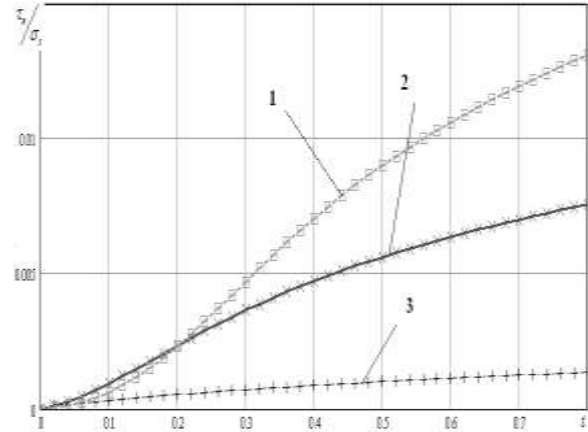


Рисунок 6 - Залежність відносних на-

пружень τ_k/σ_s від параметра $t = \frac{H_1}{b}$:

1- $\frac{h}{H_1}=0,1$; 2- $\frac{h}{H_1}=0,3$; 3- $\frac{h}{H_1}=0,8$

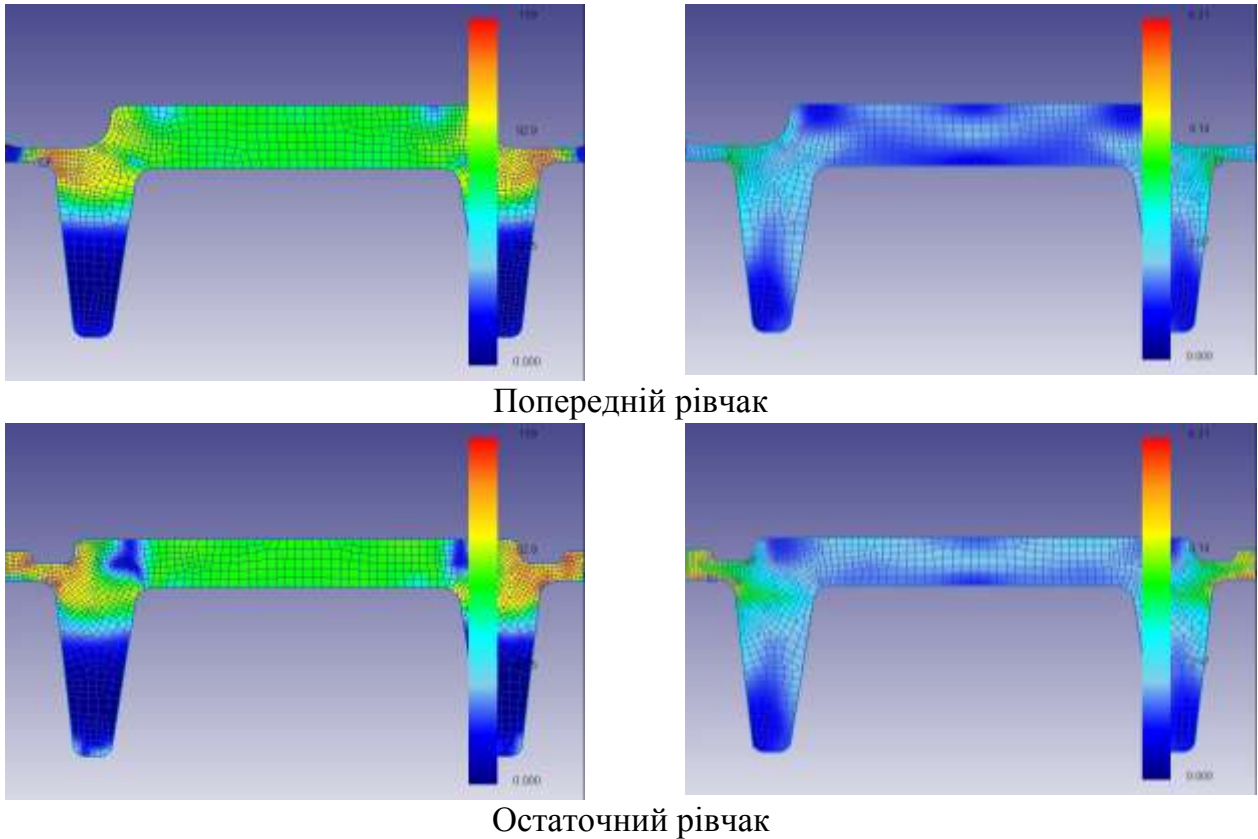
Аналіз виразу (9), що відображає залежність величини p_o/σ_s від $t = H_1/b$, де H_1 і b - геометричні параметри осередку деформації, показує, що чим більше відносна товщина величини шару h/H_1 , рис. 4, тим ближче залежність до традиційної. Крім того, дані, рис. 5, свідчать в цілому про більш низький рівень відносних нормальних напружень для розглянутого випадку штампування. Графіки, наведені на рис. 6 свідчать про зростання відносних контактних напружень τ_k/σ_s в міру збільшення відносини h/H_1 , тобто зі збільшенням частки ширини виділеної ділянки - h , рис. 4, в загальній ширині шару.

