

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний
 (повне найменування інституту, назва факультету)
Обробка Металів Тиском
 (повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

Магістр
 (рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Вдосконалення технології виробництва
вертольотів газотурбінних двигунів типу конок

Виконав: студент VI курсу, групи M-813
 спеціальності (напряму підготовки)
131 Трирічна механіка
 (код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Котівський Т.С.
 (прізвище та ініціали)
 Керівник Лубина В.І.
 (прізвище та ініціали)
 Рецензент Лубина В.І.
 (прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
 2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вишого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Обробки Металів Тиском
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
 Спеціальність 6.050202 „Обладнання та технології пластичного
(код і назва) формує. констр. машинобудування
 Напрямок підготовки Інженерна механіка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“18” грудня 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Коноваленко Тетяни Серіївни
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Темароботи „Вдосконалення технології виробництва виробів газотурбінних двигунів типу лопаток”

керівник роботи Дубина В.І. к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вишого навчального закладу від “ ” 20 року №

2. Строк подання студентом роботи 19.12.2018

3. Вихідні дані до роботи креслення заготовки лопатки компресора, виготовленої виготовленням та штампового оснащення для її виготовлення; звіт з магістерського стажування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 1. Вступ. 1.1. Оглядіснуючих технологій виробництва виробів газотурбінних двигунів типу лопаток. 1.2. Призначення лопаток та способи їхнього отримання. 1.3. Конструкція, технічні вимоги та матеріали. Види лопаток. Галузь їхнього застосування. 1.4. Заготовки деталей авіаційних двигунів. 1.5. Фактори, що впливають на точність поковок. 1.6. Матеріал лопаток. 1.7. Способи виготовлення лопаток. Нові напрямки виготовлення. Висновки. 2. Постановка задачі з Моделювання. 3. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Ванке.
 5. Презентаційний матеріал додається.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прийняв виконане завдання
Розділ 1	Бень А. М.		
Розділ 2	Бень А. М.		
Розділ 3	Бень А. М.		
Розділ 4	Нестеров О. В.		
Нормконтр	Матюхін А. Ю.		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2018 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Для існуючих технологій виробництва виробів газотурбінних двигунів типу Локсетт. Висновки	11.09.2018 12.09.2018	
2	Постановка задачі.	13.10.2018	
3	Моделювання процесу деформування деталі методом гарячого віддавлювання	15.11.2018	
4	Діагностика праці та безпека у НС. Висновки	15.12.2018 16.12.2018	
	Оформлення роботи	18.12.2018	
	Термін представлення закінченої роботи до переламу на кафедрі.	19.12.2018	

Студент

(підпис)

Тр. Коноваленко
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ.: 101 с., рис.58, табл.3, джерела 48.

Об'єкт дослідження – технологія виробництва лопаток компресора газотурбінних двигунів та шляхи її удосконалення.

Мета – вдосконалення технології виробництва заготовок компресорних лопаток авіаційних двигунів методом гарячого видавлювання; вибір раціональної форми вихідної заготовки для усунення дефектів у вигляді закову та покращення умов плинності матеріалу.

В роботі проведено аналіз існуючих методів виробництва лопаток компресора, проаналізована технологія виробництва лопатки методом гарячого видавлювання, спроектована лопатка компресора та штампове оснащення (дві напівматриці та пуансон), спроектовано процес видавлювання заготовки компресорної лопатки із вихідних заготовок із плоским торцем, сферичним торцем та фаскою на торцевій поверхні. Виявлені температурні, деформаційні та динамічні фактори, що виникають при видавлюванні кожної із трьох заготовок.

МАТРИЦЯ, ПУАНСОН, ВИДАВЛЮВАННЯ, ЗАГОТОВКА, ДЕФОРМУВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ШТАМПОВЕ ОСНАЩЕННЯ, ПРЕС, ЛОПАТКА, КОМПРЕСОР, ДЕФЕКТИ, ДВИГУН, ГРАФІК ЗУСИЛЛЯ

РЕФЕРАТ

ПЗ.: 101 с., рис.58, табл.3, джерела 48.

