

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

машинобудівний інститут, машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, факультету)
Кафедра обробки металів тиском
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

маїстер

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка технології виробництва
середньогабаритних деталей методами
горячого штампування в об'ємі

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи МЗ-ПР

Спеціальності 131 Трехмагма механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) Обладнання
та технології механічного оброблення
конструктивні машинобудівні

Теремтієва В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Аудина В.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Обробки металів тиском
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 131 Тримагма механіка
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Оптимізація та технології' пластич-
ного формування конструктивних машинобудівних
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АМТІ

В.В. Широкобоков
 « 16 » з грудня 20 19 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Терентієва Вероніка Олександрівна
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка технології виробництва
середньонадметальної деталі методом гарячого
штампування в об'єкті
 керівник проекту (роботи) Гудима В.І. к.т.н, проф.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 14 » 11 20 19 року № 399

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 16.12.19

3. Вихідні дані до проекту (роботи) типова технологія виготовлен-
ня дисків турбін газотурбінних двигнів в умовах
АТ «Мотор СІГ», звіт з майстерського штампування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Конструктивне штампування
2. Розробка дослідного технологічного процесу
3. Розрахунок раціонального варіанту виготовлення
дисків турбін із СК-151-А (2Н63ВКМБ 100А)
4. Оцінка ризику на безпеку у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

презентація 20 слайдів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Бель А.М., ст. викл. каф. ДМТ	<i>А. М. Бель</i>	<i>А. М. Бель</i>
2	Бель А.М., ст. викл. каф. ДМТ	<i>А. М. Бель</i>	<i>А. М. Бель</i>
3	Бель А.М., ст. викл. каф. ДМТ	<i>А. М. Бель</i>	<i>А. М. Бель</i>
4	Кешієров О.В., доц.	<i>О. В. Кешієров</i>	<i>О. В. Кешієров</i>
	Норієвова Катерина А.В., доц. каф. ДМТ	<i>К. А. Норієвова</i>	<i>К. А. Норієвова</i>

7. Дата видачі завдання « 09 » жовтня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Технічне і технічне італокування.	16.10.19	век.
2.	Робота дослідного технічного процесу.	31.10.19	век.
3.	Робота над раціональним варіантом велосипедного диску турбіни із ЕК-151-1А (ХН63ВЖМБ ЖТБ-1А)	25.11.19	век.
4.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	11.12.19	век.

Студент(ка)

А. М. Бель
(підпис)

В. О. Терекетієва
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

А. М. Бель
(підпис)

В. І. Аудина
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ.: 93 с., рис. 31, табл.7 , джерела 33.

Об'єкт дослідження. Диск турбіни газотурбінного двигуна

Актуальність теми. Вивчення можливості виготовлення дисків турбіни авіаційних двигунів для вертольотів та літаків із сплаву ЄК-151-ІД (ХН63ВФМБЮТ-ІД) який має недостатню пластичність в нагрітому стані, а також вивчення можливості виготовлення деталей на існуючому обладнанні у зв'язку з відсутністю на АТ "Мотор Січ" необхідного пресу.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є визначення можливості виготовлення дисків турбіни із сплаву ЄК-151-ІД в умовах АТ "Мотор Січ"

Для досягнення поставленої мети необхідно сформулювати і вирішити такі завдання

- провести огляд літератури щодо способів виготовлення деталей на особливо відповідальні вироби.
- проаналізувати і вибрати найбільш прийнятний варіант виготовлення деталі
- підготувати і провести теоретичний розрахунок виготовлення деталі в програмі QForm VX
- проаналізувати отримані дані, надати рекомендації до розробки технологічного процесу.

ГАРЯЧЕ ШТАМПУВАННЯ, ДЕФОРМАЦІЯ, ПРЕС, ВАЖКО ДЕФОРМОВАНІ СПЛАВИ, ІЗОТЕРМІЧНЕ ШТАМПУВАННЯ, ОБОЛОНКА, ТЕМПЕРАТУРА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПОКОВКА, НАГРІВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ, ЗУСИЛЛЯ ДЕФОРМАЦІЇ

РЕФЕРАТ

ПЗ.: 93 с., рис. 31 табл. 7 , источников 33.

Объект исследования. Диск турбины газотурбинного двигателя.

Актуальность темы. Изучение возможности изготовления дисков турбины авиационных двигателей для вертолетов и самолетов из сплава ЕК-151-ИД (ХН63ВФМБЮТ-ИД), который имеет недостаточную пластичность в нагретом состоянии, а также изучение возможности изготовления деталей на существующем оборудовании в связи с отсутствием на АО "Мотор Сич" необходимого пресса.

Цель и задачи исследований. Целью работы является определение возможности изготовления дисков турбины из сплава ЕК-151-ИД в условиях АО "Мотор Сич"

Для достижения поставленной цели необходимо сформировать и решить следующие задачи

- провести обзор литературы по способам изготовления деталей на особо ответственных изделий.
- проанализировать и выбрать наиболее приемлемый вариант изготовления детали
- подготовить и провести теоретический расчет изготовления детали в программе QForm VХ
- проанализировать полученные данные, предоставить рекомендации к разработке технологического процесса.

ГОРЯЧАЯ ШТАМПОВКА, ДЕФОРМАЦИЯ, ПРЕСС, ТРУДНОДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ, ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ ШТАМПОВКА, ОБОЛОЧКА, ТЕМПЕРАТУРА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ПОКОВКА, НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, УСИЛИЯ ДЕФОРМАЦИИ

ABSTRACT

E.N.: 93 p., fig. 31, tabl. 7, sourc. 33.

Object of research. The turbine disk of gas-turbine engine.

Actuality of theme. Study of the possibility of manufacturing turbine disks for aircraft engines for helicopters and planes alloys made of EK 151-ID alloy (HN63VFMBUT-ID) which has insufficient plasticity in the heated state, as well as exploring the possibility of manufacturing parts on existing equipment due to the absence of Motor Sich JSC the necessary press.

The purpose and objectives of research. The purpose of this work is to determine the possibility of manufacturing turbine disks from the EK-151-ID alloy in the conditions of Motor Sich JSC.

To achieve this goal it is necessary to formulate and solve such problems

- conduct literature review on methods of manufacturing parts for particularly responsible articles.

- analyze and choose the most appropriate option for manufacturing parts

- prepare and perform a theoretical calculation of the workpiece manufacturing in QForm VX

- analyze the data obtained, provide recommendations for the development of the technological process.

**HOT STAMPING, DEFORMATION, PRESS, DEFORMABLE ALLOYS,
ISOTHERMAL STAMPING, SHELL, TEMPERATURE, TECHNOLOGICAL
PROCESS, FORGING, HEATING APPLIANCES, DEFENSE FORCES**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГТД – газотурбінний двигун;

ППС – паро-повітряна суміш;

НП – надпластичність;

НПД – надпластична деформація;

УДЗ – ультра дрібнозернистий;

КВМ – коефіцієнт використання металу;

КГШП – кривошипний гарячештампвальний прес;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ВР – вибухові речовини;

МПЧ – маса падаючих частин;

ЧПУ – числове програмне управління;

ОМТ – обробка металів тиском;

ОП – охорона праці;

ПК – персональний комп'ютер;

ЗМІСТ

1	Ізотермічне штампування.....	12
1.1	Галузь застосування.....	12
1.2	Переваги ізотермічного штампування.....	13
1.3	Недоліки ізотермічного штампування.....	15
1.4	Основні завдання для досягнення ефекту над пластичності при штампуванні.....	16
1.5	Приклад ізотермічного штампування.....	18
1.6	Штампування на термопружному пресі.....	22
1.7	Особливості оснащення для ізотермічного штампування.....	23
1.8	Вибір обладнання для ізотермічного штампування.....	25
1.9	Розробка технологічного процесу.....	27
1.10	Деформація металу під дією сил інерції.....	29
1.11	Пластичність і опір пластичній деформації при високошвидкісному деформуванні.....	37
	Висновки.....	46
2	Розробка дослідного технологічного процесу.....	47
2.1	Аналіз можливості отримання поковок із важкодеформованих сплавів... ..	47
2.2	Послідовність операцій виготовлення деталі зі сплаву ЄК151-ІД.....	48
	Висновки.....	55
3.	Розрахунок раціонального варіанту виготовлення диску турбіни із ЄК-151-ІД (ХН63ВФМБЮТ-ІД).....	56
3.1	Особливості розрахунку в QForm VX.....	56
3.2	Підготовка геометрії та запуск розрахунку розробленої технології.....	59
3.3	Моделювання процесу деформації в програмі QForm VX.....	61
	Висновки.....	73
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	74
4.1	Аналіз потенційних небезпек.....	74
4.2	Заходи з забезпечення безпеки.....	75

4.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	79
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	83
4.5 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	85
Висновки	89
Перелік використаних джерел	90

ВСТУП

Газотурбінний двигун (ГТД) - це повітряний двигун, в якому повітря стискається нагнітачем перед спалюванням в ньому палива, а нагнітач приводиться в дію газовою турбіною, що використовує енергію нагрітих таким чином газів. Тобто стиснене повітря з компресора надходить в камеру згорання, куди подається паливо, яке, згораючи, утворює газоподібні продукти з більшою енергією. Потім в газовій турбіні частина енергії продуктів згорання перетворюється в обертання турбіни, яка витрачається на стиснення повітря в компресорі. Інша частина енергії може передаватися на привод агрегату або використовуватися для створення реактивної тяги. Ця частина роботи двигуна вважається корисною. Газотурбінні двигуни мають велику питому потужність до 6 кВт / кг.

В якості палива використовується різноманітне пальне. Наприклад: бензин, гас, дизельне паливо, мазут, природний газ, суднове паливо, водяний газ, спирт і подрібнене вугілля.

Одну з найпростіших конструкцій газотурбінного двигуна (рис. 1), для уявлення його роботи, можна уявити як вал, на якому знаходиться два диска з лопатками, перший диск - компресора, другий - турбіни, в проміжку між ними встановлена камера згорання.

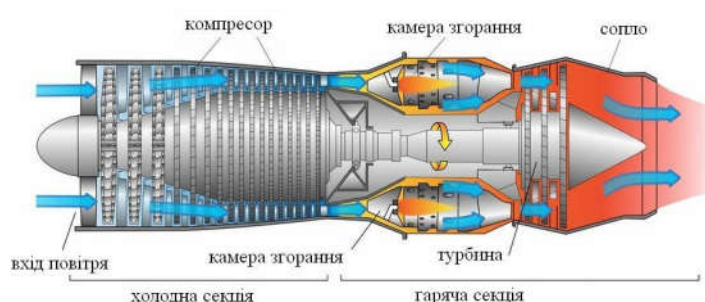


Рисунок 1 - Схема турбореактивного двигуна

Принцип роботи газотурбінного двигуна:

- всмоктування і стиснення повітря в осьовому компресорі;
- подача стисненого повітря в камеру згоряння;
- змішування стисненого повітря з паливом для утворення паливо-повітряної суміші (ППС);
- згоряння ППС;
- розширення газів через їхнє нагрівання при згорянні ППС, що формує вектор тиску газу, спрямований в бік найменшого опору (в напрямку лопаток турбіни),
 - передача енергії (тиску) газу лопатками турбіни на диск або вал, в якому ці лопатки закріплені;
 - привід в обертання диска турбіни і внаслідок цього, передача крутного моменту по валу з диска турбіни на диск компресора.

Збільшення кількості палива, що подається (додавання «газу») викликає генерування більшої кількості газів високого тиску, що, в свою чергу, призводить до збільшення числа обертів турбіни і дисків компресора і, внаслідок цього, збільшення кількості повітря, що нагнітається і його тиску. Це дозволяє подати в камеру згоряння і спалити більше палива. Кількість паливо-повітряної суміші залежить безпосередньо від кількості повітря, поданого в камеру згоряння. Збільшення кількості ППС призведе до збільшення тиску в камері згоряння і температури газів на виході з камери згоряння і, внаслідок цього, дозволяє створити велику енергію викидання газів, спрямовану на обертання турбіни і підвищення реактивної сили.

Як і у всіх циклічних теплових двигунах, чим вища температура згоряння, тим вищий паливний коефіцієнт корисної дії (якщо точніше, чим вища різниця між «нагрівачем» і «охолоджувачем»). Стримує фактором є здатність сталі, нікелю, кераміки або інших матеріалів, з яких складається двигун, витримувати температуру і тиск. Значна частина інженерних розробок спрямована на те, щоб відводити тепло від частин турбіни.

Чим менший двигун, тим вищий повинна бути частота обертання валу, необхідна для підтримки максимальної лінійної швидкості лопаток, так як довжина кола (шлях, пройдений лопатками за один оберт), прямо залежить від радіуса ротора. Максимальна швидкість турбінних лопаток визначає максимальний тиск, який може бути досягнуто, що призводить до отримання максимальної потужності, незалежно від розміру двигуна. Вал реактивного двигуна обертається з частотою близько 10000 об/хв і мікротурбіни - з частотою близько 100000 об/хв.

Для подальшого розвитку авіаційних і газотурбінних двигунів раціонально застосовувати нові розробки в галузі високоміцних і жароміцних матеріалів для можливості підвищення температури і тиску. Застосування нових типів камер згоряння, систем охолодження, зменшення числа і маси деталей і двигуна в цілому можливо в прогресі застосування альтернативних видів палива, зміна самого уявлення конструкції двигуна.

1 ІЗОТЕРМІЧНЕ ШТАМПУВАННЯ

1.1 Галузь застосування

Процеси ізотермічного деформування відрізняються від звичайних, традиційних способів горячого штампування тим, що формування нагрітої заготовки здійснюють в інструменті, нагрітому до температури деформації заготовки. Термін «ізотермічне штампування» характеризує суть процесу, а не температуру штампування металу, яка в процесі деформування буде підвищуватися внаслідок теплового ефекту деформації. [1]

Високотемпературним ізотермічним деформуванням з легованих сталей, титанових і жароміцних сплавів можна отримувати заготовки різноманітних конфігурацій. Особливості ізотермічного деформування зумовлюють галузь його застосування:

- для малопластичних металів, що не піддаються обробці тиском в звичайних умовах штампування заготовок;
- для деталей з елементами невеликої товщини (високі і вузькі ребра, тонкі полотна), які в звичайних умовах можна отримати тільки з великими напусками;
- при вимогах підвищеної точності, особливо для деталей з дорогих матеріалів;
- для великогабаритних деталей, що вимагають в звичайних умовах устаткування підвищеної потужності;
- для виробів, до якості і надійності яких пред'являються підвищені вимоги.

Для ізотермічного деформування застосовують гідравлічні преси. При цьому швидкість деформації може бути як завгодно низькою, нижня межа її обмежена тільки продуктивністю процесу [2]. Зменшення швидкості деформації призводить до зниження опору металу деформації в порівнянні з умовами горячого штампування, що дозволяє використовувати для

ізотермічного штампування менш потужне обладнання і заощадити виробничі площі та енергію. Це особливо важливо при отриманні великогабаритних і складних поковок типу балок, дисків, кронштейнів і т. д.

При ізотермічному штампуванні в окремих випадках можна спростити конструкцію і вузли машини заміненням збірних деталей на монолітні. Умови ізотермічного штампування розширюють можливості багатощтучного штампування, особливо заготовок нескладної форми, для яких трудомісткість виготовлення інструменту невелика. [3]

1.2 Переваги ізотермічного штампування

Великою перевагою ізотермічного деформування є підвищення пластичності оброблюваного матеріалу, що пов'язано з більш повним протіканням знеміцнюючих процесів, а також із «заліковуванням» мікротріщин при знижених швидкостях деформації. Це створює умови для деформування малопластичних матеріалів (наприклад, чавуну).

Так, на рис. 1.1 представлена залежність граничної деформації сірого чавуну при осаджуванні від швидкості деформування при температурі випробування 900°C. З рисунка видно, що при малих швидкостях деформування, області ізотермічного деформування, пластичність сірого чавуну значно зростає, що дозволяє здійснити формозміну шляхом деформування [4].



Рисунок 1.1 - Залежність граничної деформації сірого чавуну при осаджуванні від швидкості деформування

Точність заготовок, отриманих в ізотермічних умовах, значно підвищується в результаті зменшення:

- пружних деформацій системи прес-штамп через зниження опору деформації металу і зусилля штампування;
- коливань температури деформації (отже, більшої стабільності геометричних розмірів штампованих заготовок);
- товщини дефектного шару і поліпшення якості поверхні заготовки в результаті меншої взаємодії металу з навколишнім середовищем при зниженні температури деформації і використанні ефективних захисно-мастильних скляних покриттів;
- залишкових напружень штампованої заготовки, що зменшує її викривлення при охолодженні і термообробці і покращує якість [5].

В ізотермічних умовах штампують заготовки з невеликими штампувальними нахилами або без них, з різкими перепадами перетинів, малими радіусами переходів і припусками на механічну обробку.

Основні переваги процесу:

- підвищення пластичності металу, можливість деформування малопластичних матеріалів або отримання великих деформацій для звичайних матеріалів;

- можливість отримання високого параметра шорсткості поверхні заготовок, точності до 11-го, 12-го квалітетів
- поліпшення структури, підвищення механічних властивостей і якості металу;
- зменшення або повне усунення припусків, зниження трудомісткості механічної обробки на 25...60%;
- підвищення КВМ до 0,3...0,6;
- зменшення зусилля деформування в 5...10 разів.

1.3 Недоліки ізотермічного штампування

До недоліків ізотермічного штампування відносяться:

- великі трудомісткість виготовлення і вартість штампового оснащення;
- низька продуктивність процесу;
- ускладнення технологічного процесу за рахунок застосування скляних мастильних матеріалів, необхідність додаткового обладнання для їхнього нанесення і видалення.

Характеристики металу в стані надпластичності - надзвичайно велика деформаційна здатність, мале напруження плину, малий вплив НПД на мікроструктуру, висока відпускаюча здатність забезпечують можливість значного підвищення ефективності процесів ОМТ і якості готових виробів. З іншого боку, малі швидкості деформації, що відповідають стану і регламентованому температурному режиму деформації, істотно ускладнюють і здорожчують підготовку виробництва, знижують продуктивність технологічних процесів і в результаті обмежують використання надпластичності в ОМТ [6]. З урахуванням неможливості сформувати УДЗ структуру у великогабаритних металевих напівфабрикатах в разі об'ємного штампування слід говорити не про стан НП, а про режими НПД, які

передбачають деформування заготовок зі звичайною структурою при високій постійній температурі і відносно низьких швидкостях деформації.

1.4 Основні завдання для досягнення ефекту над пластичності при штампуванні

Співставлення зазначених переваг і обмежень, а також узагальнення наявного досвіду використання надпластичності в процесах штампування дозволяє виділити наступні технологічні завдання, при вирішенні яких можна досягти найбільшого ефекту при об'ємному деформуванні металу в режимі над пластичності [7-8]:

1. Штампування малопластичних і важкодеформованих металів і сплавів на основі Ni, Ti Mg, тугоплавких металів. Ці матеріали відрізняються високою вартістю, а їхня обробка - значною трудомісткістю і вимагає великої кількості операцій. Тому збільшення деформаційної здатності матеріалу при використанні режиму надпластичності дозволяє істотно збільшити деформацію за один технологічний перехід і перейти до малоопераційних технологій, що істотно компенсує зменшення продуктивності процесу через низькі швидкості деформації.

2. Штампування виробів складної форми, отримання яких зазвичай недоступно традиційними методами ОМТ. Це дає можливість максимально наближати форму і розміри поковки до форми і розмірів готової деталі, знижувати до мінімуму або повністю виключати припуски на обробку різанням, досягаючи значної економії дорогих металів і сплавів і зниження трудомісткості обробки різанням. У низці випадків можливість отримання складної форми дозволяє відмовитися від застосування зварювання або механічних способів з'єднання деталей у вузол і замінити їх монолітною деталлю, що сприяє суттєвому збільшенню витривалості і довговічності.

3. Зниження потужності застосовуваного обладнання за рахунок зменшення необхідних зусиль штампування. Наслідком цього є збільшення фондівіддачі деформуючого обладнання та зменшення енерговитрат на процеси штампування: з'являється можливість переведення виробництва великогабаритних штапованих поковок з потужних унікальних пресів на серійні преси середньої потужності і збільшення максимально допустимих габаритів поковок, що штаповуються на потужних пресах.

4. Малі зусилля при деформації в режимі надпластичності сприяють суттєвому підвищенню стійкості штапового інструменту і дозволяють помітно знизити його вартість.