В результаті проведених експериментальних досліджень з використанням моделі з пластичних матеріалів встановлено ефективність заповнення самого виступу за рахунок зміни напрямку швидкості течії металу, рівномірність деформації шарів заготовки в тілі поковки та їх еквідистантність контуру поковки. Вибрані геометричні параметри напрямних виступів (радіус і відстань між ними) забезпечили переважне затікання матеріалу заготовки в П-подібний виступ до витікання металу в облої.

При проведенні експериментального моделювання процесу штампування в проблемній науково-дослідній лабораторії технології літакобудування кафедри технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» показана важливість базування і правильної установки заготовки в порожнині штампа. У разі невірної установки зі зміщенням вертикальної осі симетрії заготовки на величину $\delta/a = \pm 0,036$ від осі симетрії штампа (де δ - величина зсуву, a - відстань між ребрами) недоштампування по висоті ребра досягає величини 12% від заданої висоти. Поковку в даному випадку слід віднести до браку.

Розроблено кінцево-елементні моделі процесу штампування поковок П-подібної форми в попередньому і остаточному рівчаку. В якості деформівного матеріалу заготовки для дослідження був прийнятий титановий сплав типу ВТ 20 і алюмінієвий сплав В95. Температура нагріву під штампування - $950^{+20} \text{ } ^\circ\text{C}$ (ВТ20) і $430^{+20} \text{ } ^\circ\text{C}$ (В95).

На рис. 7 а, б наведені напруження і деформації в деформованій заготовці в попередньому і остаточному рівчаку на остаточній стадії штампування.



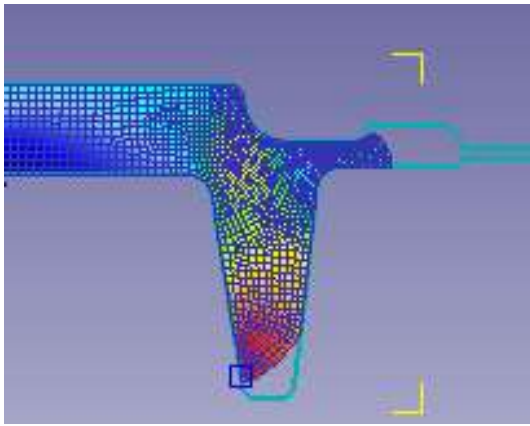
Попередній рівчак

Остаточний рівчак

Рисунок 7 - Розподіл інтенсивності напружень (ліворуч) і деформацій (праворуч) при моделюванні штампування поковок П-подібної форми в попередньому і остаточному рівчаку

Результати моделювання процесу штампування, наведені на рис. 7, свідчать про те, що матеріал заготовки повністю заповнив рівчак штампа без дефектів форми, а обрана ширина містка облойної канавки дозволила створити потрібний опір течії металу, і таким чином заповнити по висоті П-подібні виступи до витікання металу в облойну канавку. Розподіл напружень по тілу поковки на остаточній стадії штампування в попередньому рівчаку, які можна ідентифікувати як залишкові (деформаційні і температурні), носить рівномірний характер, крім незначного зростання значень в тілі полотна до 350 МПа (ВТ 20) і 80 МПа (В95) а також в зоні, що відповідає напрямним виступам на гравюрі верхньої частини штампа до 430 МПа (ВТ 20) і 100 МПа (В95). Максимального значення напруження досягають в області містка облойної канавки до 500 МПа (ВТ 20) і 120 МПа (В95). Інтенсивність деформацій по тілу поковки при цьому становить 0,9...2,3 (ВТ 20) і 0,8...2,2 (В95). Максимальні деформації розподілені в області переходу полотна у ребро (значення інтенсивності деформації для обох випадків від 2 до 2,6), що свідчить про опрацювання металу в цій області.