Объект исследования - технология производства лопаток компрессора газотурбинных двигателей и пути ее совершенствования. Цель - совершенствование технологии производства заготовок компрессорных лопаток авиационных двигателей методом горячего выдавливания; выбор рациональной формы исходной заготовки для устранения дефектов в виде заковы и улучшения условий течения материала.

В работе проведен анализ существующих методов производства лопаток компрессора, проанализирована технология производства лопатки методом горячего выдавливания, спроектирована лопатка компрессора и штамповая оснастка (две полуматрицы и пуансон), спроектировано процесс выдавливания заготовки компрессорной лопатки из исходных заготовок с плоским торцом, сферическим торцом и фаской на торцевой поверхности. Обнаруженные температурные, деформационные и динамические факторы, возникающие при выдавливании каждой из трех заготовок.

МАТРИЦА, ПУАНСОН, ВЫДАВЛИВАНИЕ, ЗАГОТОВКА, ДЕФОРМИРОВАНИЕ, ТЕМПЕРАТУРА, ШТАМПОВАЯ ОСНАСТКА, ПРЕСС, ЛОПАТКИ, КОМПРЕССОР, ДЕФЕКТЫ, ДВИГАТЕЛЬ, ГРАФИК УСИЛИЯ

ABSTRACT

EN.: 101 p., fig.58, tab.3, sources 48.

The object of study is the technology of production of compressor blades for gas turbine engines and ways to improve it. The goal is to improve the production technology of compressor blades for aircraft engines using hot extrusion; the choice of a rational form of the original billet to eliminate defects in the form of shackles and improve the flow conditions of the material.

The paper analyzes the existing methods of manufacturing compressor blades, analyzes the technology of blade production using hot extrusion, has designed a compressor blade and die tooling (two semi-metric and a punch), designed a process of extruding a compressor blade blank from the original blanks with a flat end, spherical face and face on surface. The detected temperature, deformation and dynamic factors that occur when extruding each of the three blanks.

MATRIX, PUNCHANT, EXTRACTING, PREPARATION,
DEFORMATION, TEMPERATURE, STAMPING EQUIPMENT, PRESS,
SHOVELS, COMPRESSOR, DEFECTS, ENGINE, EFFORT GRAPH

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	9
Вступ.....	10
1. Огляд існуючих технологій виробництва виробів газотурбінних двигунів типу лопаток.....	13
1.1 Призначення лопаток та способи їхнього отримання.....	13
1.2. Конструкція, технічні вимоги і матеріали. Види лопаток. Галузь їхнього застосування.....	15
1.3 Заготовки деталей авіаційних двигунів.....	23
1.4 Фактори, що впливають на точність поковок.....	24
1.5. Матеріал лопаток.....	25
1.6 Способи виготовлення лопаток. Нові напрямки виготовлення. Аналіз існуючих методів виготовлення.....	28
Висновки.....	38
2 Постановка задачі.....	41
2.1 Методика проведення досліджень.....	41
2.2 Особливості технологічного процесу виробництва лопаток методом гарячого видавлювання.....	44
2.3 Проектування тривимірної моделі інструменту.....	48
2.4 Імпорт моделі в QForm.....	51
3. Моделювання процесу деформування деталі методом гарячого видавлювання в QForm.....	54

3.1. Моделювання процесу деформації заготовки із плоским торцем	54
3.2. Моделювання процесу деформації заготовки з фаскою на торцевій поверхні	65
3.3 Моделювання процесу деформації заготовки зі сферичним торцем	75
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	79
4.1 Аналіз потенційних небезпек	79
4.2 Заходи забезпечення техніки безпеки	81
4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.	85
4.4 Заходи з пожежної безпеки	87
4.5 Заходи з правил поведінки в надзвичайних ситуаціях	89
Висновки	96
Список використаної літератури	98