5. Підвищена пластичність і малі зусилля при штампуванні в режимі надпластичності сприяють кращому відновленню форми рівчака штапа, підвищенню точності розмірів і зниження шорсткості поверхні поковок, зменшення різниці розмірів в межах партії поковок. Висока здатність до відпускання напружень матеріалів при деформації в режимі надпластичності практично усуває внутрішні напруження в готових поковках, що забезпечує стабільність розмірів і форми готових деталей, відсутність викривлення в процесі термічної обробки і після неї, підвищену стійкість матеріалу деталі проти корозії в хімічно активних середовищах і т.д. Відсутність істотних змін структури матеріалу заготовки в процесі такої деформації забезпечує отримання високоякісних штапованих заготовок, ізотропних щодо структури та механічних властивостей.

6. На відміну від кованих поковок, а також штапованих поковок звичайної точності, що вимагають, як правило, значної обробки різанням по всій поверхні, точні штаповані поковки не треба обробляти, за винятком місць переходів і ділянок, в яких передбачено свердління або вирубка отворів. При штампуванні точних поковок забезпечуються жорсткі допуски, мінімальні значення радіусів заокруглень і штаповальних нахилів. В результаті штампування точних поковок відрізняється найвищим коефіцієнтом використання металу (КВМ), що становить 0,8 і більше (у поковок звичайної

точності КВМ в середньому дорівнює 0,2...0,5%), що дуже важливо при виготовленні деталей з дорогих і дефіцитних металів і сплавів.

З літературних джерел відомо про використання у вітчизняній і зарубіжній металообробці для об'ємного ізотермічного штампування магнієвих сплавів (МА8, МА15, МА21 і ін.), алюмінієвих сплавів (АК6, АК4-1, АМгб, В95, 7075, 7475 і ін.), титанових сплавів (ВТ6, ВТ3-1, ВТ9, ВТ 14, 1М1-317, 1М1-318 і ін.), нікелевих сплавів (ЖС6У, ЖС6КП, ХН62МВКЮ, ЛейтМоу, ІМ 100, Vaspaloy і ін), сталей (Р18 , Р6М5, 45, 1Х12Н2ВМФ, А181-4340 і ін), а також інших металевих матеріалів.

1.5 Приклад ізотермічного штампування

Ілюстрацією способу ізотермічного штампування деталей можуть послужити складні деталі із важко деформованими елементами [9]. На рис. 1.2 представлено великогабаритну панель з ребрами жорсткості, виконану із магнієвого сплаву МА2-1. Використання ізотермічних умов деформації дозволило перейти при штампуванні з потужних пресів зусиллям 300...750 МН на прес зусиллям 150 МН.

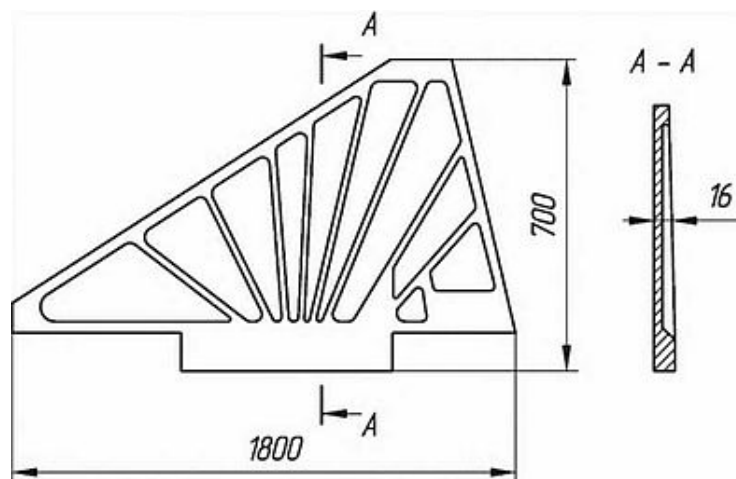


Рисунок 1.2 - Великогабаритна панель зі сплаву МА2-1

Для штампування панелі з алюмінієвого сплаву АМг6, зображеної на рис. 1.3, використовували закритий штамп сумісної дії, оснащений ізотермічним блоком, що дозволяє за один хід преса виконувати дві операції: спочатку вирубку заготовки зі стрічки товщиною 7 мм, а потім її об'ємне штампування.

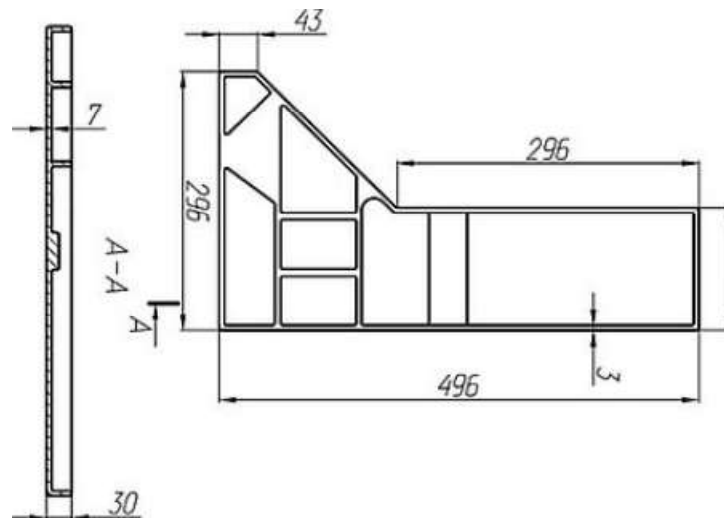
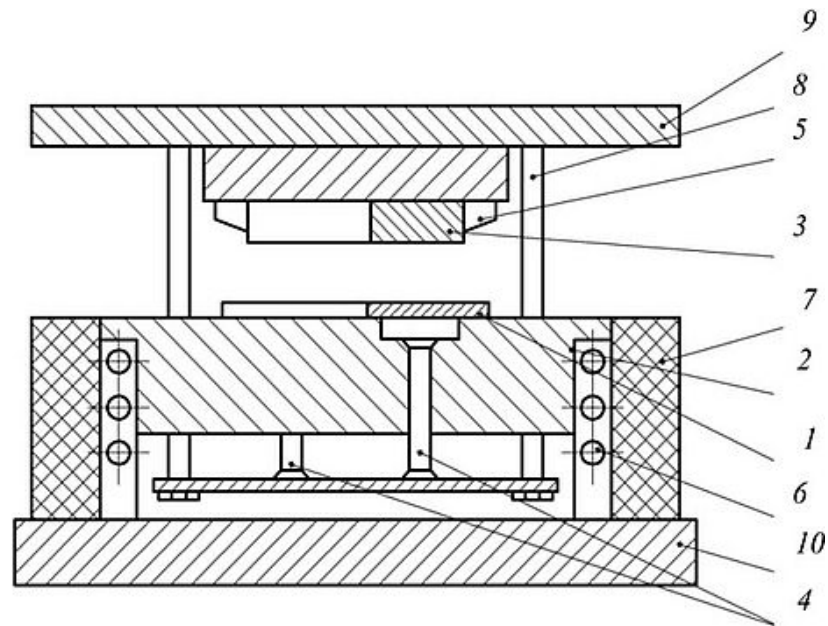


Рисунок 1.3 - Ескіз штампованої поковки типу «Панель» зі сплаву АМг6

Так як при закритому штампуванні першочергове значення має вирішення питання точності розподіл вихідного матеріалу на заготовки, то, з огляду на форму даних панелей, у яких одна сторона плоска, в якості заготовки був обраний гарячекатаний листовий напівфабрикат (можливе використання пресованої смуги) [10]..

Штамп працює наступним чином (рис. 1.4): заготовку 1 розташовують на матриці 2. При підйомі столу преса (використовувалась модель преса з рухомим нижнім столом) спочатку здійснюється вирубка заготовки пуансоном 3. Далі заготовка провалюється на дно матриці, і при подальшому русі столу вгору здійснюється штампування - метал заповнює гравюру матриці.



1 - заготовка; 2 - матриця; 3 - пуансон; 4 - виштовхувачі; 5 - ніж; 6 - нагрівачі; 7 - підкладка; 8 - напрямляюча колонка; 9 - верхня плита; 10 - нижня плита

Рисунок 1.4 - Штмп сумісної дії для ізотермічного штампування поковки «Панель»

Після штампування стіл рухається вниз, штмп розмикається, завдяки системі тяг спрацьовують виштовхувачі 4, які піднімають готову поковку над гравюрою штамп. Для полегшення видалення відходу після вирубки заготовки слугує ніж 5. Досягнення і підтримка заданої температури штампування здійснюється за рахунок карбідокремнієвих нагрівачів 6. З метою зменшення теплових втрат використовується підкладка 7. Таким чином, представлена конструкція ізотермічного блоку дозволяє поєднати операцію розкрою заготовки зі штампуванням і проводити їх за один хід преса. Матриця для цього штампa представлена на рис. 1.5.

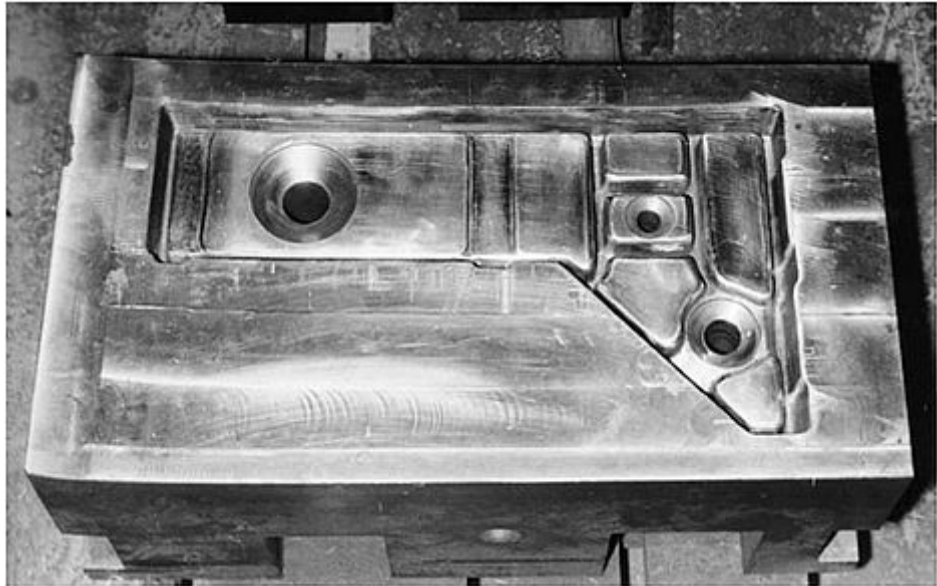


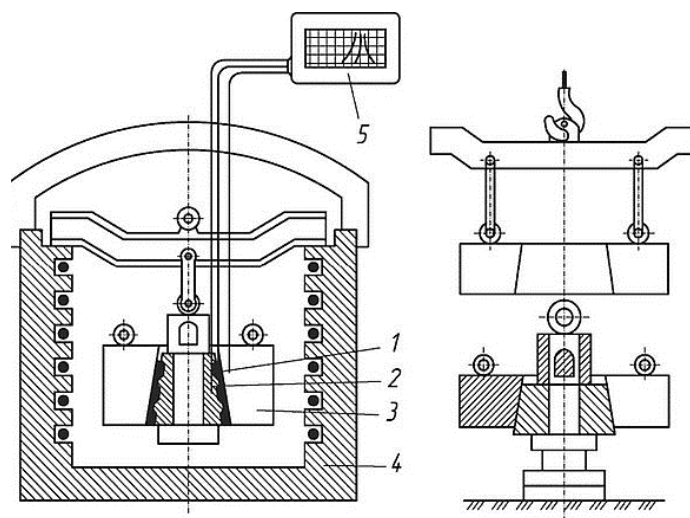
Рисунок 1.5 - Матриця штампа для штампування поковки «Панель»

Ці приклади дозволяють зробити висновок про те, що для досягнення істотного техніко-економічного ефекту, що включає зменшення металоємності і енергоємності технологічного процесу штампування, використання менш потужних і більш дешевих пресів, не завжди необхідно прагнути до досягнення оптимальних температурно-швидкісних умов надпластичності [11]. Так, штампування великогабаритних панелей з магнієвих сплавів в режимах, що відповідають мінімальному рівню ефекту надпластичності, доводить можливість здійснювати штампування при підвищених швидкостях, рівних номінальним швидкостям робочого ходу серійних гідравлічних пресів, а також в більш широкому температурному інтервалі. Це дозволяє істотно спростити конструкцію ізотермічних установок і знизити їхню вартість, а в низці випадків взагалі від них відмовитися і застосовувати попереднє нагрівання штампів і заготовок.

1.6 Штампування на термопружному пресі

Сутність процесу полягає в тому, що зусилля деформування створюється за рахунок термічного розширення інструменту.

Застосовується до кільцевих деталей, процес здійснюють у такий спосіб: в масивний контейнер 3, нагрітий до необхідної температури, вводять сердечник 2, на зовнішній поверхні якого є рельєф, відповідний формі деталі. Між контейнером і сердечником знаходиться заготовка 1. Сердечник разом із заготовкою нагрівається в печі 4, температура в якій регулюється потенціометром 5.



1 - заготовка; 2 - сердечник; 3 - контейнер; 4 - піч; 5 – потенціометр

Рисунок 1.6 - Схема штампування на термопружному пресі

При цьому термічне розширення сердечника викликає переміщення його зовнішньої поверхні на певну величину, необхідну для забезпечення заповнення рельєфу металом заготовки. На подібних термопружних пресах без використання звичайного пресового обладнання можна отримувати

великогабаритні вироби, при штампуванні яких традиційним способом було б потрібно більше зусиль [12].

Вироби, одержувані цим способом, відрізняються рівномірністю механічних властивостей по всьому об'єму поковки, відсутністю внутрішнього напруження внаслідок їхнього відпускання в процесі штампування, мінімальною різнотовщинністю і т.д. Регулюючи швидкість нагрівання оправки в широких межах, легко отримати оптимальні температурно-швидкісні умови НПД. При цьому можна виділити якісне заповнення ребер, в тому числі і в місцях перехресть ребер. Вважають, що цей процес найбільш ефективний для практичного використання стану надпластичності.

Найбільш важливими питаннями підготовки виробництва, що відображають специфіку технології обробки металів тиском, які використовують ефект надпластичності, є питання підготовки структури вихідної заготовки, конструювання інструменту і вибору обладнання [13].

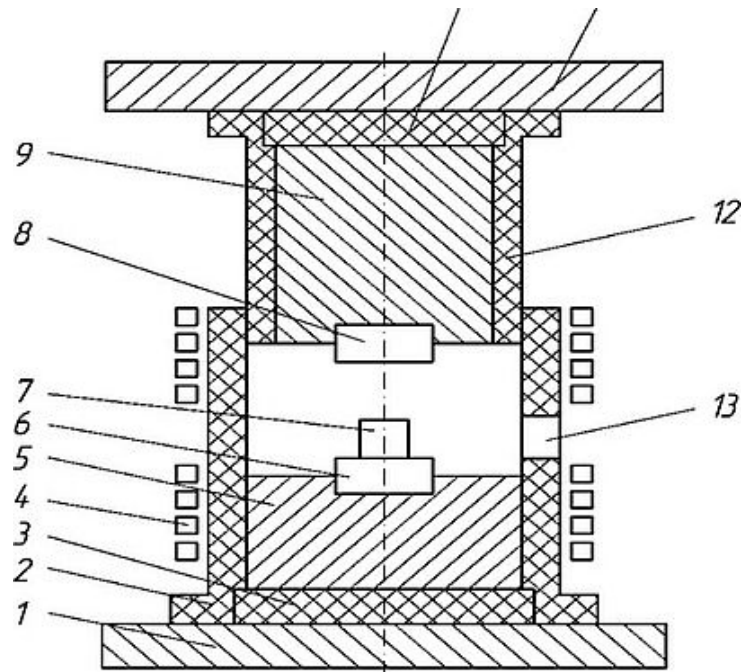
1.7 Особливості оснащення для ізотермічного штампування

Особливості гарячого деформування в ізотермічних умовах висувають певні вимоги до конструкції і матеріалів штампового оснащення і деформуючого обладнання. На практиці для здійснення ізотермічного штампування необхідно:

- нагрівати інструмент до високої температури (400...1100°C, в залежності від оброблюваного сплаву) і підтримувати її постійною впродовж процесу штампування;
- забезпечувати працездатність штампового оснащення в умовах тривалого перебування при температурі деформації;
- забезпечувати надійну теплоізоляцію робочих частин преса від нагрітого до високої температури інструменту.

Для гарячого ізотермічного штампування застосовують спеціальні установки, що поєднують системи нагрівання інструменту з пристроєм для теплоізоляції штампів і штампового простору, терморегулювання для стабілізації температури нагрітого інструменту і охолодження [14].. Основним елементом установки є штамповий блок з нагрівальним пристроєм, який монтується в робочому просторі преса. Інструмент нагрівають індукторами, елементами електроопору або газовими пальниками.

Схема одного з варіантів штампового блоку для ізотермічного штампування представлена на рис. 1.7.



1 - нижня опорна плита; 2 - нижній рухомий кожух; 3 - нижня прокладка; 4 - індуктор; 5 - нижній штампоутримувач; 6 - нижній штамп; 7 - заготовка; 8 - верхній штамп; 9 - верхній штампоутримувач; 10 - верхня прокладка; 11 - верхня опорная плита; 12 - кожух; 13 – вікно

Рисунок 1.7 - Принципова схема штампового блоку для ізотермічного штампування

Нижній 6 і верхній 8 штампи прикріплюють відповідно до штампоутримувача 5 і 9, пов'язаним через теплоізолюючі прокладки 3 і 10 з

опорними плитами 1 і 11. Теплоізоляція штампового блоку складається з прокладок 3 і 10, нижнього нерухомого 2 та верхнього рухомого 12 кожухів. При переміщенні повзуна преса вгору кожух 12 не виходить з кожуха 2, що запобігає порушенню теплоізоляції робочої зони. Штампи нагрівають індукторами 4. Заготовки 7 завантажують, а штамповані поковки видаляють через спеціальне вікно 13 в кожусі 2. Конструкція штампового блоку дозволяє нагрівати інструмент до температури деформації з мінімальними витратами енергії.

Принципи розрахунку і конструювання інструменту для ізотермічного деформування докладно описані в спеціальній літературі [15-16].

1.8 Вибір обладнання для ізотермічного штампування

Вибір обладнання визначається температурно-швидкісними умовами деформування заготовки в режимах надпластичності і відповідним цим умовам напруженням плинучості. В якості деформуючого обладнання для ізотермічного штампування використовують, як правило, гідравлічні преси. Габаритні розміри робочого простору преса повинні бути достатніми для розміщення в ньому штампового блоку установки, а відкрита висота повинна забезпечувати можливість зміни інструменту без демонтажу блоку з преса. Монтаж і демонтаж великих штампових блоків, а також зміна масивних штампів полегшуються, якщо в конструкції преса є висувний стіл. Бажано, щоб в пристрої преса передбачалася можливість регулювання швидкості робочого ходу повзуна в широких межах, а також витримка повзуна під тиском, що необхідно для встановлення оптимального режиму деформації. У більшості випадків штампування можна здійснювати на гідравлічних пресах з малою швидкістю робочого ходу повзуна, наприклад, на пресах, призначених для пресування пластмас [17].

Вибираючи швидкісний режим штампування, необхідно виходити з поставленого завдання (одержання виробу заданої форми, розмірів, точності, із заданим рівнем властивостей і заданою продуктивністю) і керуватися існуючими можливостями (номінальне зусилля преса, деформаційна здатність і опір деформації матеріалу заготовки, характеристика жароміцності матеріалу штампа і т.д.).

При цьому слід пам'ятати, що далеко не завжди необхідне деформування в оптимальних умовах над пластичності [18].

Якщо номінальна швидкість робочого ходу преса перевищує швидкісний інтервал надпластичності, то перевіряють, чи достатній ресурс пластичності матеріалу для досягнення необхідної деформації і чи вистачить для штампування зусилля даного преса. Зменшення ресурсу пластичності або збільшення необхідного зусилля преса можна компенсувати збільшенням температури деформування з урахуванням обмежень по жароміцності штампа і необхідного рівня властивостей виробу. Якщо не вдасться домогтися бажаного ефекту підвищенням температури деформування, то доводиться зменшувати швидкість деформації. Для цього можна використовувати штампування в кілька етапів і т.ін.

Крім того, досвід штампування, який використовує режими надпластичності, показав, що часто немає необхідності працювати з низькими швидкостями на всьому робочому ході. Такі швидкості доцільно використовувати тільки на заключних стадіях, наприклад, при оформленні найбільш складних елементів ривчака штампа, що вимагають максимального зусилля штампування. Тому можна застосовувати двухстадійне штампування: на першій стадії вести процес при звичайній швидкості робочого ходу, а на стадії доштамповування переходити на швидкість, відповідну оптимальній швидкості НПД.