В остаточному рівчаку штампа відбувається обтиск утворених порожнин в тілі поковки, отриманої в попередньому рівчаку штампа, з подальшим їх переформування в готову поковку. Аналіз напружень на остаточній стадії штампування показує, що характер їх розподілу рівномірний, максимальні розташовані в зоні переходу полотна у П-подібні виступи, де досягають значення до 400 МПа (ВТ 20) і 105 МПа (В95), а також зоні містка - до 510 МПа (ВТ 20) і 120 МПа (В95). Інтенсивність деформацій при цьому в зоні переходу приймає значення 2,1...3,2 (ВТ 20) і 2,0...3,1 (В95), в зоні містка від 2,7 до 3,2 як для ВТ 20, так і для В95.



□ - максимальне значення

Рисунок 8 - Розподіл швидкостей частинок в тілі поковки

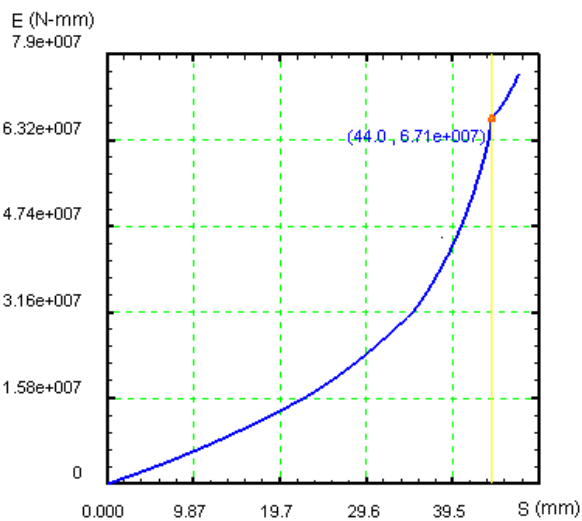


Рисунок 9 - Залежність накопиченої енергії (E) від ходу верхньої частини штампа (s)

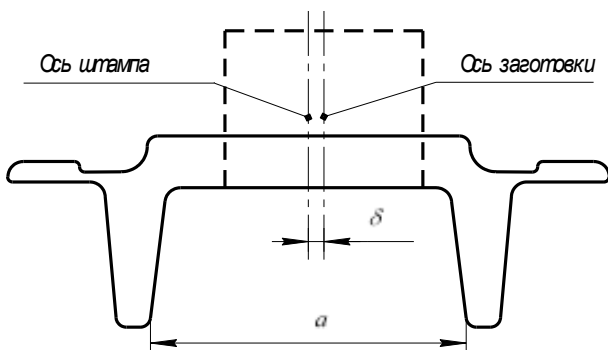


Рисунок 10 - Схема установки заготовки зі зміщенням δ по площині штампа, де a - відстань між ребрами

Показана ефективність запропонованого прийому штампування в попередньому рівчаку з напрямними виступами на зовнішній стороні гравюри верхньої частини штампа, що забезпечують більш рівномірне затікання металу в сторону П-подібних виступів. На рис. 8 наведена картина швидкостей частинок металу в момент заповнення П-подібних виступів.

Аналіз діаграми, рис. 8, показує, що швидкість течії сплаву зростає в напрямку П-подібного виступу, досягаючи найвищого значення в його нижній частині. Це свідчить про те, що створений профіль на гравюрі верхньої частини штампа дозволяє змінювати течію металу у напрямку виступів, забезпечуючи таким чином остаточне штампування виступів по висоті в попередньому рівчаку.

В результаті проведеного моделювання процесу штампування побудована залежність накопиченої енергії від величини переміщення (ходу) верхньої частини штампа, що представлено на рис. 9. Аналіз графіка (рис. 9) показує насприятливий для деформування характер накопичення енергії деформування. Це свідчить про раціональний характер технологічного процесу штампування заготовок П-подібного типу. Точка перелому на графіку відповідає переходу штампування з попереднього в остаточний рівчак.

Проведено комп'ютерне моделювання процесу штампування поковок П-подібної форми із заданим зміщенням заготовки у попередньому рівчаку штампа (рис. 10). Встановлено, що при зміщенні заготовки по площині штампа на величину $\delta/a = \pm 0,036$ на остаточній стадії процесу отримуємо недоштампування П-подібного виступу на 9% по висоті (при моделюванні з використанням пластичних матеріалів приведена величина досягла 12%, що може бути викликано різними завданнями механізму деформування матеріалу і контактних умов).