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГТД - газотурбінний двигун;

ККД - коефіцієнт корисної дії;

ГКМ - горизонтально-кувальна машина;

КВМ - коефіцієнт використання мелалу;

ІЗШ - ізотермічне штампування;

КГШП - кривошипний гаряче штампувальний прес;

НПД - надпластичне деформування;

ПК - персональний комп'ютер;

ЕКГ – електрокардіографія;

КПО - коефіцієнт природньої освітленості;

ВДТ - відеодисплейний термінал;

ЦЗ - цивільний захист;

НС - надзвичайні ситуації;

СДОР - сильнодіючі отруйні речовини

ВСТУП

Основними елементами газотурбінного двигуна є компресор, камера згоряння, газова турбіна (ці три елементи утворюють газогенератор або модуль газогенератора), форсажна камера і вихідний пристрій.

Компресор газотурбінного двигуна призначений для підвищення тиску повітря і подачі його в камеру згоряння з найменшими втратами. Залежно від основного напрямку руху повітря в процесі стиснення компресори, які використовуються в сучасних авіаційних ГТД, поділяються на осьові, відцентрові, осецентробіжні і діагональні.

Осьовий компресор складається з обертового ротора і нерухомого статора. Ротор має кілька рядів робочих лопаток, розташованих на диску або барабані. Один ряд цих лопаток утворює лопатковий вінець робочого колеса. Статор компресора також має кілька рядів лопаток, що називаються направляючими апаратами. Перед лопатковим вінцем робочого колеса першого ступеня осьового компресора може бути встановлений вхідний направляючий апарат [1].

Повітря, що проходить через компресор, при обертанні ротора передається додаткова енергія, що збільшує кінетичну і потенційну енергію повітря в лопаткових вінцях робочих коліс. Кінетична енергія повітря в напрямних апаратах осьового компресора частково перетворюється в потенційну енергію стисненого повітря. У відцентровому компресорі основний напрямок повітря при стисненні - радіальний. Він складається з вхідного пристрою, відцентрового робочого колеса, дифузора і вихідного пристрою [1].

При обертанні робочого колеса повітря, що проходить між лопатками, стискається під дією відцентрових сил. У дифузори за робочим колесом відбувається часткове перетворення кінетичної енергії повітря в роботу стиснення. Осецентробіжний компресор складається з осьового і

центробіжного компресорів, розташованих послідовно. Використання таких компресорів в малорозмірних авіаційних двигунах дає можливість істотно поліпшити їхні характеристики завдяки зниженню гідравлічних втрат в останніх ступенях. Діагональні компресори по організації процесу стиснення повітря займають проміжне місце між осьовими і відцентровими компресорами [1].

Першими лопатковими машинами можна вважати закріплені на осях лопасті повітряних або водяних коліс перших млинів. Саме вони і є прототипами сучасних лопаткових апаратів. Згадки про пристрої, що приводяться в обертання потоком, що впливав на них, виявляються в документах часів Стародавнього Риму. Герон Олександрійський, який жив в I столітті н. е., виготовив так званий еоліпіл, механізм, що нагадує своєю конструкцією парову турбіну. Але особливого поширення він не отримав і в основному застосовувався в конструкціях всіляких механічних іграшок. Згодом про еоліпіл взагалі забули [2].

Одним з перших лопаточну машину випробував у дії найбільший з винахідників античності - Архімед Сіракузький. Його підйомний шнек, згодом названий «архімедовим гвинтом», використовується вже третє тисячоліття в пристроях різного призначення (рис.1).