На даний час рекомендують два підходи до вирішення завдання широкого впровадження у виробництво процесів об'ємного ізотермічного штампування:

- по-перше, модернізація існуючого пресового обладнання за рахунок оснащення його додатковими системами;
- по-друге, створення нового спеціалізованого обладнання.

Аналіз конструктивних особливостей і технологічних можливостей діючого устаткування показує, що при модернізації обладнання основну увагу потрібно приділити створенню надійних систем програмного регулювання швидкості, а також систем обігріву штампів з метою підтримки їхньої температури протягом усього циклу штампування на заданому рівні.

Спеціалізовані преси (другий підхід) для штампування в режимах НП повинні відрізнятися збільшеним за площею робочим простором (приблизно в 5...6 разів у порівнянні зі звичайним), що дозволить використовувати різні конструктивні рішення. Гідравлічний привід пресів повинен включати дві системи: швидкохідну, що має насосно-акумуляторну станцію, і низкошвидкісну з насосами регульованої продуктивності.

Для гнучкого керування процесом необхідно використовувати мікропроцесорну техніку, яка не тільки забезпечувала б заданий закон зміни швидкості, але і могла б самостійно оптимізувати швидкісний режим з урахуванням реальної конфігурації виробу і властивостей матеріалу.

1.9 Розробка технологічного процесу

Розробка технології починається з вибору об'єкта деформування (заготовки). Далі, спираючись на механіку суцільних середовищ і відповідну їй реологічну теорію надпластичні стану, експериментально визначають оптимальні температурний, швидкісний і силовий режими деформування, відповідні максимальному для даного матеріалу рівню прояву ефекту надпластичності. Якщо при цьому не вдається досягти необхідних показників надпластичності, то вирішується питання про можливі шляхи коригування

об'єкта деформування. Найбільш ефективним є отримання мінімального зерна в заготовці, однак, з огляду на те, що отримання УДЗ структури у великогабаритних заготовках поки технічно неможливо, можна обмежитися режимами над пластичності [19].

Наступний етап - створення дослідного варіанту процесу, в якому критеріями вибору схеми деформування і граничних умов на поверхні контакту заготовки і інструмента є формування оптимальної структури осередку деформації, що забезпечує необхідний характер плинності матеріалу і заданий рівень властивостей готового виробу при мінімальній витраті енергії на деформування.

Далі розробляється і реалізується дослідно-промислова технологія, за якою виготовляють дослідну партію виробів, які підлягають повному циклу випробувань. У разі невідповідності заданим геометричним параметрам коригуються схема деформування і граничні умови; якщо ж вироби не відповідають заданим властивостям, то корегують, наприклад, їхню термічну обробку.

Заключний етап - розробка технології процесу, уточнений розрахунок силового режиму деформування, конструювання промислового варіанту інструменту, остаточний розрахунок техніко-економічних показників нового процесу і впровадження його у виробництво.

У разі необхідності передбачають особливі умови штампування. Так, наприклад, описані способи здійснення ізотермічного штампування у вакуумі або нейтральному середовищі. Це дає можливість отримання поковок з чистою поверхнею високої якості, які не потребують подальшої обробки, застосування штампів, виготовлених із тугоплавких металів, наприклад зі сплавів на основі молібдену, використання яких в повітряній атмосфері ускладнюється через їхнє інтенсивне окислення.

1.10 Деформація металу під дією сил інерції

Дослідженнями сил інерції займалися наступні вчені: Р.І. Непершин, В.І. Даценко, І.Л. Перлин, А.Д. Томленов [20]. Інерційні сили не враховуються при аналізі процесів штампування на пресах і звичайних штампувальних молотах. Зміни швидкості переміщення частинок деформованого металу в часі на цих машинах незначні.

Вплив сил інерції маси оброблюваного матеріалу при осаджуванні і видавлюванні зі швидкостями деформування до 8 м/с дуже малий. Вони починають проявлятися при видавлюванні з коефіцієнтами витяжки більше 15...20 м/с, які дуже рідкісні в практиці ударного штампування. При переході до швидкостей деформування близько 20 м/с і більше інерція металу стає причиною виникнення додаткових напружень, величина яких може бути рівною з питомими зусиллями з боку інструменту. При цьому прискорення і уповільнення частинок, викликані зміною швидкості від нуля до максимуму і знову до нуля, стають дуже значними. Напруження від сил інерції можуть досягати 100 МН/м^2 , змінюючись за величиною і знаком в процесі деформування. Найбільш яскраво виражено дію сил інерції при високошвидкісному видавлюванні.

У деяких випадках це призводить до додаткових деформацій (або руйнувань) виробу, що експериментально спостерігалось при осаджуванні, розтягуванні і видавлюванні. Такий негативний прояв сил інерції неминучий при неправильному призначенні умов формозміни. Однак при оптимальних режимах деформації інерція оброблюваного матеріалу стає позитивним фактором підвищення здатності до формування. Орієнтовні розрахунки показують, що при оптимальних швидкостях закінчення на операції штампування, кожен елемент штампованого виробу несе запас кінетичної енергії, рівний роботі тертя на зовнішній його поверхні. В результаті процес заповнення гравюри штамп, і особливо порожнин, віддалених від основного

осередку деформації, частково здійснюється за рахунок запасів енергії кожного елемента. Таким чином, сили інерції є однією з причин, що сприяють підвищенню технологічних можливостей високошвидкісного штампування.

Поняття низьких і високих швидкостей видавлювання стосовно аналізу дії сил інерції відносні, так як при одних і тих же початкових швидкостях деформування сили інерції можуть вплинути, або не вплинути на процес деформування в залежності від характеру зміни швидкості в ході деформування і коефіцієнта витяжки.

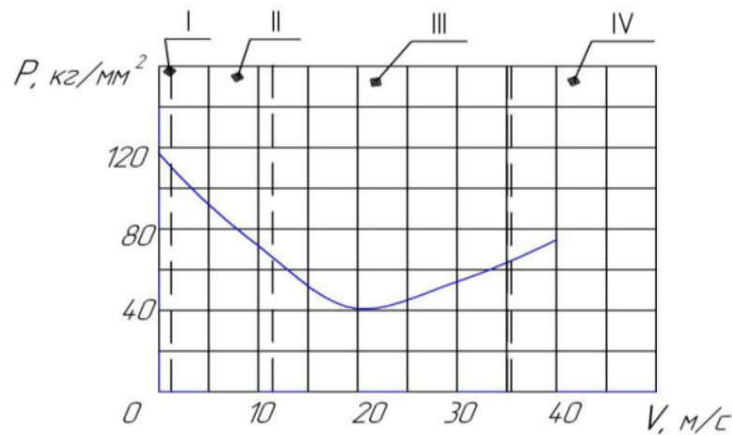
Характер зміни швидкості в ході деформування у більшості ковальських машин ударної дії зумовлюється опором деформації поковки. Вважається що в процесі деформування рухливі частини машини практично не отримують енергії ззовні.

Коефіцієнт витяжки при ударному видавлюванні робить вирішальний вплив на сили інерції [21].. При низькій початковій швидкості і великому коефіцієнті витяжки можуть виникнути набагато більші сили інерції, ніж при високій початковій швидкості і малому коефіцієнті витяжки. Тому початкова швидкість витікання металу з вічка матриці при аналізі дії сил інерції є більш показовою величиною, ніж початкова швидкість видавлювання.

Вплив сил інерції на процес високошвидкісного видавлювання заготовок проявляється:

- при перерозподілі зусиль в ході деформації в порівнянні зі статичним видавлюванням;
- у виникненні розтягуючих напружень в видавленому профілі, що призводить до руйнування поковки при дуже високих початкових швидкостях закінчення процесу;
- в поліпшенні заповнюваності порожнини штампа.

Графік залежності питомих зусиль високошвидкісного видавлювання від швидкості деформування наведено на рис. 1.8.



I - до 1 м / с; II - 1 ... 12 м / с; III - 12 ... 35 м / с; IV- понад 40 м / с.

Рисунок 1.8 - Графік залежності питомої зусилля високошвидкісного видавлювання від швидкості деформування

Аналізуючи розглянуті дані в сукупності, можна виділити чотири області швидкостей деформування:

- I - до 1 м/с;
- II - 1..12 м/с;
- III - 12...35 м/с;
- IV - понад 40 м/с.

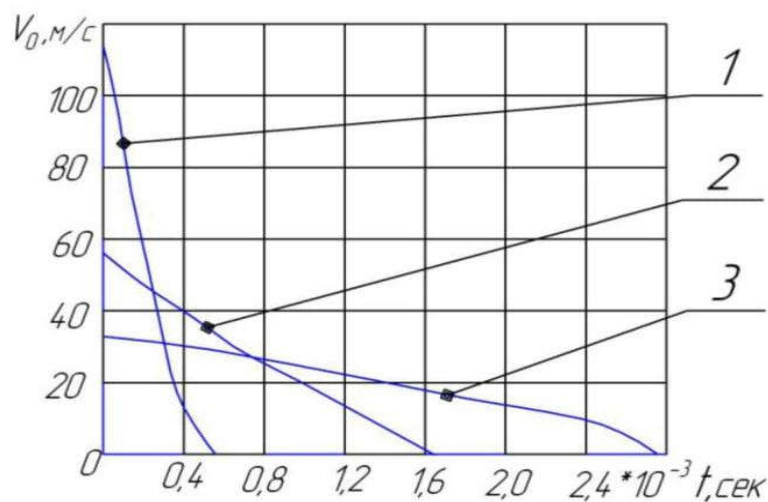
У I області спостерігається швидке зниження часу деформації і контактного тертя, напруження сил інерції практично відсутні. Питомі зусилля деформації «тонких» поковок інтенсивно знижуються, залишаючись все ж високими. Ця область є мало придатною для виготовлення точних поковок, особливо з елементами товщиною менше 6...8 мм, так як внаслідок тепловіддачі питомі зусилля будуть високими, що утруднить заповнення штампів.

В області II відбувається перегин кривих часу деформування і контактного тертя, після чого їхня зміна стає відносно невеликою. Дія інерційних сил починає відчуватися лише при швидкостях 10...12 м/с. Найбільш відповідною для виготовлення поковок з тонкими елементами є область III, де теплові втрати практично відсутні, що забезпечує мінімальні

питомі зусилля, коефіцієнт контактного тертя дуже малий. При швидкостях 20...25 м/с - інерційні напруження в осередку деформації ще не настільки великі, а інерційні розтягуючі напруження (кінетична енергія) близькі до оптимальних величин і покращують заповнюваність гравюри штампа. Ці швидкості прийняті в конструкціях високошвидкісних молотів, що випускаються серійно. Вони вважаються оптимальними для широкої номенклатури точних поковок. Для деяких типів поковок, наприклад лопаток газотурбінного двигуна, що штамуються видавлюванням, оптимальними визнаються швидкості 30...40 м/с, для чого виготовлені спеціалізовані молоти і установки.

Область IV є важкодоступною для здійснення практичного штампування через великі інерційні сили.

Характер зміни швидкості витікання металу при різних початкових швидкостях представлено на рис. 1.9.



1 - початкова швидкість 112 м/с; 2 - початкова швидкість 58 м/с; 3 - початкова швидкість 33 м/с

Рисунок 1.9 - Графіки зміни швидкостей деформації (ВТ9, $T = 1030^\circ \text{C}$, ступінь деформації $\varepsilon = 2$)

Чим вища початкова швидкість витікання, тим різкіше в процесі деформування вона знижується і тим більші ерційні сили.

Коли напруження від дії інерційних сил досягають критичної величини, яка залежить від механічних властивостей деформованого металу, стрижень руйнується. У табл. 1.1 наведено орієнтовні значення критичних швидкостей витікання для сплаву ВТ9. Температури нагрівання - найбільш часто застосовуються при деформації. Степінь деформації становила 1,95.

Таблиця 1.1 - Пластичність і критичні швидкості витікання для сплаву ВТ9

Температура видавлювання, °С	Швидкість плину, м/с	Відносне поздовжнє звуження, %
980...1030	30...35	95...99

За характером руйнування стрижнів під дією інерційних сил оцінюється пластичність деформованого металу в умовах одновісного високошвидкісного розтягування. Оцінка пластичності проводиться за величиною відносного поперечного звуження, що розраховується для круглих стрижнів, як і при випробуванні стандартних зразків на розрив. Величини відносного поперечного звуження для сплаву ВТ9 наведено в табл. 1.1.

Сплав ВТ9 відрізняється майже необмеженою пластичністю, внаслідок чого руйнування зразків передувала велика пластична деформація.

Слід зазначити, що чим вища критична швидкість витікання, тим більша пластичність деформованого сплаву.

В основі виникнення руйнування, а також внутрішніх дефектів (ущільнень, розшарувань і т.ін.) металів, що деформуються з високими швидкостями, лежить явище нерівномірності і локалізації деформації. Це явище дуже складне і залежить від комплексної дії наступних факторів: температурно-

швидкісних умов деформації, механічних і фізичних властивостей деформованого металу, конфігурації і розмірів поковки, механічної схеми деформації і т.д.

Складність цього явища підтверджується наведеними вище прикладами. Так, титановий сплав при кімнатній температурі зазнає крихкого руйнування, а при високих температурах має необмежену пластичність.

Важливо відзначити також, що описані явища (розрив від дії інерційних сил, нерівномірність і локалізація деформації) спостерігаються і при звичайних швидкостях деформування, наприклад при видавлюванні на КГШП.

Дії розтягуючих сил супроводжуються підвищення температури в місці локалізованої деформації. Підвищення температури може сприяти збільшенню пластичності при розтягуванні силами інерції, якщо сумарна температура, яка залежить від теплоти попереднього нагрівання заготовки, теплового ефекту деформації і теплових втрат, не викличе перегрівання деформованого металу. Навпаки, перегрівання, викликане інтенсивною деформацією, призводить до руйнування сплаву ще в осередку деформації.

Робота, що витрачається на подолання інерції металу в осередку деформації, переходить в кінетичну енергію видавленої маси матеріалу, тобто у «втрачену» енергію. Це можна проілюструвати осцилограмою видавлювання титанової поковки і розрахунковими кривими повного питомого зусилля і його «статичної» компоненти на рис. 1.10. Площа між цими кривими відповідає додатковій («втраченій») енергії, яку потрібно витратити для подолання реакції осередку деформації.

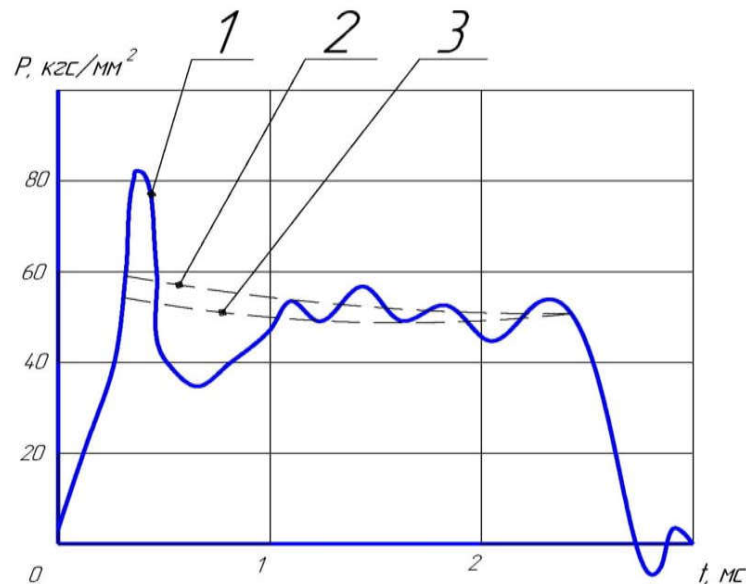


Рисунок 1.10 - Питоме зусилля 1 і його «статична» складова 2 при видавлюванні з $\lambda=10$ (ВТ9; 980°C) в порівнянні з осцилограмою 3

За осцилограмою (3) видно, що питоме зусилля різко зростає і досягає свого екстремуму спочатку деформування. Далі спостерігається його різке зниження і коливання біля середнього значення. Це відбувається внаслідок того, що сплав ВТ9 має гексагональну щільноупаковану кристалічну решітку і порівняно невелику кількість легуючих елементів. Це призводить до того, що при високих швидкостях деформування в процесі пластичної деформації задіюється більшість площин ковзання. Таким чином, аналізуючи осцилограму (3) і особливості кристалографічної будови сплаву ВТ9, можна стверджувати, що енергія пластичної деформації на початковій стадії деформування витрачається на задіяння в процесі пластичної деформації більшості площин ковзання. Як тільки досягається цей стан, пластична деформація починає протікати при значно менших витратах енергії і питомому зусиллі деформування, яке буде різко зменшуватися до необхідної величини і коливатися біля цього значення, як це і відображено на осцилограмі.

Вплив сил інерції проявляється в швидкому збільшенні інерційних розтягуючих напружень при видавлюванні виробу, а також в ще більш

швидкому збільшенні інерційної складової питомого зусилля в осередку деформації.

Підводячи підсумок по впливу сил інерції можна зробити наступні висновки:

- сили інерції мають велике значення в процесі високошвидкісного видавлювання поковок і зростають зі збільшенням початкової швидкості видавлювання і коефіцієнта витяжки;

- при видавлюванні профілів постійного перетину відбувається перерозподіл зусиль за ходом в порівнянні зі статичним видавлюванням. На початку ходу додається динамічна складова зусилля для розгону часток металу в матриці, а в кінці ходу зусилля знижується завдяки зусиллю волочіння гальмуючого профілю;

- великі розтягуючі напруження у видавленому профілі, що виникають при його гальмуванні, можуть призвести до порушення цілісності штампування. Тому початкова швидкість витікання металу, що видавлюється, обмежена і для титанових сплавів не повинна перевищувати 350 м/с;

- для тонких поковок, які звужуються за профілем, заповнюваність штампа при високошвидкісному видавлюванні поліпшується. Це виражається в зниженні піку зусилля в кінці ходу в порівнянні зі статичним видавлюванням;

- зусилля на матриці вище, ніж зусилля на пуансоні, на величину сили інерції поковки;

- для видавлювання лопаток ГТД з титанових сплавів, оптимальними початковими швидкостями деформування визнаються швидкості 30...40 м/с;

- чим вища початкова швидкість витікання, тим різкіше в процесі деформування вона знижується і тим більші інерційні сили;

- - питоме зусилля різко зростає і досягає свого екстремуму спочатку деформування. Далі спостерігається його різке зниження і коливання біля середнього значення.

1.11 Пластичність і опір пластичній деформації при високошвидкісному деформуванні

Пластичність характеризується величиною відносного поперечного звуження при видавлюванні циліндричних зразків, що розриваються дією сил інерції. Опір пластичної формозміни характеризується величинами питомих зусиль і енергії деформування при прямому видавлюванні циліндричних стрижнів [22].

Поковки типу стрижня з потовщенням досліджували на високошвидкісній установці з пороховим приводом. Для порівняння такі ж поковки видавлювали на пароповітряному молоті моделі М 212 з масою падаючих частин 1 т і кривошипному горячештамповочних пресі моделі К862С з номінальним зусиллям 6300 МН. Температурно-швидкісні умови експериментів для досліджуваного сплаву ВТ9 наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Температурно-швидкісні умови експериментів і характеристики пластичності для сплаву ВТ9 (характеристики пластичності показані для максимальних температур деформування)

Температура деформації, °С	Швидкості деформації, м/сек	Швидкості деформації, 1/сек	Відносне поперечне звуження, %
750, 850, 950	10...90	2000...50000	95

Інтервал температури був визначений за результатами попередньо проведених досліджень пластичності сплаву ВТ9 з розрахунком отримання високої пластичності. Область швидкостей деформування була призначена з таким розрахунком, щоб на нижній межі швидкості були близькі до молота, а

на верхньому - межували зі швидкостями, при яких починає проявлятися дія сил інерції. Цей інтервал швидкостей прийнятний, так як дозволяє визначити основні закономірності процесу аж до руйнування зразків від дії сил інерції.

Досліджувана область швидкостей деформування була розбита на інтервали 10...15; 20...25; 40...50; 80...90 м/с. У межах кожного з інтервалів швидкостей істотних відмінностей в пластичності і опорі деформації досліджуваного сплаву не може бути. Між інтервалами різниця може проявитися чіткіше.

Видавлювання стрижневих зразків виконували із заготовок діаметром 28x30 мм. Степінь деформації визначали за формулою:

$$\varepsilon = \ln \frac{F}{f},$$

де F – площа поперечного перерізу заготовки;

f - площа поперечного перерізу поковки.

Степені деформації становили 0,37; 0,7; 1,2 і 2,3.

В якості мастила застосовували графітомасляну суміш. Енергію удару розраховували, щоб прес-залишок знаходився в межах 8...10 мм.

Заготовки нагрівали в лабораторних електричних печах опору. Температура регулювалася електронним потенціометром типу ЕПД-12 з точністю $\pm 15^\circ$.