Встановлено, що отриману деталь у разі установки зі зміщенням $\delta/\dot{a} = \pm 0,036$ слід віднести до браку. Розподіл напружень і деформацій носить нерівномірний характер, максимальні спостерігаються в зоні переходу полотна у П-подібний виступ і досягають значення 360...450 МПа (ВТ 20) при інтенсивності деформацій 2,6...3,1. У разі зміщення заготовки на величину $\delta/\dot{a} = \pm 0,018$ геометрія поковки оформлена повністю без дефектів форми, однак аналіз розподілу напружень і деформацій не дозволяє вважати її придатною, зважаючи на те, що в області переходу полотна у П-подібний виступ (протилежно заданому зміщенню) також спостерігається зона підвищених напружень і деформацій. Величина інтенсивності напружень при цьому досягає 430...520 МПа при інтенсивності деформацій 3,0...4,1. Такий розподіл напружень і деформацій може призвести до короблення деталі, також більш інтенсивного зносу штампа в області переходу полотна в П-подібний виступ і містка облойної канавки. Таким чином використовувати таку заготовку для подальшого деформування можливо лише з введенням операції проміжного відпалу.

У результаті проведення верифікації отриманих результатів чисельного моделювання за допомогою порівняння з експериментальними даними і результатами досліджень, отриманими з використанням інших типів моделей (експериментальні дослідження з використанням прозорих моделей), встановлено, що розроблена модель описує НДС деформівної заготовки з точністю 20...25%.

У четвертому розділі наведені результати розробки рекомендацій з проектування конструкції штампного оснащення та вибору технологічних параметрів процесу штампування поковок з ребрами.

Розроблено загальні положення вибору параметрів конструкції штампного оснащення, які полягають в тому, що необхідно вибрати тип поковки, тобто визначити, чи можна його віднести до розглянутих в роботі. Далі слід вибрати характер розташування напрямних виступів в попередньому ривчаку штампа, відповідно до запропонованого способу штампування поковок з ребрами, і геометричні характеристики попереднього ривчака штампа, що відповідають технологічним рекомендаціям, розробленим за результатами проведених досліджень.

Виконаний комплекс теоретичних та експериментальних досліджень процесу гарячого об'ємного штампування поковок з ребрами із важкодеформівних сплавів дозволив визначити параметри, що впливають на технологічну точність штампування, що істотним чином визначає якість готової продукції.

Виконаний аналіз залежності енергосилових параметрів для двох груп досліджуваних матеріалів (алюмінієвих і титанових сплавів) від параметрів конструктивних елементів оснащення, дозволяє зробити висновок про те, що всередині кожної з груп характер цієї залежності практично не змінюється. Однак, при переході від першої групи до другої помітно збільшення впливу параметрів конструктивних елементів на енергію і зусилля деформування. Це пояснюється ефектом охолодження поверхні заготовки перед деформуванням і підтверджує відомі висновки про те, що необхідно зводити до мінімуму час між закладкою заготовки в штамп і робочим ходом, особливо для титанових сплавів.

На підставі проведених досліджень розроблено рекомендації щодо вибору геометричних характеристик попереднього ривчака штампа. Зокрема, рекомендації стосуються вибору форми і розмірів напрямних виступів, їх взаємного розташування, геометрії гравюри і конструктивних елементів штампів.

В результаті проведеного комп'ютерного моделювання встановлено, що при відповідності розмірів попереднього ривчака розробленим і наведеним у довідковій лі-

температурі рекомендаціям, штампування поковок в попередньому і остаточному рівчачку пройшло без наявності дефектів, форма готової поковки оформлена повністю.

Задаючись граничними значеннями рекомендованих геометричних характеристик штампного оснащення, граничними умовами висоти ребра і радіусів переходів, а також більш низькою температурою деформівного матеріалу і штампа були отримані поля напружено-деформованого стану поковки в разі утворення дефекту типу затиск.

Наведені практичні рекомендації по розташуванню заготовки в штампі - допустиме зміщення заготовки по площині установки до $\delta/a = \pm 0,012$. Перевищення наведеного допустимого значення призводить або до появи браку (недоштампування ребер по висоті) або до збільшення трудомісткості штампування внаслідок введення додаткових технологічних операцій.

Розроблено базову конструкцію штампного оснащення з напрямними елементами форми для гарячого об'ємного штампування поковок П-подібної в перетині і подовженої в плані форми із важкодеформівних сплавів.