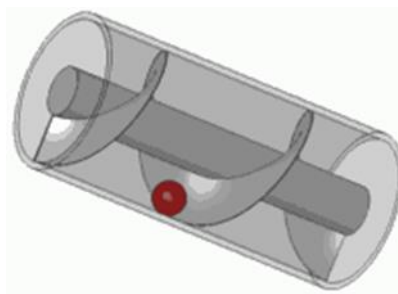


Рисунок 1 – Гвинт Архімеда

Європейська, арабська, китайська та багато інших цивілізацій також використовували різного роду водопідіймальні машини (норії), водяні і вітряні млини. У XIX столітті вчені стали узагальнювати досвід використання дисків з лопатками і лопастями, аналізувати його і намагалися класифікувати. Російський академік Леонард Ейлер, спираючись на роботи Леонардо да Вінчі, Бернуллі, Ньютона, Лейбніца і багатьох інших, заклав основи теорії лопаткових машин, виділив самостійну дисципліну, яка описувала основні гідро- пневмомеханічні схеми роботи лопаткових апаратів.

Незважаючи на те, що з теорії і конструкції лопаток машин, використовуваних як в газовому, так і в рідкому середовищі, написана величезна кількість праць, дослідження цієї області техніки досі тривають [2].

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ВИРОБІВ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ТИПУ ЛОПАТОК

1.1 Призначення лопаток та способи їхнього отримання

Компресорні лопатки нагнітальних машин при роботі піддаються значним тепловим та динамічним навантаженням, а також схильні до значної корозії, що в значній мірі впливає на довговічність і надійність роботи системи газотурбінного двигуна. Тому вимоги до виготовлення лопаток компресора досить високі. Щоб забезпечити достатню міцність і стійкість до навантажень їх виготовляють з титанових, жароміцних або біметалевих сплавів [3].

Призначення лопаток компресорів - зміна початкових параметрів газового потоку і перетворення кінетичної енергії ротора в потенційну енергію стисненого газу. Форма, розміри і способи закріплення на роторі лопаток компресорів не особливо відрізняються від лопаток турбін (рис. 1.1). У компресорі при однакових витратах газ стискається, його об'єм зменшується, а тиск зростає, тому на першій ступені компресора довжина лопаток більша, ніж на останній.

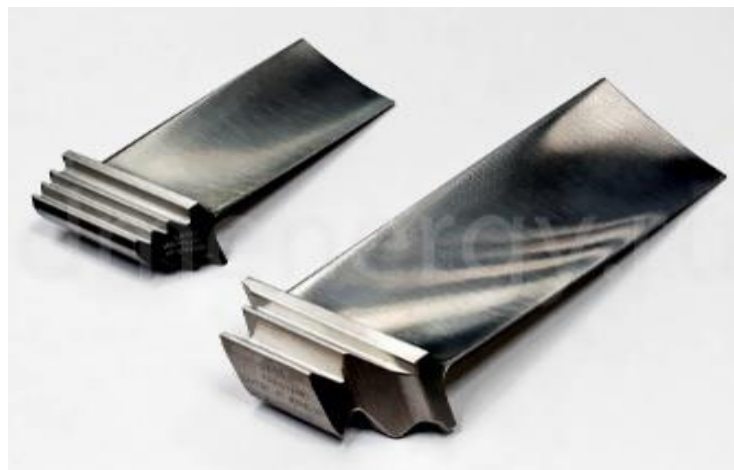


Рисунок 1.1. – Лопатки компресора

Існує маса методів виготовлення компресорних лопаток - методом гарячого об'ємного штампування, точного об'ємного гарячого штампування, фрезування, волочіння, методом прокатування заготовок (гаряче вальцювання, періодичне прокатування), методом ізотермічного штампування, методом видавлювання і т.д.

В процесі формоутворення пера лопатки методами пластичного деформування важливою задачею є забезпечення точності геометричних розмірів пера та параметрів його поверхневого шару, оскільки вони в умовах експлуатації двигуна визначають ресурс та надійність деталей виробу в цілому.

Метод гарячого видавлювання заготовок компресорних лопаток дозволяє усунути суттєву кількість недоліків процесу виробництва та отримати якісні заготовки, при цьому значно підвищується якість деталей завдяки сприятливому поєднанню структури та механічних властивостей, а також зниженню трудомісткості виготовлення лопаток. Окрім цього значно збільшується коефіцієнт використання металу.