Зусилля деформування і швидкість руху бойка (баби) перед ударом реєстрували на пороховій установці вимірювальним пристроєм з електронним осцилографом ОК-17М, на пароповітряному молоті - осциллографом МПО-2. На КГШП за допомогою осцилографа МПО-2 записували зусилля деформування і відзначали нижнє положення повзуна.

Наклеєні тензодатчики опору встановлювали під матрицею на пороховій установці і під пуансоном на пароповітряному молоті та КГШП. Швидкість

бойка перед ударом на пороховій установці визначали за часом прольоту бойком базової відстані. Для вимірювання швидкості баби молота перед ударом використовували ходограф.

Осцилограми, отримані на пороховій установці і молоті, обробляли графічним методом з подвійним інтегруванням графіка зусилля - час. При розшифровці осцилограм, отриманих на КГШП, для суміщення графіків зусилля і переміщення використовували кінематичні співвідношення приводу преса.

В результаті обробки осцилограм отримані величини середніх зусиль деформування. При нанесенні експериментальних точок на графіки в якості остаточного результату брали середній з двох-чотирьох дослідів.

За знайденими величинами зусиль деформування розраховували середні питомі зусилля на пуансоні, а також питомі енергії деформування шляхом ділення роботи деформації поковки, на весь видавлений об'єм (включаючи об'єм конічної ділянки матриці).

Оскільки високошвидкісне штампування характеризується одноразовим стрибком деформуючого зусилля для отримання готової деталі і, отже, великими деформаціями, то дані про технологічну пластичність матеріалу заготовки в конкретних температурно-швидкісних умовах деформування є визначальними [23].

Відомо, що титанові сплави деформуються внаслідок своїх особливих фізико-хімічних властивостей вкрай нерівномірно і для отримання однорідної структури і механічних властивостей, заготовка повинна підлягати великій загальною мірою деформації. Для сплаву, наприклад VT1, загальна деформація в межах 75...80% при температурі обробки 1000...800°C забезпечує мінімальну анізотропію механічних властивостей. З підвищенням легування сплавів загальна деформація для досягнення однорідної структури і механічних властивостей повинна підвищуватися до 85...95%.

У разі динамічного деформування під молотом ($V=5...7$ м/с) пластичність титанових сплавів знижується на 10...20%, що при оптимальних степенях

деформації тягне за собою перехід металу в крихкий стан, а з пониженням пластичності гравюри штампів заповнюються в повному обсязі. Це послужило підставою для значного скорочення об'ємів штампування на молотах і збільшення об'єму штампування на пресах.

Тому для визначення оптимальних температурно-швидкісних умов високошвидкісної обробки тиском, вищеописаним методом були виконані дослідження, присвячені аналізу впливу швидкості і температури початку деформування на показники технологічної пластичності сплаву ВТ9.

Граничні степені деформації визначали по появі на вільній поверхні зразків перших ознак руйнування.

Для визначення пластичності при видавлюванні було використано ту обставину, що руйнування зразків під дією розтягуючих інерційних сил відбувалося при певній величині поперечного звуження. Такий вид руйнування характерний для сплаву ВТ9.

Шляхом вимірювання розмірів місця руйнування і розрахунків за відомою формулою визначали відносне поперечне звуження, яке може слугувати характеристикою пластичності металу, що видавлюється.

Результати досліджень привели до висновку, що в умовах розтягування інерційними силами пластичність сплаву ВТ9 склала більше 95%.

Аналіз отриманих результатів показує збільшення граничних степенів деформації з підвищенням температури видавлювання для всіх досліджених швидкостей деформування. При цьому величини граничних степенів деформації за один хід деформуючого інструменту при високошвидкісному видавлюванні істотно перевищують в області штампувальних температур аналогічні величини при видавлюванні на пароповітряному молоті та гідропресі для сплаву ВТ9. Це може бути пояснено наступним чином.

При видавлюванні на гідропресі в результаті інтенсивного охолодження контактних поверхонь зразка і істотного впливу контактного тертя деформування відбувається вкрай нерівномірно, що призводить до помітного зниження граничної пластичності. З іншого боку, рекристалізація внаслідок

різної степені деформації і температури в деформованому об'ємі відбувається нерівномірно, що призводить до різнозернистості, внутрішнім напруженням і неоднорідності механічних властивостей зразків вже в процесі обробки [24].

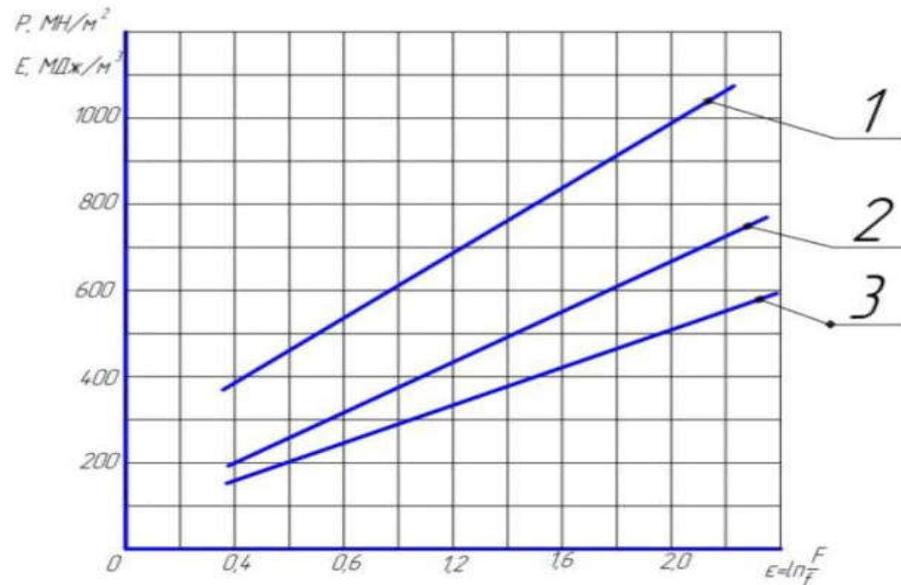
При видавлюванні на молоті в результаті спільної дії теплового ефекту і значних деформацій, кристалографічне орієнтування кристалітів стає близьким, що сприяє (відповідно до закону зрощення кристалів) розвитку процесу збиральної рекристалізації. Однак, внаслідок відносно малої тривалості деформування і наявності істотних тепловтрат в кінці видавлювання, рекристалізація не встигає завершитися. В результаті цього не відбувається повного знеміцнення і знижується технологічна пластичність.

При високошвидкісному деформуванні внаслідок істотного розігрівання і зниження сил контактного тертя зразок деформується рівномірно, що сприяє збільшенню технологічної пластичності. З іншого боку, внаслідок виключно малої тривалості деформування практично не відбувається розвитку процесу рекристалізації обробки, що також сприяє збільшенню технологічної пластичності і покращує макро - і мікроструктуру і механічні властивості сплаву ВТ9.

Таким чином, в результаті виконаних досліджень встановлено, що збільшення початкової швидкості деформування від 5 до 30 м/с і значенні величини витяжки (10 одиниць при обробці тиском) сплаву ВТ9 призводить до поліпшення його технологічної пластичності. Збільшення технологічної пластичності з ростом швидкості деформування дозволяє виконувати штампування з β -області в $(\alpha+\beta)$ -область, що забезпечить отримання дрібнозернистої структури і високих механічних характеристик деталей складної конфігурації.

Отримані дані можуть бути використані при призначенні допустимих степенів деформації заготовок, а також для загальної оцінки пластичності деформованого металу.

За експериментальними даними побудовані графіки залежності питомих зусиль і енергії деформування від температури і степені деформації для швидкостей деформування 10...90 м/с (рис. 1.11).



1 - 780°C; 2 - 880°C; 3 - 980°C

Рисунок 1.11 - Графіки залежності питомих зусиль і енергій деформування від степені деформації при різних температурах і швидкостях видавлювання для сплаву ВТ9

Загальним для всіх металів є зниження питомих зусиль і енергії з ростом температури деформування. При малих степенях деформації зміна температури на 100°C призводить до зміни питомих зусиль на 10...20%. Зі збільшенням степені деформації відносна різниця питомих зусиль зменшується. Для сплаву ВТ9 підвищення питомих зусиль і енергій залежить і від температури, і від степені деформації. При температурі 980°C і степенях деформації 0,37 і 2,3 питомі зусилля зростають відповідно на 40 і 140 МН/м² (≈20%), а при температурі 850°C на 60...350 МН/м² (≈15 і 25%) при зміні швидкості від 10...25 до 50...90 м/с.

На силові параметри процесу видавлювання помітний вплив також має швидкість деформації, що можна простежити на графіках залежності питомих зусиль від початкових швидкостей деформації рис. 1.12.

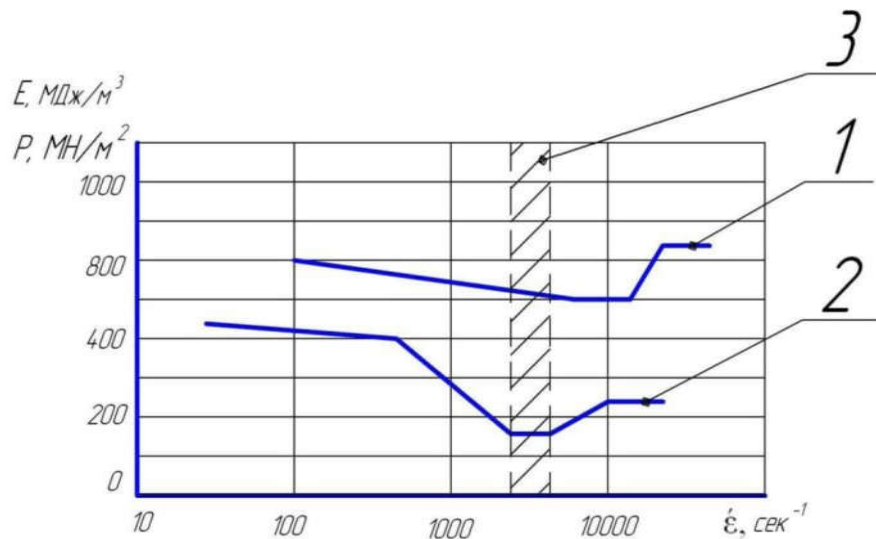


Рисунок 1.12 - Графіки залежності питомих зусиль і енергії від швидкості деформації

Пояснюючи особливості зміни силових параметрів при високошвидкісному видавлюванні металів, слід зупинитися на аналізі основних факторів, комплексно діючих в процесі високошвидкісного деформування: поліпшення теплового режиму процесу; посилення дії інерційних сил і зниження контактного тертя.

Поліпшення теплового режиму пов'язано, з одного боку, зі зниженням теплових втрат заготовки при збільшенні швидкості витікання металу і, отже, зменшення часу активного контакту деформованого металу і штампа[25]. З іншого боку, в цих умовах повніше використовується дія теплового ефекту деформації і контактного тертя. В цілому, чим вища швидкість, тим більший позитивний знеміцнюючий вплив цього фактора [26].

Тепловий режим деформації визначається температурним полем, що залежить від температури вихідної заготовки, теплових ефектів пластичної деформації і контактної тертя, а також теплових втрат при контакті штампування зі штампом в процесі її формозміни. Сукупність високої швидкості і степені деформації, а також малого часу деформування (1...5)...(10...3) с, робить процес високошвидкісного видавлювання екзотермічним. Це відбувається внаслідок того, що теплота, що виділяється заготовкою в процесі пластичної деформації за малий відрізок часу деформування не встигає розсіюватися.

Таким чином, формоутворення тонких елементів штампування на високошвидкісному обладнанні протікає в теплових умовах, що сприяють підтримці високої пластичності.

Це не означає, що опір пластичній формозміні при високих швидкостях у всіх випадках має бути меншим, ніж при звичайних. Менші питомі зусилля і висока пластичність в порівнянні з деформацією, наприклад на КГШП, спостерігаються зазвичай при виготовленні поковок з елементами, що володіють відносно малим запасом теплової енергії або, точніше, невеликою величиною відносного запасу теплової енергії до величини поверхні тепловіддачі. У цих випадках зменшення часу деформування при високих швидкостях навантаження призводить до різкого зниження теплових втрат і відповідного збереження високої пластичності і відносно низьких питомих зусиль. У всіх же звичайних випадках співвідношення процесів зміцнення і знеміцнення таке, що при високих швидкостях питомі зусилля трохи вищі, ніж при звичайних швидкостях [27].

На основі проведених раніше експериментів можна зробити висновок, що при прийнятих поперечних розмірах стрижнів тепловий режим при швидкостях 10...80 м/с не міг зробити помітного впливу на силові параметри видавлювання.

Величина інерційних сил залежить від зміни швидкості витікання металу. В процесі удару енергія пуансона трансформується в енергію видавлюється із

затухаючою швидкістю стрижня. Практично цей процес проявляється в тому, що, крім пресу є зусилля пуансона, виникає зусилля видавлені частини стрижня за рахунок сил інерції. Чим більше зусилля, тим менша роль пуансона, зусилля на якому знижується аж до того, що в кінці процесу при досить високих швидкостях закінчення деформації вся заготовка, яка простягається через вічко матриці, тягнеться дією інерційних сил, тобто деформаційно-силова схема видавлювання трансформується в схему волочіння.

Як відомо, зусилля волочіння менші, ніж зусилля, необхідні для видавлювання такої ж заготовки. Цим впливом сил інерції можна пояснити деяке зниження питомих зусиль. Винятком є сплав ВТ9, що має в порівнянні з іншими металами і сплавами, які застосовуються у високошвидкісному штампуванні, високий коефіцієнт тертя [28].

Впливом порівняно більш високих сил тертя в контейнері і в області осередку деформації, що перевищують дію інерційних сил, можна пояснити відсутність зниження питомих зусиль, характерне для більшості інших металів і сплавів, що застосовуються у високошвидкісному штампуванні.

Крім дії сил тертя зростання питомих зусиль сплаву ВТ9 сприяє інтенсивному подрібненню мікроструктури тим більше, чим вища швидкість і нижча температура деформування.

Висновки щодо пластичності і опору деформації:

- можливість підвищення швидкості деформування при видавлюванні обмежуються дією інерційних сил, що призводять до руйнування поковок при досягненні критичних значень швидкостей закінчення деформації. Ці швидкості різні для різних металів і знаходяться в межах 30...35 м/с для титанових сплавів;

- пластичність видавлюваних титанових сплавів тим вища, чим більші критичні швидкості витікання;

- особливості зміни опору пластичної формозміни пояснюються комплексною дією трьох основних чинників, пов'язаних з підвищенням

швидкості деформування: поліпшенням теплового режиму процесу, зусиллям дії інерційних сил, зниженням коефіцієнта контактного тертя;

- початкова швидкість деформування 30 м/с і значення величини витяжки 10 одиниць при обробці тиском сплаву ВТ9 призводять до збільшення його технологічної пластичності до 98%.

- питомі зусилля і енергія істотно знижуються з ростом температури деформування.

Підводячи підсумок вищепереліченим дослідженням, можна відзначити що процес високошвидкісного видавлювання вивчений недостатньо повно і необхідне подальше вдосконалення температурно-деформаційних механізмів технології виготовлення деталей компресора ГТД методом високошвидкісного штампування, з титанового сплаву ВТ9.

Висновки

Провівши аналіз доступної літератури, з огляду на необхідність пластичної деформації важко деформованого сплаву та заповнення гравюри штамп у вертикальному напрямку, приймаємо за основний варіант виготовлення диску турбіни в оболонці на КГШП за один перехід. Використання оболонки дозволить уникнути інтенсивних втрат тепла на контактній та бічній поверхнях заготовки. При цьому умови деформації наближаються до ізотермічних.

2 РОЗРОБКА ДОСЛІДНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Аналіз можливості отримання поковок із важкодеформованих сплавів

На сьогоднішній день з огляду на складну ситуацію в галузі двигунобудування, дорожнечу покупних комплектуючих, стоїть питання імпортозаміщення. Тому на підприємстві проводяться експериментальні роботи щодо визначення можливості отримання деформованих заготовок з легованих, жароміцних і титанових сплавів, що раніше купувались на спеціалізованих заводах.

Службами підприємства проводяться дослідні роботи щодо підтвердження можливості виготовлення деталей, на існуючому обладнанні. Так само, з огляду на те, що особливо відповідальні деталі: диски турбін, вали, проставки виготовляються на спеціалізованих заводах, проводяться сертифікаційні роботи.

Одним з гострих питань є виготовлення дисків зі сплаву ЕК-151-ІД. Сплав має недостатню пластичність в гарячому стані, що не дозволяє виконати необхідні операції для формоутворення поковки диску. Крім того, на підприємстві відсутнє необхідне обладнання, що не дозволяє відтворити первинну технологію виготовлення дисків.

З огляду на це, були проведені дослідження, в яких використовувалися зразки Ø14 мм і висотою 15 мм, Ø19 мм і висотою 20 мм з штамповок відпрацьованих дисків.

Експериментальне осадження зразків виконували на кривошипному пресі зусиллям 1,6 МН. Зразки перед осадженням нагрівали в електропечі до температури $1100^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, протягом 15 хвилин. Осадження зразків виконували на бойках, підігрітих до температури $170^{\circ}\text{C}\dots 200^{\circ}\text{C}$.

Експериментальну деформацію виконували зі змащенням та без нього, застосовуючи різні ступені деформації від 14% до 65%.

Після осадження на бічних поверхнях більшості деталей виявлено тріщини.

Після проведених робіт, було встановлено, що деформацію сплаву ЄК151-ІД (ХН63ВБЮТ-ІД) при температурі 1100°C можна проводити зі степінню деформації до 25% як без змащення, так і з жаростійким покриттям (тобто наявність змащення не впливає на появу тріщин). Крім цього, виявлено, що при обмеженій деформації в оболонці степінь деформації можна збільшити до 60%.

З огляду на вище сказане, було прийняте рішення розробити дослідній технологічний процес виготовлення поковки диску з розміщенням заготовки в оболонці із нержавіючої сталі за 1 перехід.

2.2 Послідовність операцій виготовлення деталі зі сплаву ЄК151-ІД

За базову модель технологічного процесу гарячого штампування поковки диску турбіни ГТД було обрано існуючу технологію виготовлення (рис. 2.1, табл. 2.1).