На основі обробки статистичних даних про вартість виготовлення штампного оснащення розроблена математична модель для оціночного визначення трудомісткості виготовлення штампного оснащення, що дозволяє встановити вплив на трудомісткість основних технологічних параметрів і скоротити терміни прийняття рішень.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведено комплекс науково-прикладних досліджень, спрямованих на вирішення завдання з удосконалення ресурсозберігаючих технологічних процесів об'ємного штампування деталей авіаційних конструкцій складної форми з тонкими і високими ребрами, тонкими полотнами великої площі із важкодеформівних сплавів і відповідного технологічного оснащення. При виконанні роботи отримані наступні результати.

1. Проведена систематизація науково-технічних джерел, що дозволила виявити групу деталей складної форми з одно-і двостороннім розташуванням ребер із важкодеформівних сплавів, широко поширених в авіаційній та аерокосмічній техніці, отримання яких становить певну технологічну складність через жорсткі технологічні обмеження на конструкцію таких деталей, а також складності самого технологічного процесу штампування, обумовленої вельми обмеженою областю регламентованих умов деформування досліджуваних сплавів. Розроблено класифікатор деталей досліджуваної групи.

Визначено, що одним з основних напрямів удосконалення існуючих технологічних процесів отримання деталей складної форми є розробка більш досконалого технологічного оснащення, що сприяє течії матеріалу з меншим опором, при збереженні необхідної точності.

Встановлено ефективність застосування синтезу методів чисельного й експериментального моделювання процесу штампування для аналізу механізму формозміни матеріалу і напружено-деформованого стану поковки, з метою відпрацювання вдосконаленого технологічного процесу штампування, уточнення вибраних параметрів конструкції оснащення та режимів деформування.

2. На базі запропонованого способу штампування вдосконалені технологічні процеси об'ємного штампування деталей складної форми з тонкими і високими ребрами, тонкими полотнами великої площі із важкодеформівних сплавів.

3. Синтезовано математичні моделі процесу гарячого об'ємного штампування поковок П-подібної форми з ребрами. Проведена верифікація розроблених моделей з результатами експериментів. Досліджено можливості розроблених схем штампування та науково обґрунтовано виявлено діапазон допустимих значень технологічних параметрів удосконалених процесів і вихідних даних для проектування штампового оснащення шляхом чисельних досліджень на підставі синтезованих моделей. Виконано комплекс чисельного й експериментального моделювання процесу штампування поковок П-подібної форми в попередньому і остаточному рівчаку штампа з важкодеформівних титанових і алюмінієвих сплавів на базі розроблених моделей.

Чисельне моделювання на підставі варіаційного методу Треффця дозволило визначити енергосилові параметри процесу штампування і вивчити вплив на них геометричних параметрів штампового оснащення. Визначено діапазони припустимих значень геометричних параметрів та взаємного розташування напрямних виступів і ребер деталі.

Досліджено механізм формозміни матеріалу, вплив конструктивних характеристик штампового оснащення на процес формоутворення заготовки на основі експериментального моделювання процесу штампування поковок П-подібної форми з використанням пластичного матеріалу. Отримані результати проведеного експериментального моделювання дозволили встановити сприятливий характер розподілу волокон в тілі поковки.

Проведене кінцево-елементне моделювання штампування в конструктивно зміненому попередньому і остаточному рівчаку штампа дозволило встановити ефективність запропонованого оригінального способу штампування за рахунок зміни напрямку течії металу, рівномірність розподілу напружень по тілу поковки на остаточній стадії процесу, а також їх відповідність очікуваним для обраного сплаву. У результаті проведення верифікації отриманих результатів чисельного моделювання встановлено, що розроблена модель описує НДС деформівної заготовки з точністю 20...25%.

4. Проведено чисельні експерименти на базі розроблених моделей та досліджено вплив технологічних параметрів штампування і геометричних характеристик штампового оснащення на енергосилові параметри процесу і технологічну точність одержуваних деталей. Встановлено важливість точності розташування заготовки в штампі, що істотним чином впливає на якість готової продукції. Отримано практичні рекомендації по розташуванню заготовки в штампі - допустиме зміщення заготовки по площині установки до $\delta/\dot{a} = \pm 0,012$. Перевищення наведеного допустимого значення призводить або до появи браку (недоштампування ребер по висоті, виникнення складок, затисків) або до збільшення трудомісткості штампування внаслідок введення додаткових технологічних операцій.

На основі обробки статистичних даних про вартість виготовлення штампового оснащення розроблена математична модель для орієнтовного визначення трудомісткості виготовлення різних конструкцій штампового оснащення, що дозволяє скоротити час на прийняття рішень та проведення технологічної підготовки виробництва.

Розроблено технологічні рекомендації з проектування конструкції штампового оснащення та вибору технологічних параметрів процесу штампування, що дозволяють удосконалювати існуючі та проектувати нові технологічні процеси отримання деталей з ребрами із важкодеформівних сплавів.

5. Результати дисертаційної роботи використано на ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (м. Краматорськ) та застосовано в навчальному процесі на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Маковецький А.В. К расчету процессов получения заготовок на основе метода Треффца / В.В. Маковецький, А.В. Маковецький // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ: ДДМА. – 2006. – № 2 (4). – С. 132-137.

Здобувачу належить розробка математичної моделі процесу об'ємного штампування поковок П-подібної форми в попередньому ривчаку штампна на заключній стадії штампування.

2. Маковецький А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния поковок из титановых сплавов при горячей штамповке / А.В. Маковецький, В.В. Маковецький // Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – Краматорськ: ДДМА. – 2007. – № 2Е (10). – С. 121-128.

Здобувачу належить розробка кінцево-елементних комп'ютерних моделей процесу об'ємного штампування поковок з ребрами, проведення чисельного моделювання процесу штампування, обробка отриманих результатів.

3. Маковецький А.В. Разработка математических моделей расчета квалиметрических показателей технологичности крупногабаритных деталей / М.Є. Тараненко, О.В. Демченко, А.В. Маковецький // Питання проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів. – Харків: НАКУ ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – 2009. – № 1 (57). – С. 79-83.

Здобувачу належить розробка математичної моделі для визначення трудомісткості виготовлення штампового оснащення, проведення оцінки її адекватності.

4. Маковецький А.В. Определение параметров, влияющих на технологическую точность горячей объемной штамповки деталей авиационных конструкций из титановых сплавов типа ВТ-20 / А.В. Маковецький // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ». – 2011. – № 2. – С. 37-45.

5. Маковецький А.В. Моделирование ресурсосберегающих технологических процессов горячей объемной штамповки поковок из авиационных сплавов в условиях изотермического и приближенного к нему деформирования / М.Є. Тараненко, А.В. Маковецький // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ». – 2011. – № 45. – С. 98-104.

Здобувачу належить кінцево-елементне рішення задачі гарячого об'ємного штампування, отримання рішення для випадку штампування поковок П-подібної форми з авіаційного сплаву типу В95, проведення аналізу отриманих результатів.

6. Пат. 27535 Україна, МПК В21D 21/00. Спосіб виготовлення виробів типу панелей та вилок з важкодеформівних сплавів / О.В. Маковецький, В.В. Маковецький, А.В. Маковецький; № u200705108. Заявл. 10.05.2007. Опубл. 12.11.2007. Бюл. № 18.

Здобувачу належить розробка способу та елементів конструкції штампового оснащення для штампування поковок П- та Ш-подібної форми.

7. Маковецький А.В. Разработка математической модели для оценки трудоемкости изготовления крупногабаритной штамповой оснастки / А.В. Маковецький // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні

ІКТМ-2008: тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. 28-30 жовтня 2008 р. – Харків, 2008. – С. 18.

8. Маковецький А.В. Исследование форм заготовок из титановых сплавов, получаемых горячей объемной штамповкой [Текст] / А.В. Маковецький, М.Є. Тараненко // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. 22-23 квітня 2009 р. – Харків, 2009. – С. 73.

Здобувачу належить розробка класифікації типових представників поковок з тонкими і високими ребрами, тонкими полотнами великої площі.

9. Маковецький А.В. Моделирование процессов объемной штамповки с применением пластичных материалов / А.В. Маковецький // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2009: тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. 26-28 жовтня 2009 р. – Харків, 2009. – С. 12.

10. Маковецький А.В. Выбор геометрических параметров конструкции штамповой оснастки для горячей объемной штамповки / А.В. Маковецький // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. 21-22 квітня 2010 р. – Харків, 2010. – С. 49.

11. Маковецький А.В. Особенности горячего деформирования титановых сплавов / А.В. Маковецький // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2010: тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. 26-28 жовтня 2010 р. – Харків, 2010. – С. 37.