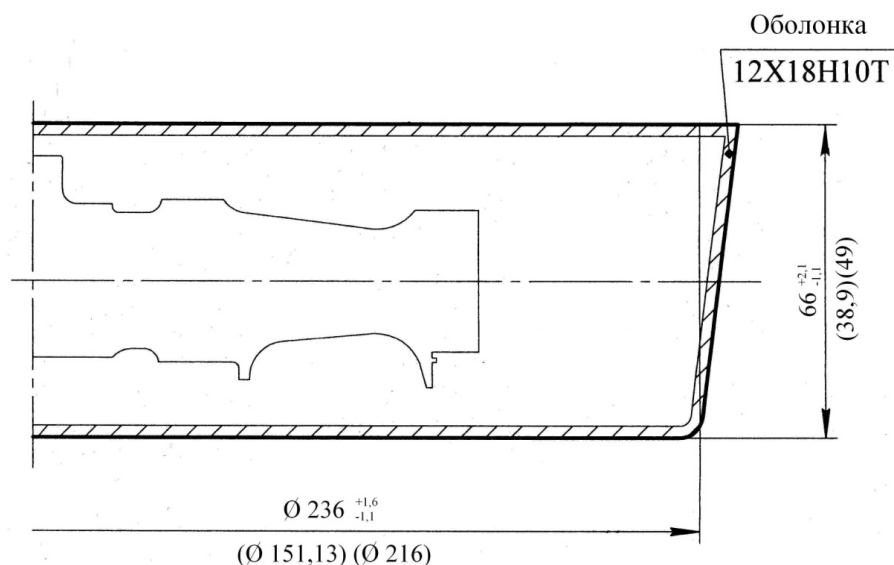
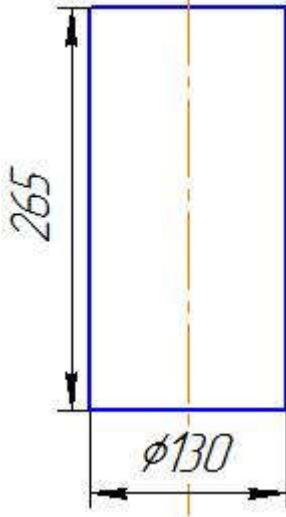
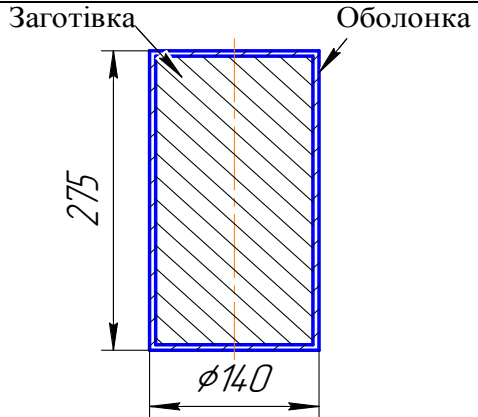


Рисунок 2.1 – Ескіз готової поковки в оболонці з товщиною 5 мм

Таблиця 2.1 - Технологічний процес гарячого штампування поковки диску турбіни ГТД

№ п/п	Назва операції	Короткий опис операції	Примітка
1	2	3	4
1	Токарна обробка заготовки	<p>Після відрізки від прутка заготовки потрібної довжини, для зняття поверхневих дефектів, закатів, тріщин, забоїн.</p> <p>Після токарної обробки заготовки проходять ультразвуковій контроль по торцям заготовки</p>	
2	Травлення.	Заготовки травляться для контролю по торцям заготовки макроструктури та дефектів згідно ОСТ 1 90266-90.	
3	Контроль.	Заготовка перевіряється на відповідність геометричним розмірам та на відповідність нормативним документам (ТУ, сертифікати якості). Заготовки на яких виявленні поверхневі дефекти вилучаються з виробництва та поміщаються в ізолятор браку	

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
4	Виготовлення оболонки	Оболонка виготовляється із сталі 12Х18Н10Т, в заготовку поміщають в оболонку, та заварюють.	 <p>The diagram shows a rectangular cross-section of a shell. The inner core is labeled 'Заготівка' and the outer shell is labeled 'Оболонка'. The height of the shell is indicated as 275, and the diameter of the core is indicated as $\phi 140$.</p>
5	Підготовка	<p>Випишується технологічний паспорт. Заготівки запускаються в виробництво суворо плавкам. Одночасно в виробництві забороняється перебування більше двох плавок. Заповнюється термограма, на термограмі вказується номер плавки, номер деталі та операції, прізвище робітника. Інструмент підігрівається до температури 150...250°C.</p>	

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
6	Нагрівання	<p>Деталі завантажують в електричну піч в один ряд, складаючи їх на торець, не ближче 400 мм від дверей печі. Заготовки нагріваються з урахуванням температури поліморфного перетворення. Температура нагрівання $1000^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$, час нагрівання 100/150 хвилин з моменту виходу печі на необхідну температуру.</p>	
7	Штапування	<p>Перед штапуванням штамп для видалення сміття обдувається стиснутим повітрям, та наноситься мастильний матеріал Fenella Flusd F 3606 G. Заготовка штапується за один хід пресу. Після штапування кожної деталі, штамп очищається стиснутим повітрям та знову наноситься мастильний матеріал. Деталі штапуються на пресі К-8548В, зусиллям 6300 тон. Після штапування деталі охолоджуються роздільно одна від одної, на сухій та чистій підлозі.</p>	

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
8	Нагрівання	<p>Деталі завантажують в електричну піч в один ряд, складаючи їх на торець, не ближче 400 мм від дверей печі. Заготовки нагріваються з урахуванням температури поліморфного перетворення. Час нагрівання 100/150 хвилин з моменту виходу печі на необхідну температуру.</p>	
9	Обрізка	<p>Облой обрізується без тріщин, розшарувань по контуру штампованої заготовки згідно ескізу з одночасним маркуванням умовного позначення номера плавки. Після обрізки деталі охолоджуються роздільно одна від одної, на сухій та чистій підлозі. При якісному зрізі дозволяється операцію «обрізка» виконувати використовуючи нагрів з операції 6</p> <p>Обрізка виконується на пресі DУе 1000/250</p>	
10	Зачистка	<p>Зачищається поверхня штампованої заготовки від задирів.</p>	

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
11	Підготовка	<p>Заготівки запускаються в виробництво суворо плавкам. Одночасно в виробництві забороняється перебування більше двох плавок. Заповнюється термограма, на термограмі вказується номер плавки, номер деталі та операції, прізвище робітника. Інструмент підігрівається до температури 150...250°C.</p>	
12	Нагрівання	<p>Деталі завантажують в електричну піч в один ряд, складаючи їх на торець, не ближче 400 мм від дверей печі. Заготівки нагріваються з урахуванням температури поліморфного перетворення. Температура нагрівання 910°C±20°C, час нагрівання 20/30 хвилин з моменту виходу печі на необхідну температуру.</p>	

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
13	Правка	<p>Перед правкою штамп для видалення сміття обдувається стиснутим повітрям, та наноситься мастильний матеріал Fenella Flusd F 3606 G. Деталь правиться за один хід пресу. Після правки кожної деталі, штамп очищається стиснутим повітрям та знову наноситься мастильний матеріал. Деталі штампуються на пресі К-8548В, зусиллям 6300 тон.</p> <p>Деталі правляться тільки ті, в яких викривлення перевищує 1,9 мм.</p> <p>Після правки деталі охолоджуються роздільно одна від одної, на сухій та чистій підлозі.</p>	
14	Зачистка	<p>Відштампована заготовка зачищається відшків облою. При наявності зачищаються тріщини та інші дефекти.</p>	
15	Очистка	<p>Відштамповані деталі очищаються від залишків мастила та окалини в барабані для очистки.</p>	
16	Зачистка	<p>На відштампованій заготовці зачищається всі видимі дефекти, тріщини та інші дефекти.</p>	

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
17	Контроль	Перевіряється поверхня заготовки. Виявлені дефекти відмічаються червоним олівцем. Тріщини та закови не допускаються.	
18	Зачистка	На відштампованій заготовці зачищаються дефекти відмічені червоним олівцем.	
19	Контроль	Перевіряється поверхня заготовки.	
20	Транспортування	Деталь транспортується до термічного цеху.	

Висновки

Деталі виготовленні методом ізотермічного штампування, мають низку переваг перед деталями виготовленими традиційними способами на КГШП:

- вища рівномірність макроструктури за об'ємом деталі,
- менший припуск під механічну обробку, забезпечуються жорсткі допуски, мінімальні радіуси заокруглень та штампувальні нахили
- краща заповнюваність ривчаків штампу;
- можливість отримання виробів складної форми, отримання яких не можливо при традиційних методах штампування.

До найбільших недоліків можна віднести наступне:

- велика вартість підготовки виробництва.
- низька продуктивність

3. РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДИСКУ ТУРБИНИ ІЗ ЕК-151-ІД (ХН63ВФМБЮТ-ІД)

3.1 Особливості розрахунку в QForm VX

QForm - це універсальний комплекс для математичного моделювання процесів обробки металів тиском. Програма заснована на методі скінчених елементів.(рис. 3.1)



Рисунок 3.1 - Моделювання процесів ОМТ в програмі QForm

Метод скінчених елементів (МСЕ) - це чисельний метод розв'язання диференціальних рівнянь з частинними похідними, а також інтегральних рівнянь, що виникають при розв'язанні завдань прикладної фізики. Метод широко використовується для розв'язання завдань механіки деформованого твердого тіла, теплообміну, гідродинаміки і електродинаміки. Область, в якій знаходиться рішення диференціальних рівнянь, розбивається на кінцеву кількість елементів. У кожному з елементів довільно вибирається вид апроксимуючої функції.[29]

Коефіцієнти апроксимуючих функцій зазвичай призначаються з умови рівності значення сусідніх функцій на границях між елементами (у вузлах). Потім ці коефіцієнти виражаються через значення функцій у вузлах елементів.

Складається система лінійних алгебраїчних рівнянь. Кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих значень у вузлах, на яких знаходиться розв'язання вихідної системи, прямо пропорційно кількості. Так як кожен з елементів пов'язаний з обмеженою кількістю сусідніх, система лінійних алгебраїчних рівнянь має розріджений вид, що істотно спрощує її розв'язання.

Немає ніякого жорсткого поділу системи на препроцесори і постпроцесори. Візуалізація процесів формозміни відбувається одночасно з розрахунком, що дозволяє негайно інтерпретувати отримані результати і вносити в технологію необхідні зміни.

QForm забезпечує автоматичне формування розрахункових моделей (розбиття на кінцеві елементи), що дозволяє забезпечити високу точність розрахунку, незалежну від кваліфікації користувачів

Область застосування QForm включає процеси об'ємного штампування (холодного та гарячого), кування, пресування, вальцювання, розкочування, прокатування.

У QForm можна моделювати майже всі відомі технологічні процеси формозміни металу.

Проводиться розрахунок холодного, теплого і гарячого об'ємного штампування. Кількість інструментів може бути задана до 20 з довільним напрямком руху. Висока точність розрахунку плину металу. Передбачається виникнення різних штампувальних дефектів, таких як незаповнення гравюри, закови і простріли. Характер плину металу може бути оцінений за Лагранжевими лініями, що розраховуються в заготовці.[30]

Геометрія інструменту і заготовки в процесі розрахунку плину металу апроксимується квадратичними поверхневими кінцевими елементами. Сітка всередині заготовки та інструментів створюється на основі лінійних тетраедрів.

Програма QForm VX призначена для моделювання і оптимізації процесів штамуння, кування, а також інших процесів обробки металів тиском. З поміж базових функцій, QForm VX має допоміжні модулі такі як, прогнозування мікроструктури, термічна обробка. [31]

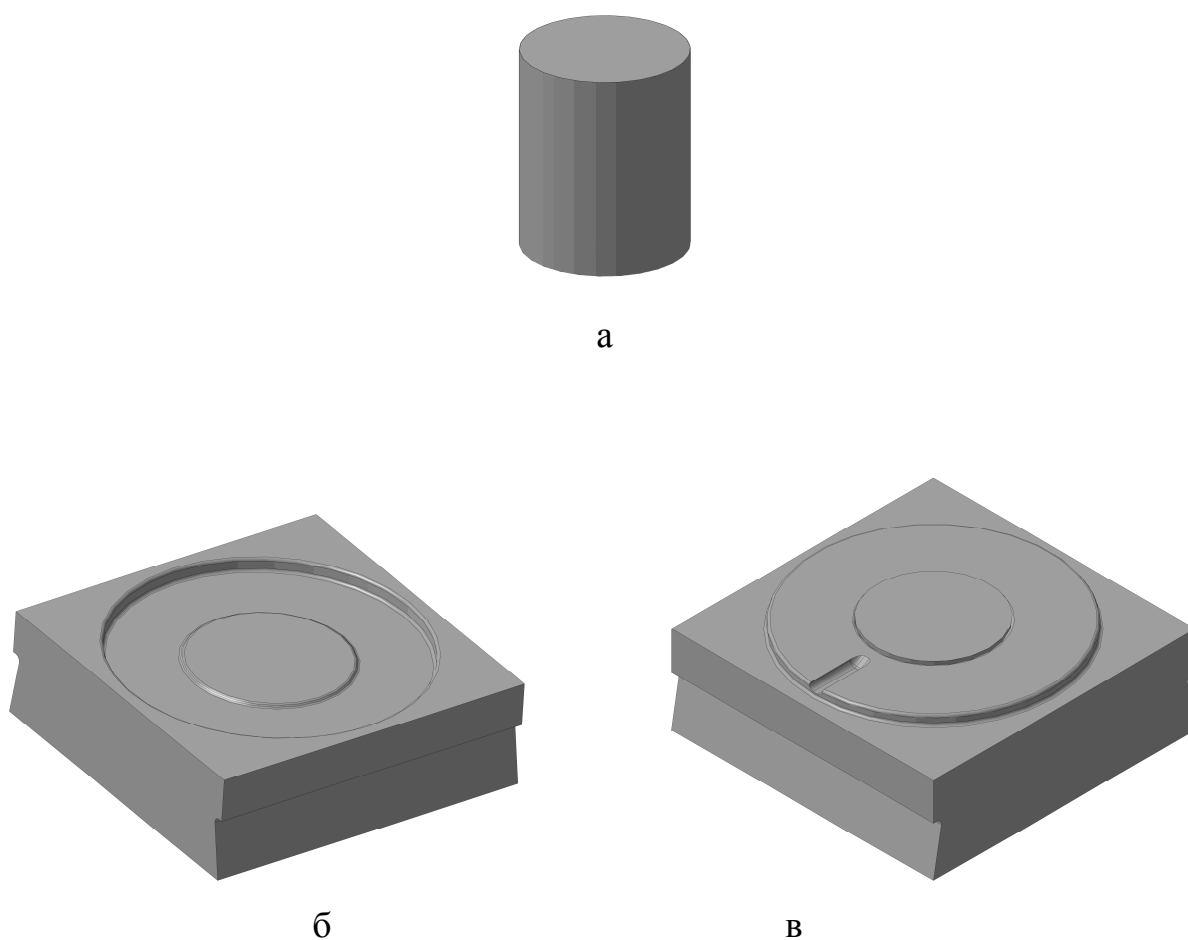
QForm VX – це універсальний комплекс для математичного моделювання процесів обробки металів тиском. В програмі вдалось об'єднати унікальний за своєю простотою інтерфейс з розширеними функціями, завдяки чого процес моделювання, та підготовки геометрії став набагато простішим. Нові алгоритми розрахунку дозволили максимально ефективно використовувати потужність сучасної комп'ютерної техніки, в результаті чого швидкість розрахунку збільшилась. Робота інтерфейсу абсолютно не залежить від ядра розрахунку, тому висновок про результати проводиться дуже швидко навіть для найбільш складних розрахунків. [32-33]

Переваги програми QForm VX:

- ланцюги з 2D та 3D операцій;
- спільна деформаційна задача заготовка-інструмент;
- зв'язана теплова задача;
- імпорт геометрії з будь-якої CAD-системи;
- демонстрація результатів з першої секунди розрахунку;
- вирішення складних збірок інструменту та заготовок;
- термічно-пружно-пластичний розрахунок для аналізу жолоблення;
- більше 1000 доступних моделей матеріалів в базі даних;
- можливість створювати власну базу даних;
- можливість створювати підпрограми для розрахунку;
- оптимізація під сучасні багатоядерні процесори.

3.2 Підготовка геометрії та запуск розрахунку розробленої технології

Перед запуском розрахунку готуємо тривимірну модель штампового інструменту та заготовки, створюємо збірку заготовка+оболонка (рис. 3.2). Перед розпізнаванням програмою QForm VX математичних моделей оснащення, вся необхідна геометрія зберігаємо в форматі *.stp2003.



а – заготовка; б – верхній штамп; в – нижній штамп

Рисунок 3.2 – 3D-модель інструменту та заготовки

Після цього імпортуємо створену модель в додаток Qshape, де розбиваємо її на сітку скінченних елементів та створюємо збірку, позиціонуючи об'єкти

один відносно одного (рис. 3.3). Для коректного розпізнавання інструментів програмою приймаються наступні імена штампу:

- нижня половина штампу - TOOL1;
- верхня половина штампу - TOOL2;
- заготовка - WPIECE1;
- оболонка заготовки – WPIECE2.

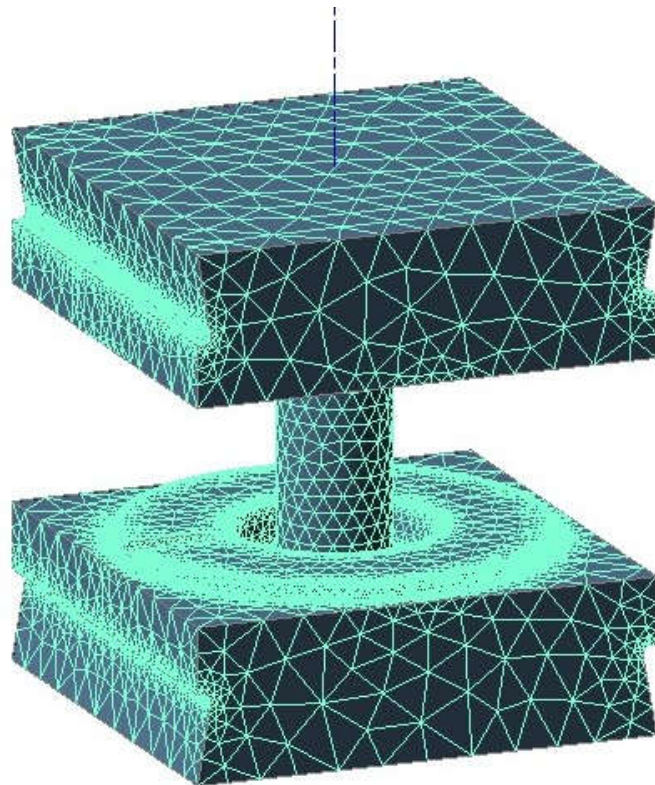


Рисунок 3.3 – Позиціоновані моделі штампового оснащення та заготовки після розбиття сітки скінчених елементів

Так як деталь, що деформується симетрична (тіло обертання), то для спрощення та прискорення розрахунку можемо моделювати лише чверть об'єкту (рис. 3.4). Скриті частини будуть аналогічні змодельованій.

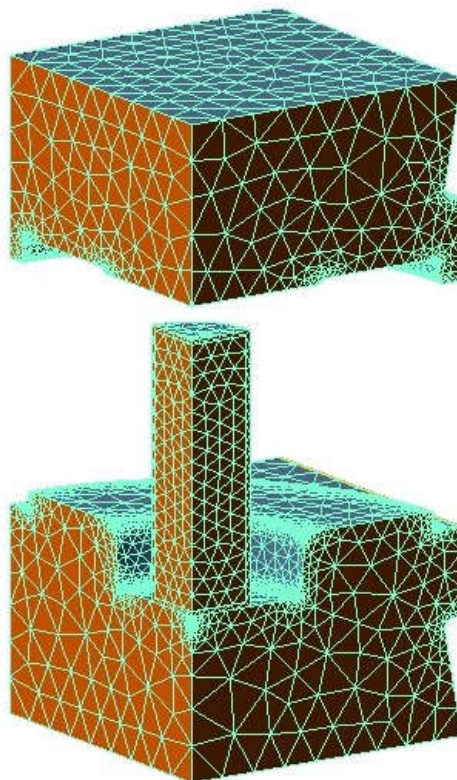


Рисунок 3.4 – Четверть розрахункової моделі із заданими площинами симетрії

Після цього вказуємо всі необхідні параметри для початку розрахунку.

Для наступного моделювання в QForm зберігаємо файл із позиціонованими об'єктами у форматі *.shl, який призначений для моделювання деформування заготовки та розрахунку напружень в інструментах.

На цьому підготовка необхідних вихідних даних завершена.

3.3 Моделювання процесу деформації в програмі QForm VX

На наступному етапі завантажуються дані в QForm VX та вказуються необхідні параметри перед запуском розрахунку.

Для розрахунку задаємо наступні технологічні параметри:

- виду процесу – деформація з урахуванням теплових процесів;
- задача моделювання – тривимірна із моделюванням інструменту;
- параметри заготовки – модель матеріалу ХН77ТЮР (ЭИ437Б);
- модель матеріалу оболонки - ХН77ТЮР (ЭИ437Б);
- температура нагрівання 1000°C;
- умова тертя між заготовками – без змащення;
- додаткові операції – час охолодження на повітрі 5 с, час охолодження в штампі 2 с;
- модель обладнання - механічний прес зусиллям 6,3 МН;
- модель матеріалу інструменту – верхній та нижній штамп – 5ХНМ;
- температура підігріву інструменту - 150°C;
- матеріал мастила – графіт-вода;
- кінцева відстань між інструментами – 2 мм.

Після того, як було задано всі параметри, запускаємо програму на розрахунок (рис. 3.5).