12. Маковецький А.В. Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки и верификация полученных результатов / А.В. Маковецький // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. 20-21 квітня 2011 р. – Харків, 2011. – С. 45.

13. Маковецький А.В. Горячая объемная штамповка поковок из авиационных сплавов в условиях изотермического деформирования / А.В. Маковецький // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2011: тези доп. всеукр. наук.-техн. конф. 22-24 листопада 2011 р. – Харків, 2011. – С. 23.

14. Маковецький А.В. Основные факторы, влияющие на контактное трение и его описание при численном моделировании процессов горячей объемной штамповки / А.В. Маковецький // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. 18-19 квітня 2012 р. – Харків, 2012. – С. 70.

АНОТАЦІЇ

Маковецький А.В. Удосконалення процесів гарячого об'ємного штампування деталей авіаційних конструкцій із важкодеформівних сплавів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Харків, 2012.

Дисертація присвячена удосконалюванню ресурсозберігаючих технологічних процесів об'ємного штампування деталей авіаційних конструкцій складної форми з тонкими та високими ребрами, тонкими полотнами великої площі із важкодеформівних сплавів та відповідного штампового оснащення.

Містить результати теоретичних та експериментальних досліджень. Дослідження базуються на комплексі теоретичних методів дослідження, в основі яких лежали методи теорії пластичності, комп'ютерних технологій та методи математичної статистики, і експериментальних методів, що представляють собою фізичне моделювання досліджуваних процесів в лабораторних умовах.

Удосконалено технологічні процеси штампування деталей з ребрами на базі запропонованого оригінального способу штампування.

Отримала подальший розвиток математична модель процесу штампування на базі варіаційного методу Треффця. Розвинена модель дозволяє визначати енергосилові параметри процесу штампування поковок з ребрами на заключній стадії процесу.

Описано результати експериментального моделювання процесу штампування поковок П-подібної форми з використанням моделі із пластичного матеріалу, проведеного з метою виявлення механізму формозміни матеріалу та дослідження впливу конструктивних характеристик штампового оснащення на процес формозміни заготовки.

Розроблено кінцево-елементні моделі процесу штампування поковок з ребрами та проведено чисельне моделювання процесу. Виконане моделювання на підставі розроблених моделей дозволило дослідити можливості розроблених схем штампування та науково обґрунтовано виявити діапазон допустимих значень технологічних параметрів вдосконалених процесів та вихідних даних для проектування штампового оснащення.

На основі обробки статистичних даних про вартість виготовлення штампового оснащення розроблена математична модель для оціночного визначення трудомісткості виготовлення штампового оснащення, що дозволяє скоротити час на проведення технологічної підготовки виробництва.

Ключові слова: об'ємне штампування, методи дослідження, технологічне оснащення, важкодеформівні сплави, рівчак штампу.

Маковецкий А.В. Совершенствование процессов горячей объемной штамповки деталей авиационных конструкций из труднодеформируемых сплавов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Харьков, 2012.

Диссертация посвящена совершенствованию ресурсосберегающих технологических процессов объемной штамповки деталей авиационных конструкций сложной формы с тонкими и высокими ребрами, тонкими полотнами большой площади из труднодеформируемых сплавов и соответствующей технологической оснастки.

Содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований. Исследования базируются на комплексе теоретических методов исследования, в основе которых лежали методы теории пластичности, компьютерных технологий и методы математической статистики, и экспериментальных методов, представляющих собой физическое моделирование исследуемых процессов в лабораторных условиях.

В диссертации получены следующие научные и практические результаты.

Определена номенклатура и проведена классификация деталей сложной формы с тонкими и высокими ребрами, тонкими полотнами большой площади из труднодеформируемых сплавов. При этом в условиях современного производства летательных аппаратов широко применяется горячая объемная штамповка как метод изготовления

ответственных деталей сложной формы. Установлено, что по сумме технологических и эксплуатационных свойств для изготовления деталей с оребрением наибольшее распространение в авиационных конструкциях получили высокопрочные титановые и алюминиевые сплавы.

Разработана новая конструкция штамповой оснастки (в частности имеющая дополнительные, направляющие элементы формы) и оригинальный способ объемной штамповки поковок с одно- и двусторонним оребрением из труднодеформируемых сплавов.

На базе предложенного способа штамповки усовершенствованы технологические процессы штамповки деталей сложной формы с тонкими и высокими ребрами, тонкими полотнами большой площади из труднодеформируемых сплавов.

Получила дальнейшее развитие математическая модель процесса объемной штамповки на базе вариационного метода Треффца, позволяющая определять энерго-силовые параметры процесса штамповки поковок с оребрением на заключительной стадии штамповки.

В результате экспериментального моделирования процесса штамповки поковок П-образной формы с использованием модели из пластичного материала изучен механизм формоизменения материала, исследовано влияние конструктивных характеристик штамповой оснастки на процесс формообразования заготовки. Полученные результаты проведенного экспериментального моделирования позволили установить благоприятный характер распределения волокон в теле поковки.

Разработаны математические компьютерные модели процесса объемной штамповки поковок с оребрением, позволяющие исследовать процесс формообразования заготовки, определять энерго-силовые параметры процесса штамповки и устанавливать влияние на них конструктивных характеристик штамповой оснастки, и, таким образом, проектировать технологические процессы штамповки и штамповую оснастку без проведения дорогостоящих пробных экспериментов.

Проведена верификация разработанных моделей. Установлено, что разработанные модели описывают НДС деформируемой заготовки с точностью 20...25%. Проведение исследований на основании синтезированных моделей позволило изучить возможности разработанных схем штамповки и научно обоснованно выявить диапазон допустимых значений технологических параметров усовершенствованных процессов и исходных данных для проектирования штамповой оснастки.

Установлена важность точности расположения заготовки в штампе, существенным образом влияющей на качество готовой продукции. Получены практические рекомендации по расположению заготовки в штампе – допустимое смещение заготовки по плоскости установки до $\delta/a = \pm 0,012$.

На основе обработки статистических данных о стоимости изготовления штамповой оснастки разработана математическая модель для оценочного определения трудоемкости изготовления штамповой оснастки, позволяющая сократить время на проведение технологической подготовки производства.

Разработаны технологические рекомендации по расчету конструкции штамповой оснастки и выбору технологических параметров процесса штамповки, обеспечивающие повышение эффективности и снижение трудоемкости при совершенствовании существующих и проектировании новых технологических процессов штамповки поковок с одно- и двусторонним оребрением.

Ключевые слова: объемная штамповка, методы исследований, технологическая оснастка, труднодеформируемые сплавы, ручей штампа.

Makovetskiy A.V. Improvement of hot forging parts of aircraft structures made of hard alloys. – With manuscript rights.

Ph.D. Thesis in the field of technical sciences for specialization 05.03.05 – the processes and machines of plastic working. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” of Ministry Education and Science Youth and Sports of Ukraine, Kharkov, 2012.

Ph.D. Thesis is devoted to the improvement of resource-saving processes of forging parts of aircraft structures with complex shape with thin and high ribs, thin blades of large area of hard alloys and appropriate tooling.

Ph.D. Thesis contains the results of numerical and experimental studies. Investigations are based on a set of theoretical methods, which were based on methods of theory of plasticity, computer technology and statistical methods and experimental techniques, which are the physical simulation of processes studied under laboratory conditions.

Improved processes of parts forging with ribs on the basis of the proposed method of forging.

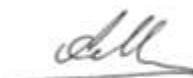
A mathematical model of forging was further developed on the basis of a variational Trefftz method. The developed model allows to determine the energy-power parameters of the process of forging billets with the edges in the final stages of the process.

The Ph.D. Thesis includes the results of experimental simulation of forging II-shaped form billets with the use of plastic material model, conducted to study the mechanism of deformation of the material and study the influence of structural characteristics of the tooling on the process of forming billets.

Finite-element models of forging parts with ribs were developed and a numerical simulations of the process were carried out. Simulations based on developed models allowed to explore the possibilities of designed forging schemes and scientifically identify the range of valid values of technological parameters improved processes and input data for the design of tooling.

On the basis of statistical data on the cost of production tooling a mathematical model was developed to determine the estimated labor intensiveness of tooling manufacturing, allowing to reduce the time available for preproduction engineering.

Key words: hot forging, research methods, tooling, hard-alloys, die cavity.



Маковецький Андрій Володимирович

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГАРЯЧОГО ОБ'ЄМНОГО
ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ
ВАЖКОДЕФОРМІВНИХ СПЛАВІВ

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск:
к.т.н., доцент Левченко В.М.

Підп. до друку 14.12.2012 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Друк – різнографічний. Ум. друк. арк. 0,9. Гарнітура Таймс.
Наклад 100 прим. Замовлення № 085091

Надруковано у СПД ФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.
61024, м. Харків, вул. Фрунзе, 16