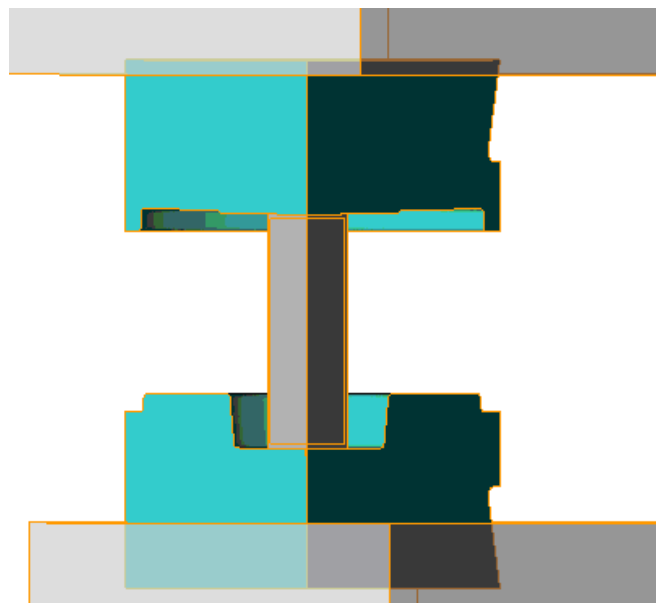
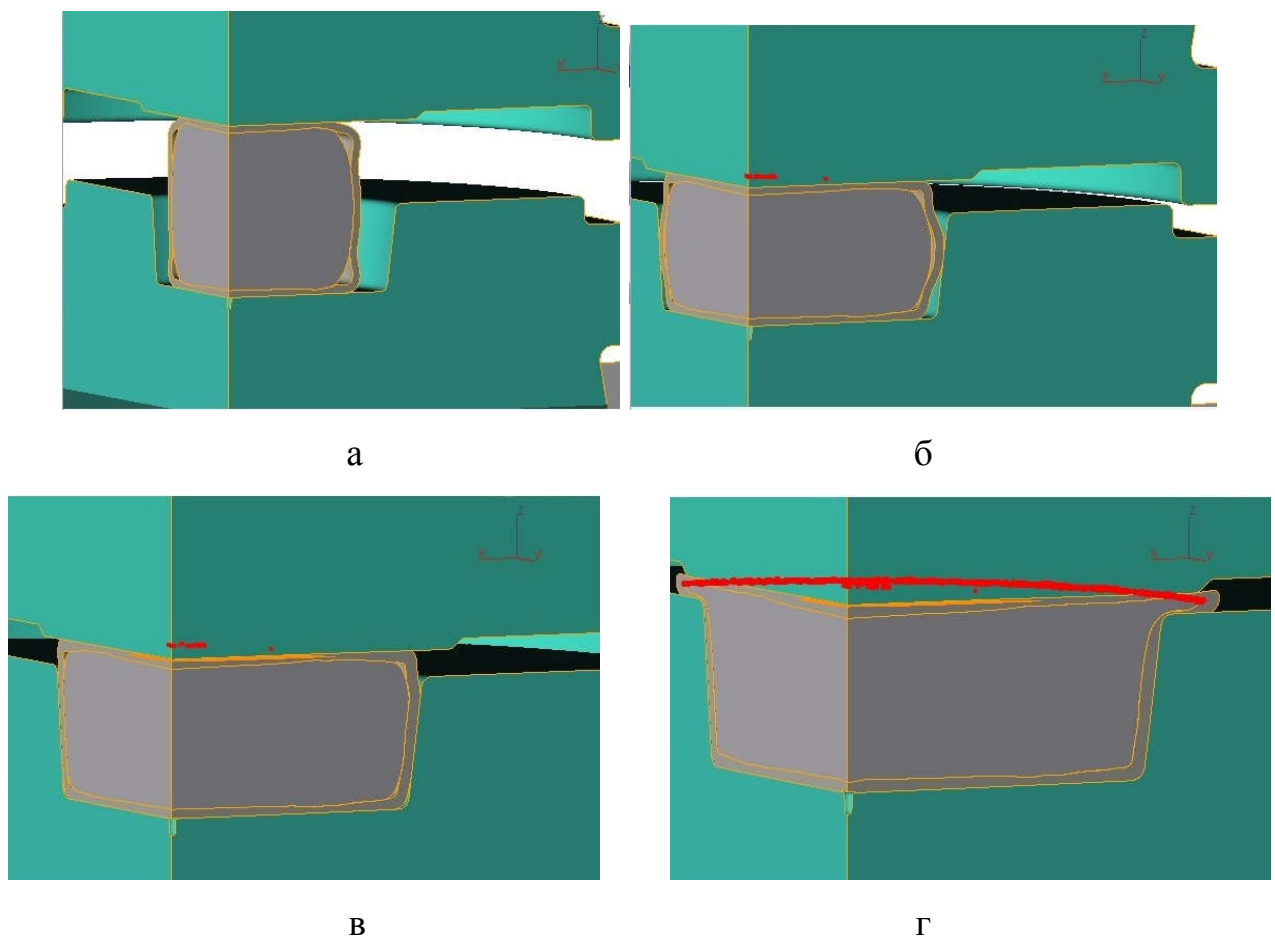


Рисунок 3.5 – Модель, підготована до розрахунку у програмі QForm VX

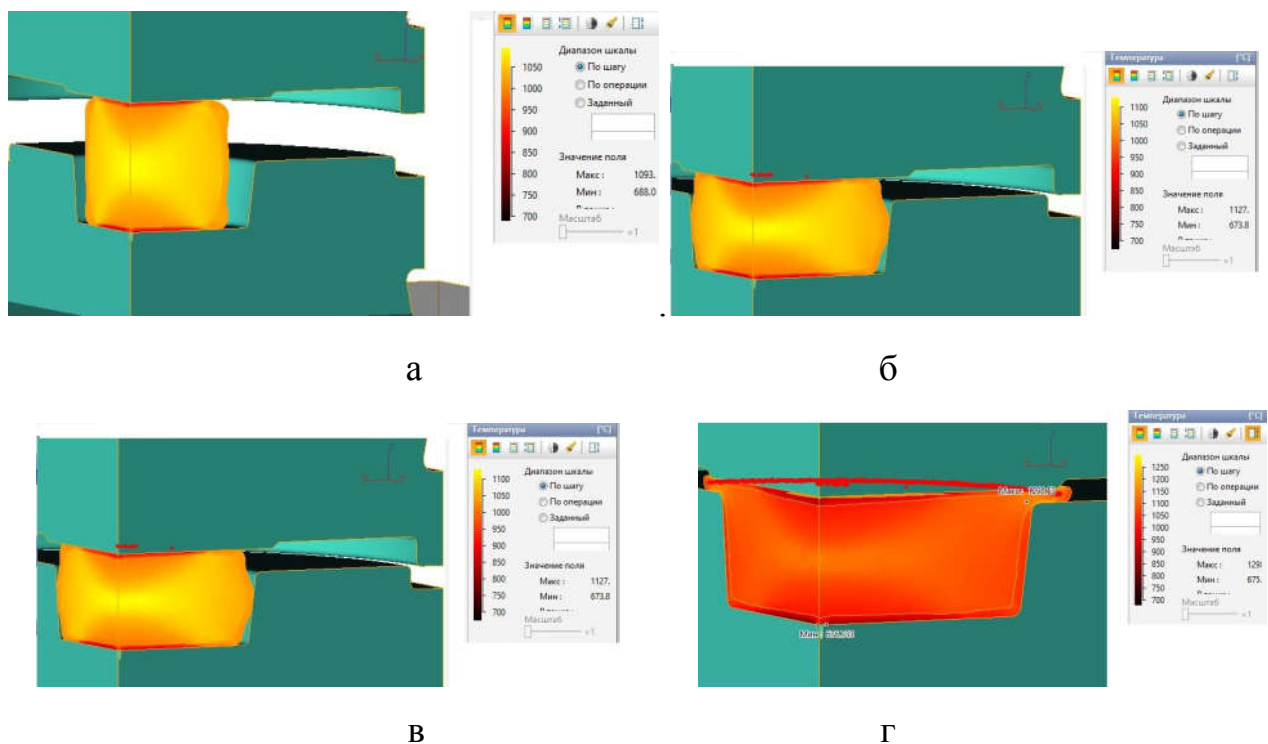
В процесі розрахунку, в режимі реального часу, на всіх стадіях можливо аналізувати процес, та при необхідності зупиняти його для корегування. Але треба враховувати, що після цього розрахунок буде починатися спочатку, а не продовжуватися з етапу переривання.

На початковій стадії деформування відбувається осадження заготовки в порожнині штамп, далі метал поступово починає заповнювати форму рівчака штамп. На заключному етапі деформації найважче заповнюються радіуси переходів, які знаходяться на кутах поковки, а також облойна канавка штамп (рис. 3.6). Саме в цей момент спостерігаємо зростання зусилля штампування до максимуму.



а – 30% деформації; б – 50% деформації; в – 75% деформації; г – 100% деформації
Рисунок 3.6 – Характер заповнення гравюри штамп в процесі деформації

При аналізі температурного поля заготовки видно, що температурне поле заготовки коливається в межах від 700°C до 1250°C (рис. 3.7), що вказує на те, що при штампуванні відбувається деформаційне розігрівання, яке може мати негативний вплив на стійкість інструменту та впливати на погіршення макроструктури заготовки в зв'язку з процесами рекристалізації. Враховуючи це, можна говорити про доцільність повторного розрахунку при нижчій температурі деформації.



а – 30% деформації; б – 50% деформації; в – 75% деформації; г – 100% деформації

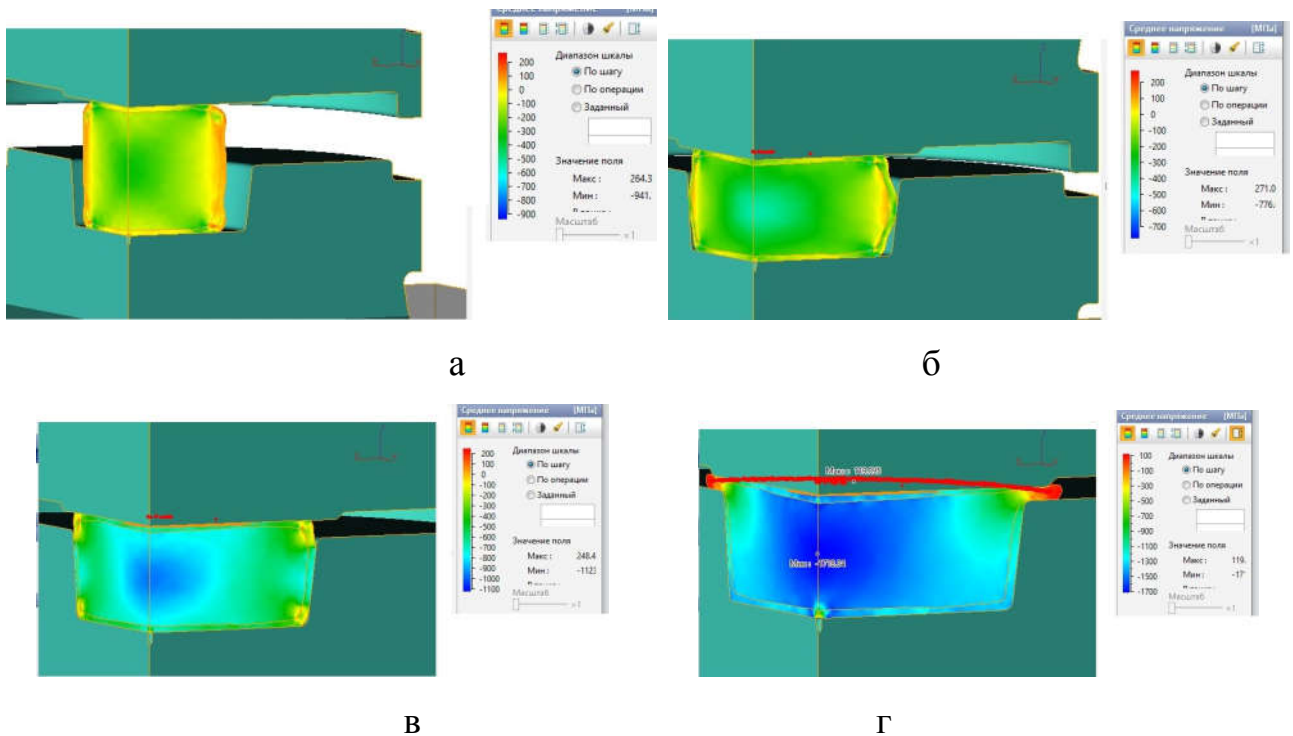
Рисунок 3.7 - Температурне поле заготовки

Спостерігаючи за характером зміни температурного поля, можна відмітити, що на контактних поверхнях заготовки зі штампом відбувається зниження температури через теплообмін. Одночасно з цим в процесі деформації зростає температура в радіусах заокруглення та в зоні витікання облою. Високі значення температури тримаються в середній частині поковки. Також явно спостерігається ковальський хрест, який виникає безпосередньо

через втрату тепла. При цьому змінюються механічні характеристики деформованого металу і характер деформації в цілому.

Аналізуючи дані за середньою напруженістю деталі (рис. 3.8), бачимо що напруження коливаються від -100 до -1700 МПа, що є нормою для даного типу деталей. На початковому етапі деформації спостерігаємо появу розтягуючих напружень в радіусах заокруглень оболонки, що є характерним процесом. Надалі відбувається стискання заготовки і поява напружень від'ємного значення по всьому її об'єму. Максимальні напруження з'являються на кінцевому етапі деформації у середній частині заготовки, а особливо в зоні витікання облою.

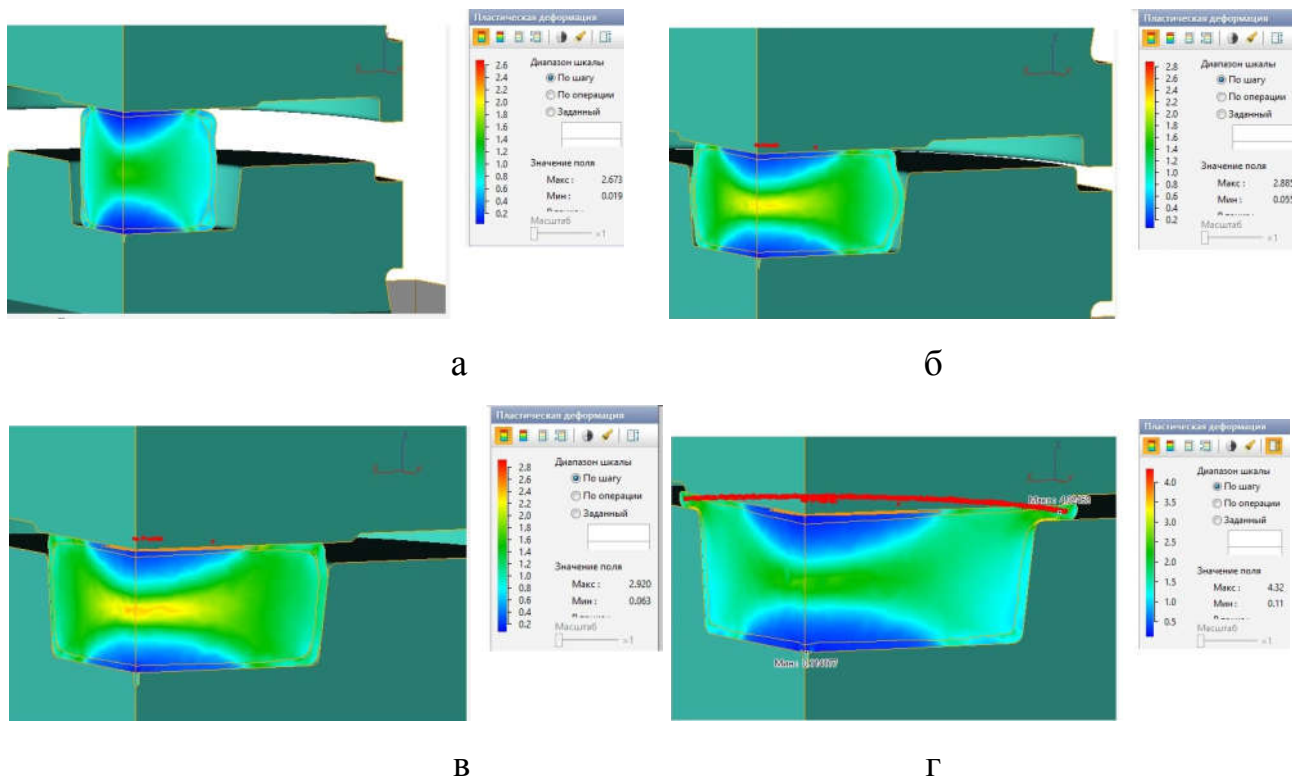
Аналіз поля опору деформуванню дозволяє виявити найбільш важко заповнювані ділянки в рівчаку штампа та найбільш напружені частини інструменту.



а – 30% деформації; б – 50% деформації; в – 75% деформації; г – 100% деформації

Рисунок 3.8 - Середні напруження заготовки

При аналізі даних степені деформації бачимо, що по всьому перерізу заготовки значення коливаються від 0,5 до 4. Дуже яскраво спостерігаються зони затрудненого плину металу на контактній поверхні. На бічних гранях бачимо перехідну зону деформації, яка характеризується втратою температури через бічні поверхні заготовки. На зображеннях, які характеризують інтенсивний плин металу (рис. 3.9, б, в), спостерігаємо зону інтенсивної деформації в серединній частині заготовки (зона, зображена жовтим кольором). Знову бачимо явну візуалізацію ковальського хреста.

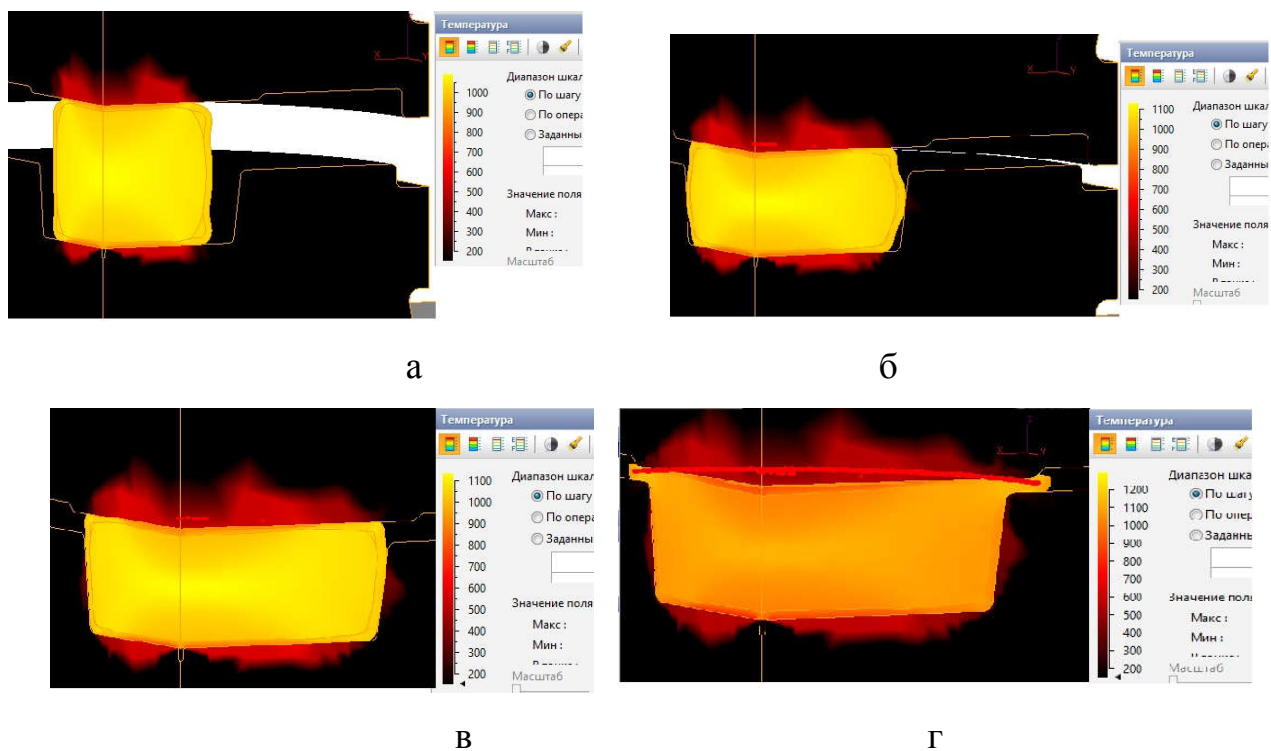


а – 30% деформації; б – 50% деформації; в – 75% деформації; г – 100% деформації

Рисунок 3.9 - Пластична деформація заготовки

Аналіз даних щодо пластичної деформації заготовки показує, що деформація відповідає всім необхідним нормам. Деформація відбувається рівномірно, рівчак штампу заповнюється повністю, дефектів деформації не відбувається.

На рис. 3.10 зображено загальне поле температур на заготовці та інструменті. Аналіз показує, що під час штампування відбувається інтенсивний теплообмін між штампом та деформованою заготовкою. На кінцевому етапі штампування спостерігаємо значне розширення зони зростання температури штапу, що суттєво знижує його довговічність. Виходячи з цього, можна рекомендувати застосовувати охолодження штапкового оснащення після завершення операції.

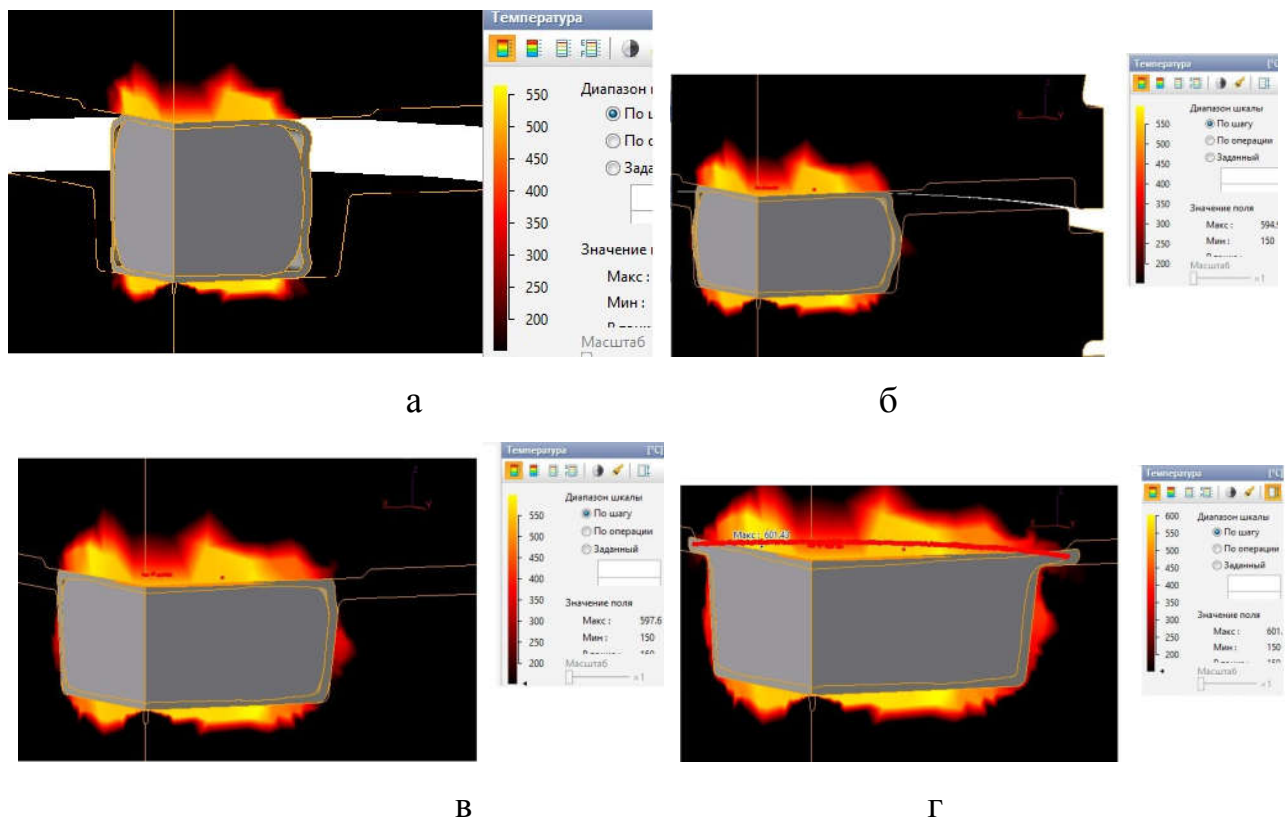


а – 30% деформації; б – 50% деформації; в – 75% деформації; г – 100% деформації

Рисунок 3.10 – Загальне поле температур на заготовці та інструменті

Окрім моделювання процесу штампування диску турбіни, моделювався також деформуючий інструмент. В якості матеріалу штапу було обрано модель матеріалу 5ХНМ, яка є в базі даним програми QForm. Також задавалося позиціонування інструменту – жорстке кріплення на характерних контактних ділянках. Після цього проводився розрахунок щодо температури, напруження та деформації на інструменті.

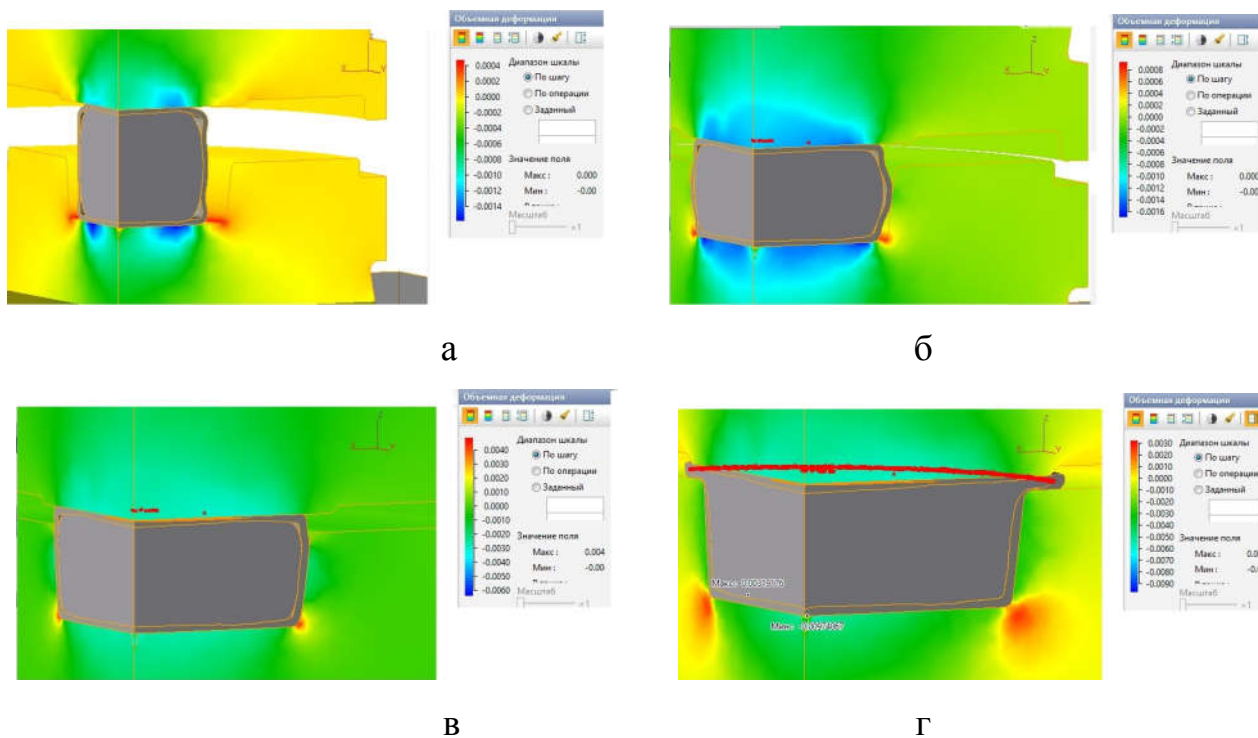
Аналізуючи температурне поле інструменту (рис. 3.11), яке коливається від 200°C до 600°C видно, що деякі зони штампу працюють при критичних температурах, у зв'язку з чим, для підвищення стійкості штампу, після кожної відштампованої деталі необхідно витримувати паузу 40-50 секунд для охолодження штампу.



а – 30% деформації; б – 50% деформації; в – 75% деформації; г – 100% деформації

Рисунок 3.11 - Температурне поле інструменту

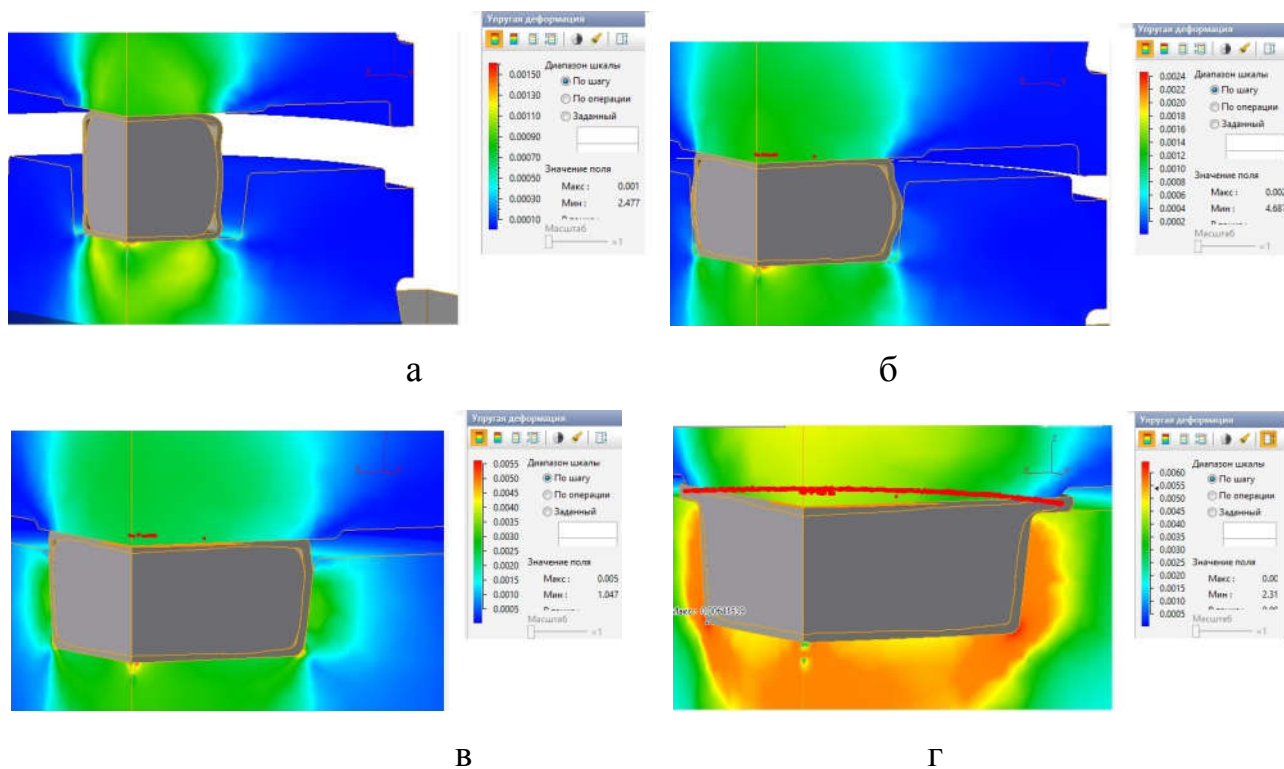
Із аналізу значень середніх напружень на інструменті (рис. 3.12) видно, що на контактній поверхні максимум спостерігається в радіусах закруглень бічних ребер і досягає максимальних значень на заключному етапі деформації 537,87 МПа (мінімум становить -1641,48 МПа). Саме в цих зонах деформації дещо перевищують норми, що може призвести до швидкого зношування цих місць, то ж в процесі роботи необхідно перевіряти ці місця на наявність тріщин або інших руйнувань.



а – 30% деформації; б – 50% деформації; в – 75% деформації; г – 100% деформації

Рисунок 3.12 - Середні напруження на штампі

Аналізуючи пружні деформації штампу (рис. 3.13), бачимо, що деформації розповсюджуються рівномірно в напрямку дії тиску опору металу зі сторони заготовки. Максимальні деформації виникають на заключному етапі процесу деформації і проникають вглиб інструменту.



а – 30% деформації; б – 50% деформації; в – 75% деформації; г – 100% деформації

Рисунок 3.13 - Пружні деформації штампуну

На рис. 3.14 зображено графік залежності роботи деформації в залежності від часу деформації. Із графіка роботи інструменту, бачимо, що для виконання деформації необхідно 1893 кДж. А необхідна потужність становить $23,56 \times 10^6$ Вт (рис. 3.15).

Инструмент 1 - Работа, кДж

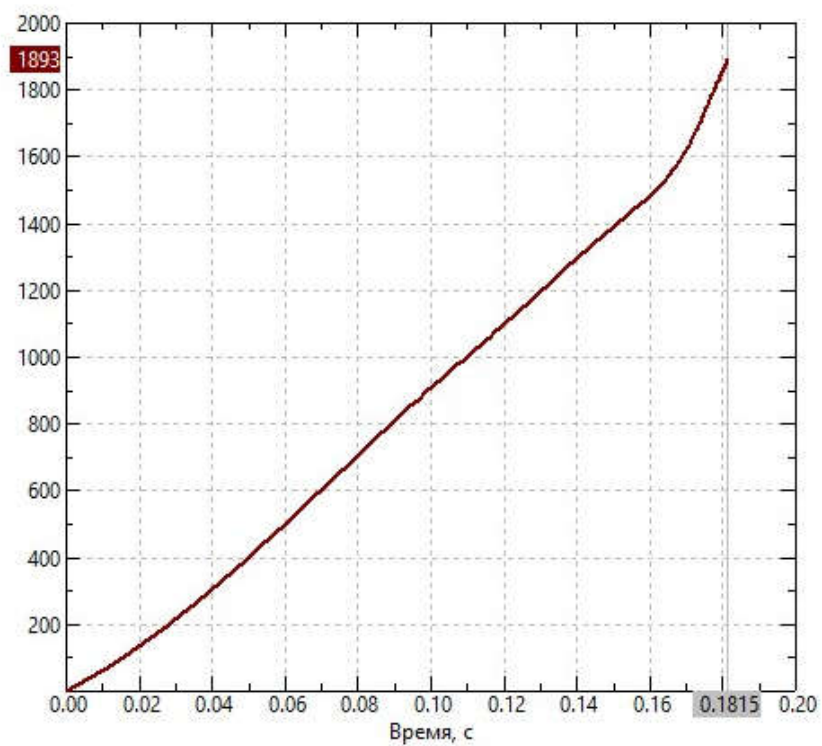


Рисунок 3.14 - Графік роботи інструменту

Инструмент 1 - Мощность, Вт

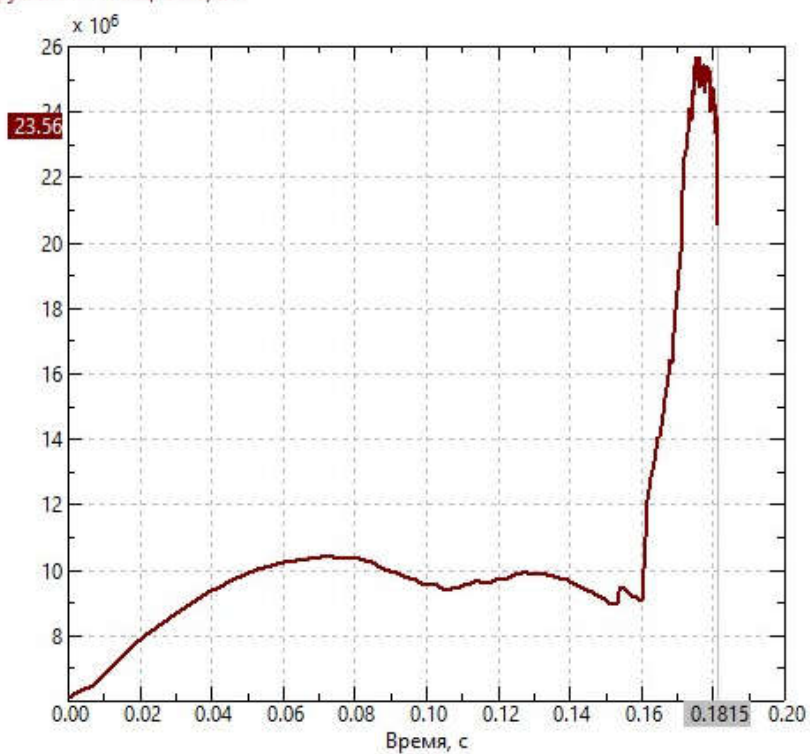


Рисунок 3.15 - Графік потужності

Із графіка залежності зусилля деформації від часу деформації (рис. 3.16) видно, що зусилля повільно зростає до моменту, коли відбувається заповнення кутових радіусів та витікання металу в облойну канавку. В цей момент зусилля різко зростає до 71,8 МН, що характеризується різким зростанням опору деформування та затрудненим плином металу; після цього відбувається поступове зниження зусилля деформування.

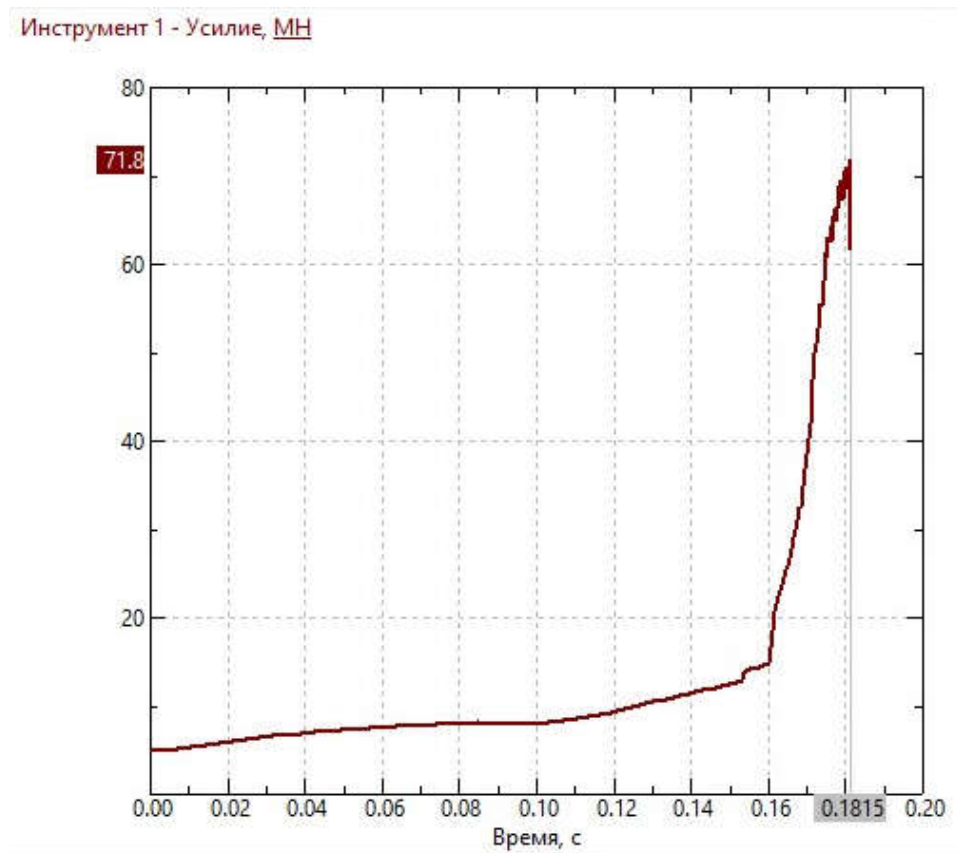


Рисунок 3.16 - Графік зусилля

Аналізуючи графік зусилля, можна зробити висновок, що зусилля обладнання яке на сьогоднішній день є на АТ «Мотор Січ» не достатньо, тому для зниження зусилля деформації необхідно використовувати покриття ТКС-2 або ТКС-2М, та виконувати деформування з недоштампуванням в 3 мм.

Висновки

Моделювання процесу гарячого деформування деталі диску турбіни газотурбінного двигуна в оболонці, показало, що деформація проходить рівномірно, заповнення штампу відбувається повністю, дефектів деформації відсутні.

Але враховуючи значне деформаційне розігрівання заготовки, яке впливає також і на зростання температури штампа, можна рекомендувати провести повторний розрахунок процесу при нижчій початковій температурі заготовки.

Враховуючи температурне поле інструменту, для підвищення стійкості штампу, після кожної відштампованої деталі необхідно витримувати паузу 40-50 секунд для охолодження штампу.

В процесі штампування необхідно перевіряти місця радіусів закруглень бічних ребер на наявність тріщин або інших руйнувань.

Для зниження зусилля деформації рекомендовано використовувати покриття ТКС-2 або ТКС-2М, та виконувати деформування з недоштампуванням в 3 мм.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при розробці технології гарячого штампування.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

1. Незадовільна професійна підготовка фахівців, з причини відсутності фахових знань, не проведення інструктажів з ОП, що може призвести до аварійних ситуацій.

2. Можливість ураження електричним струмом. Внаслідок невиконання правил електробезпеки, появи напруги на неструмоведучих частинах устаткування, що може призвести до електричних травм або летального результату;

3. Можливість отримання механічних травм:

- недосконалість конструктивних рішень кріплення штампів на технологічному устаткуванні, зокрема, ненадійність кріплення штампів і їх вузлів у пресі;

- відсутність надійних огорожень зони деформації;

- порушення правил охорони праці;

- механічні травми внаслідок гострих кромок.

4. Підвищений рівень вібрації, який пов'язаний із специфікою технологічного процесу штампування і може призвести до віброхвороби;

5. Небезпеки, які пов'язані з використанням комп'ютерної техніки в процесі розробки технологічних процесів.

6. Незадовільні параметри повітряного середовища в робочій зоні внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до зниження працездатності та загальних захворювань.

7. Незадовільний рівень освітлення приміщення дослідницької лабораторії.

8. Можливість загорянь, причинами яких є порушення правил пожежної безпеки:

- витік горючих газів;
- коротке замикання.

Що може призвести до пожежі.

4.2 Заходи з забезпечення безпеки

1. До робіт допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, достатні знання за спеціальністю та отримали допуск до виконання робіт.

2. Основними заходами захисту при ураженні електричним струмом мають бути:

Організаційні:

- до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, пройшли навчання і перевірку знань з електробезпеки згідно ДНАОП 1.1.10-1.01 - 2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок - споживачів» і отримали допуск з електробезпеки відповідної групи;
- електроустаткування виробничих ділянок повинно відповідати вимогам НПАОН 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» і іншим чинним нормативним актам;
- експлуатацію і ремонт електроустановок повинен здійснювати спеціально підготовлений персонал;
- для кожного електроспоживаючого устаткування мають бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи. У

електричних схемах мають бути передбачені захисні електроприймачі від перевантажень і коротких замикань;

- усі неізольовані струмопровідні елементи електроустаткування мають бути надійно захищені суцільними обгороджуваннями, зняття або відкриття можливо тільки за допомогою спеціальних пристроїв.
- розташування струмоведучих частин на недоступній висоті. Висота розташування визначається значенням напруги: при напрузі до 1000В - не менше 3,5 м, при напрузі більше 1000В - не менше 6м.

Технічні:

- використання електроізоляції. Стан ізоляції характеризується рівнем електростійкості опору. Встановлено, що опір ізоляції електричних дротів має бути не менше 0,5 м. Одним з найефективніших захисних заходів є подвійна електроізоляція.
- використання електричного блокування. Функції блокуючих облаштувань усунення небезпечних дій людини. Блокування ділиться на:
 - електричне блокування - здійснює розрив ланцюга спеціальними контактами;
 - механічне блокування - розриває ланцюги в механічний спосіб. Вимоги до блокування пристроїв визначені ГОСТ 12.4,155 - 85 «ССБТ. Облаштування захисного відключення. Класифікація. Загальнотехнічні вимоги. »
- облаштування захисного заземлення або занулення - це електричне з'єднання металевих частин устаткування, які не проводять струм, але можуть виявитися під напругою, із землею або із захисним нульовим дротом. Принцип дії захисного заземлення або занулення полягає в зниженні до безпечних значень напруги дотику, яка зумовлена замиканням на корпусі. Електроустаткування необхідно заземляти або «зануляти» відповідно до ПУЕ - 2015 «Правила облаштування електроустановок».

- електричне розділення мережі на окремі електрино незв'язані між собою ділянки.
- включення джерел живлення технологічного устаткування здійснюється тільки через рубильник.

3. Для попередження механічних травм передбачено згідно НПАУП № «Правила з охорони праці при горячому штампуванні»

Організаційні:

- обов'язково виконувати «Положення про навчання та перевірку знань з питань охорони праці», зокрема проведення усіх передбачених інструктажів.

Технічні

- кріплення штампів для пресу можливо за допомогою болтів, прихватних плит або хвостовиків. Кріплення має бути надійним. Кількість елементів для кріплення визначається масою штампів і зусиллям при його роботі. При кріпленні верхньої частини штампів через хвостовик, його стан має забезпечувати надійність кріплення штампів. Перекіс направляючих втулок в колонках недопустимий.
- для безпечного подання і видалення заготовок зі штампів мають бути передбачені технологічні отвори для зручного користування пінцетом або кліщами. При неможливості виконання цих вимог має бути передбачене використання захисних огорожень, функціями яких мають бути: унеможливлення потрапляння рук працюючого в небезпечну зону, виключення травмування працюючого самою захисною огорожею. Конструкція огороження повинна давати можливість безпечного обслуговування штампів.
- при неможливості використання захисних пристроїв дворучне управління пресом є обов'язковим. Для автоматичної зупинки роботи пресу у разі відхилення від нормального режиму (заклинювання пуансона, попадання в зону штампування сторонніх об'єктів,

подвійний удар) передбачені запобіжні пристрої. До таких пристроїв відносяться:

- обмежувачі ходу, упори, кінцеві вимикачі, гальмівні пристрої;
- елементи конструкції устаткування типу «слабка ланка», зокрема, штифти, що зрізують, шпонки, фрикційних муфти, запобіжники;
- блокуючі пристрої, які можуть бути механічними, електромеханічними, фотоелектричними;
- сигналізуючі пристрої, які надають інформацію про виконання процесу або у разі прояву відхилень вказують на місце їх прояву. Такі пристрої зазвичай є частиною електричних схем ланцюгів управління устаткуванням.

Одними з поширених випадків порушень є розміщення в одномісній матриці двох заготівель одночасно, спроба коригувати положення заготівлі в матриці під час опускання пуансона, штучне блокування запобіжних пристроїв.

4. При розробці технології горячого штампування найбільш виникають небезпеки які пов'язані з можливістю отримання механічних травм (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Технологія виготовлення деталі

№ з/п	Назва операції	Опис операції	Примітка
1	2	3	4
1	Відрізка	Відрізка заготовки необхідних розмірів	
2	Контроль	Перевірка на відповідність нормативним документам	
3	Підготовка	Підготовка до роботи інструменту та обладнання	
4	Нанесення мастильного покриття	Покриття ЄВТ-100 або ТКС-2	

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
5	Нагрівання	-//-	
6	Штампуння	-//-	
7	Обрізка облою	-//-	
8	Охолодження	Охолодження проводиться на повітрі	
9	Очищення	Відштампована заготовка очищується від залишків мастила та окалини	
10	Контроль	Перевірка на відповідність нормативним документам	
11	Зачистка	Зачищаються виявлені дефекти	
12	Контроль	Повторна перевірка на відповідність нормативним документам	
13	Транспортування	Транспортування деталей на подальшу обробку	

4.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи по забезпеченню виробничої санітарії і гігієни праці відповідають вимогам ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечних факторів виробничого середовища».

У відповідності ДСанПІН 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів» за наявності шкідливих виробничих чинників клас виробництва встановлюємо як четвертий.

Метеорологічні умови в робочому приміщенні цеху по ГОСТ 12.1.005- 88 (1991) «Загальних санітарно-гігієнічних вимог до повітря робочої зони» приведені в табл.4.2.

Таблиця 4.2 - Метеорологічні умови в робочому приміщенні цеху

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с
Холодний	18-22	40-60	0,1 -0,3
Теплий	20-23	40-60	0,1 -0,4

В приміщеннях, де немає викидів шкідливих речовин у великій кількості, для забезпечення зазначених параметрів, в теплий період року, передбачено встановлення штучної механічної загальної обмінної вентиляції або кондиціонування, а в холодний період року встановлення систем водяного або електричного опалення, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Для підтримки необхідної температури повітря і компенсації втрат в холодну пору року проектом передбачається облаштування системи опалювання, поєднаної з припливною вентиляцією.

Допустимі норми температури, вологості і швидкості руху повітря на робочому місці згідно ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень» приведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Допустимі норми температури, вологості і швидкості руху повітря на робочому місці

Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість	Швидкість повітря, м/с	Температура повітря на робочому місці
Середньої тяжкості	17-23	75	0,1-0,3	13-24

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за №472/25249, ДСанПІН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Заходи і засоби захисту від вібрації відповідають вимогам ГОСТ 12.1.012-90 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги», і ДСН 3.3.6.039-99 «Державних норм виробничої загальної і локальної вібрації».

Згідно ГОСТ 12.1.012-90 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги», методи віброзахисту за організаційними ознаками діляться на колективні і індивідуальні.

Колективні методи віброзахисту передбачають такі заходи:

- зменшення вібрації в джерелах її виникнення - усі деталі верстатів і агрегатів, що рухаються, ретельно урівноважені, а для зменшення динамічних сил, які створюють вібрації, деталі змащуються;

- зменшення параметрів вібрації на шляхах її поширення від джерела збудження;
- організаційно-технічний планово-запобіжний ремонт і контроль за вібраційними параметрами;
- гігієнічні і лікувально-профілактичні.

Для досягнення нормованого рівня освітленості робочих місць та робочих зон у дослідницькій лабораторії, в якій у ДБН В.2.5-28-2016 «Інженерне обладнання будинків і споруд (природне і штучне освітлення)» визначається як не менш 200 люкс. Для забезпечення такого рівня доцільно використовувати природне та штучне освітлення. В якості джерел штучного освітлення доцільно використовувати світлодіодні та люмінесцентні лампи.

Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення приміщення дослідницької лабораторії методом світлового потоку (рис. 4.1).

Метод базується на розрахунку світлового потоку від джерела освітлення:

де E_n - нормативне значення освітлення - 200 лк;

S - площа 20 м²;

k_z - коефіцієнт запасу, який характеризується зношенням ламп — приймаємо 1,4;

z - коефіцієнт мінімальної освітленості, який залежить від обраного типу джерела освітлення, для люмінесцентних ламп — приймаємо 1,1;

n - коефіцієнт який характеризує ступінь відбиття світла від поверхонь приміщень, за умови використання люмінесцентних ламп потужністю 40 Вт; обираємо світильник типу НСП, при цьому індекс приміщення є 0,8, тому коефіцієнт $n = 0,44$.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 * 20 * 1,4 * 1,1}{0,44} = 14000 \text{ лм}$$

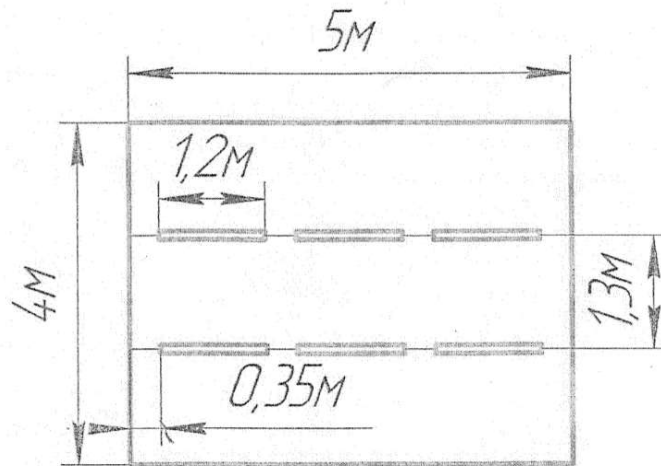


Рисунок 4.1 - Схема розміщення ламп в дослідницькій лабораторії

За умови світловіддачі від однієї лампи ЛД – $40 \text{ Вт} = 250 \text{ лм}$, тому потрібна кількість ламп буде 6.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A 1:2004, IDT) у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів

А (що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки — простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро) обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості. У разі виникнення пожежі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого - вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітлені мережі приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту ізоляції обладнання ГР44 яка відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ передбачені наступні протипожежні заходи: на силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ», встановлені

захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВКб». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника - ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

4.5 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

На території проектного цеху повною мірою забезпечений захист персоналу від дії електромагнітних полів згідно ГСанПиН 3.3.6-096-2002 «Державних санітарних норми при роботі з джерелами електромагнітних полів», ДСН 476-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів». Засоби захисту використовуються при

усіх видах робіт згідно ГСанПиН 3.3.6-096-2002 з дотриманням усіх норм і правил.

Захист персоналу досягається шляхом проведення організаційних, інженерно-технічних заходів, а також використанням індивідуальних засобів захисту.

До організаційних заходів відносяться: призначення режимів роботи установок, зменшення місць і часу перебування персоналу в зоні випромінювання та ін. До інженерно-технічних заходів відноситься: раціональне розміщення устаткування, використання засобів які обмежують рівень випромінювання на робочому місці (поглинаючі матеріали, екрани). До засобів індивідуального захисту відносимо захисні окуляри, щитки, шоломи, захисний одяг (комбінезони, халати, окуляри з вмістом металу).

Спосіб захисту у кожному конкретному випадку визначається з урахуванням робочого діапазону частот, характеру роботи, необхідного рівня захисту.

Рівень електромагнітних полів контролюється і визначається перепадом потенціалів на робочому місці. Різниця в перепадах зон, які контролюються встановлюється 1 кВ/м (для магнітного поля частотою 50 Гц).

Рівень напруженості магнітного поля частотою 50 Гц при постійній дії не повинен перевищувати 1,4 кА/м упродовж робочого дня (8 годин).

Час перебування людини в магнітному полі напруженість більше 1,4 кА/м регламентується відповідно до ГСанПиН 3.3.6-096-2002 «Державних санітарних норми при роботі з джерелами електромагнітних полів» і показаний в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Державні санітарні норми при роботі з джерелами електромагнітних полів

Час прибуття персоналу, година	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, к А/м	6,0	4,9	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

Для виміру в діапазоні частот 300 МГц...300 ГГц використовуються прилади, призначені для визначення середніх значень щільності потоку енергії, з погрішністю 40% в діапазоні частот 300 МГц...2 ГГц і 30% в діапазоні частот понад 2 ГГц.

Відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю» виміру напруженості і щільності потоку енергії ЕМП проводяться не рідше за один раз в рік, а також в наступних випадках:

- при введенні в дію нових установок;
- при внесенні змін до конструкції, розміщення і режиму роботи діючих установок;
- у час і після проведення ремонтних робіт, які супроводжуються зміною випромінюваної потужності;
- при внесенні змін до засобів захисту від ЕМП;
- при організації нових робочих місць.

Виміру напруженості або щільності потоку енергії ЕМП допускається не проводити у випадках, якщо установка не працює в режимі випромінювання на відкритий хвилевід, антену або інший елемент, призначений для

випромінювання ЕМП в довкілля, і її нормальна потужність згідно з паспортними даними не перевищує:

- 2,5 Вт - в діапазоні частот від 60 кГц до 3 МГц;
- 400 мВт - в діапазоні частот понад 3 МГц до 30 МГц;
- 100 мВт - в діапазоні частот понад 30 МГц до 300 ГГц.

Таким чином, основними заходами з охорони праці є:

- заходи по забезпеченню техніки безпеки;
- заходи по забезпеченню виробничої санітарії і гігієни праці;
- заходи по пожежній безпеці;
- заходи по забезпеченню безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

1. У роботі проаналізовано та відпрацьовано в програмі QForm VX технологічний процес виготовлення деталі в оболонці, проведено аналіз температурних полів заготовки та інструменту, проаналізовано рівень пластичної деформації заготовки, її середні напруження. Також проведено аналіз об'ємних деформацій інструменту та його середні напруження, вивчено температурне поле інструменту.

2. Надано рекомендації щодо розробки удосконаленого процесу гарячого штампування деталі диска турбіни газотурбінного двигуна:

- зниження температури початку деформації до 950°C;
- витримка паузи в 40-50 секунд між штампуванням заготовок для охолодження штампугу;
- в процесі штампування необхідно перевіряти місця радіусів закруглень бічних ребер на наявність тріщин або інших руйнувань;
- для зниження зусилля деформації рекомендовано використовувати покриття ТКС-2 або ТКС-2М, та виконувати деформування з недоштампуванням в 3 мм.

3. Проведена теоретична робота підтверджує можливість виготовлення деталі в умовах АТ «Мотор Січ».

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Непершин Р.І. Расчет усилия при высокоскоростном выдавливании / Ю. Г. Непершын, В.И. Даценко // кузнечно штамповочное производство.- 1972.-№2. С.1-4.
2. Перлин, И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин.- М.: Металлургия, 1957.-449 с.
3. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общей ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989 г. – 640 с.
4. Ковка и объёмная штамповка стали. Справочник в двух томах. Коллектив авторов. Под редакцией директора технических наук М.В. Сторожева. Том 2. Издание 2-е, переработано. М., Машиностроение, 1967-448с.
5. Брюханов А.Н. Ковка и объёмная штамповка. Учебное пособие для машиностроительных вузов. Издание 2-е, переработано и дополнено. М., «Машиностроение», 1975–407с.
6. Фиглин С.З., Бойцов В.В., Калпин Ю.Г., Каплин Ю.И. Изотермическое деформирование металлов. - М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.
7. Нестеров В.С., Кривов Н.А., Кропинов В.Е. Опыт штамповки деталей из алюминиевых и магниевых сплавов в изотермических условиях. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1977. - № 5. - с. 26-27.
8. РТМ 1.4.1644-86. Изотермическая объёмная штамповка алюминиевых и магниевых сплавов. - М.: НИАТ, 1987. - 134 с.
9. Петров П.А. Построение «изотермической» кривой текучести алюминиевого сплава В95. // Обработка материалов давлением. // Сборник научных трудов. №2 (23), 2010. Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия, стр. 88-93.

10. Могучий, Л.Н. Механика пластических деформаций / Л.Н. Могучий, С.И. Губкин — М.: Металлургия, 1951.-321 с.
11. Ковка и штамповка: Справочник. в 4-х томах / Ред. Сонет: Е.И. Семёнов (пред.) и др.- М: Машиностроение, 1985 - Т.1. Материалы и нагрев оборудования. Оборудование. Ковка / Под редакцией Е.И. Семёнова. 1985. 568с., ил.
12. Ковка и штамповка: Справочник. в 4-х томах / Ред. Сонет: Е.И. Семёнов (пред.) и др.- М: Машиностроение, 1985 - Т.2. Горячая штамповка. Ковка / Под редакцией Е.И.Семёнова. 1985. 592 с., ил.
13. ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные допуски, припуски и кузнечные напуски»
14. Атаманюк В.Г. Гражданская оборона.- М.: Высшая школа, 1987,-288с.
15. Методичні вказівки до дипломного проектування з розділу „Охорона праці”. Укладачі: В.І. Шмирко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 – 28 с
16. Васильев Д.И., Тылкин М.А. Основы проектирования деформирующего инструмента: Учебное пособие для металлургических и машиностроительных специализированных вузов. - М.: Высшая школа. 1984–223с.
17. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.-560 с.
18. Мансуров А.Я. Технология горячей штамповки. М.: Металлургия, 1979, №3, с 67-72.
19. Сторожев М.В., Попов Е.А Теория обработки металлов давлением. М.:Машиностроение.1977 г.-424с.
20. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. М.: Машиностроение, 1976г. - 560с.
21. Богуслаев, В.А. Технология производства авиационных двигателей / В.А. Богуслаев, А.Я. Качан, В.Ф. Мозговой, Е.Я. Корневский – Запорожье: Изд. ОАО «Мотор Сич», 2004. – 945 с.

22. Демин, Ф.И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей / Ф.И. Демин, Н.Д. Проничев, И.Л. Шитарев; под общ. ред. проф. Ф.И. Демина. – 2-е изд. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 321 с.

23. Богуслаев, В.А. Точная горячая штамповка деталей ГТД / В.А. Богуслаев, Ю.С. Кресанов, А.Я. Качан, В.В. Ключихин и др.- Запорожье. – 2017.- 563 с.

24. Терещенко Ю.М. Теория авиационных газотурбинных двигателей: учебник для студ. вузов III-IV уровней аккредитации по направлению “Авиация и космонавтика” Ю. М. Терещенко, Л. Г. Волянська, Н. С. Кулик, В. В. Панин; под. ред. Ю. М. Терещенко: Национальный авиационный университет. Киев: НАУ, 2005, 498 с

25. Богуслаев В. А. и др. Изготовление деталей газотурбинных двигателей из титановых сплавов / В. О. Богуслаев, А. И. Долматов, В. С. Кривцов. - Запорожье: Мотор Сич, 1997. - 290 с.

26. Кузнецов Д. П. Технология изготовления полугорячим выдавливанием полостей деталей штампов и пресс форм/ Д. П. Кузнецов, Б. П. Рудаков, В. А. Кудрявцев. - Ленинград: ЛДНТП, 1982. - 32 с.

27. Тетерин Г.П. Основы оптимизации и автоматизации проектировки технологических процессов горячей объёмной штамповки, П. И. Полухин. - М.: Машиностроение, 1979. - 284 с.

28. Богоявленский К.М. Изготовление деталей пластическим деформированием/ под ред. К.М. Богоявленского, П.В. Камнева. - Л. : Машиностроение, 1975.- 426 с.

29. Кутыкова, А.С. Исследование процесса прямого выдавливания титанового сплава в программном пакете QForm 2D/3D [Текст] / А.С. Кутыкова. – Рыбинск.

30. QForm 2D/3D. Программа моделирования объёмной штамповки. Руководство пользователя 3D моделирование. – ООО «КванторФорм». – 1991-2008.

31. Вакалов А.А. Применение компьютерного моделирования при разработке процессов горячей штамповки поковок лопаток / А.А. Вакалов // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. – 2012. - №1. – С. 36-41.

32. Биба Н.В. QForm – универсальная и эффективная программа для моделированияковки и штамповки / Н.В. Биба, С.А. Стебунов, Ю.А. Гладков и др. // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. – 2011. - №1. – С. 36-42.

33. Осипенникова О.Г. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением / О.Г. Осипенникова, М.В. Бубнов, Д.В. Капитаненко // Сб. «Авиационные материалы и технологии» - М.: ВИВМ. – 2012. – С. 141-147.