Метод видавлювання використовується для отримання точних заготовок лопаток довжиною до 150 мм з титанових сплавів і жароміцних сталей.

Раціональні межі застосування заготівельних технологічних процесів вибираються з урахуванням собівартості, фізико-механічних і технологічних властивостей матеріалів, технології подальшої обробки та багатьох інших факторів.

Проблема пошуку методів підвищення довговічності і надійності роботи газотурбінного двигуна за рахунок покращення технологій виробництва лопаток компресора є актуальною [3].

1.2. Конструкція, технічні вимоги і матеріали. Види лопаток. Галузь їхнього застосування

Робочі (обертові), направляючі, спрямляючі і соплові (нерухомі) лопатки ГТД можуть бути суцільними, з каналами охолодження і порожнистими. Залежно від призначення і умов роботи лопатки виготовляють гарячим штампуванням, пресуванням, видавлюванням, прокаткою, вальцюванням з заготовок, отриманих методом спрямованої кристалізації або монокристалізації металу при литті, методом зварювання і пайки, а також з композитних матеріалів.

Основними конструктивними елементами лопаток є: замкова частина; перо лопатки; бандажні полиці. Кріпильним елементом у лопаток є замкова частина, поверхні якої є конструкторськими і визначають положення лопаток в складальній одиниці. Робочі лопатки компресорної групи виконуються трапецеподібні (типу хвоста) або у вигляді вильчатого замку. У робочих лопаток турбіни замкова частина виконується у вигляді ялинкового замку, який забезпечує необхідні показники міцності і точності з'єднання лопаток з диском.

Залежно від призначення лопатки компресора газотурбінних двигунів діляться на лопатки ротора компресора і лопатки статора компресора. Вони виготовляються в основному з титанових сплавів, високолегованих сталей, а також жароміцних сплавів. Довжина лопаток на різних двигунах знаходиться в межах від 15 до 1000 мм.

Основними конструктивними елементами, що впливають на технологію виготовлення лопаток, є: габаритні розміри, наявність однієї або двох полиць, форма хвостової частини, форма пера (закрутка), товщина крайок, величина і сталість радіусів їх заокруглення вздовж кромки, величина радіусів сполучення профільної частини пера з полицею, форма

трактової поверхні полки, форма елементів осьової фіксації хвостової частини, задана точність виготовлення цих елементів.

Трудомісткість виготовлення комплекту лопаток на двигун становить понад 20% від загальної трудомісткості двигуна. Це пов'язано з великим обсягом механічної обробки, з ручним доведенням при отриманні профілю пера.

Підвищенню технологічності конструкції лопаток і створення типових прогресивних технологічних процесів їхнього виготовлення сприяють уніфікація і нормалізація конструктивних елементів, обгрунтоване призначення допусків на відхилення при їхньому виготовленні і вибір матеріалу з урахуванням його оброблюваності [4].

Технологічність конструкції лопаток визначається сукупністю властивостей їхніх конструктивних елементів, які забезпечують їхнє виготовлення за найбільш прогресивною технологією в порівнянні з однотипними лопатками того ж призначення при однакових програмах виготовлення і експлуатації при одних і тих же показниках якості.

Компресорна лопатка (рис.1.2) авіаційного двигуна є однією з найбільш важливих і масових деталей в авіаційному машинобудуванні. Лопатки компресора високого тиску мають значні перепади площ поперечного перерізу на ділянці замок-пера. Особливо це помітно на лопатках останніх ступенів компресора [5].

Лопатки компресора наймасовіші, високонавантажені і відповідальні деталі авіаційного двигуна. Їхня кількість на двигуні знаходиться в діапазоні від 2,0 до 3,5 тис. штук. Вони характеризуються великим діапазоном габаритних розмірів:

- висота лопатки - від 10 до 1000 мм;
- ширина пера - від 5 до 300 мм.

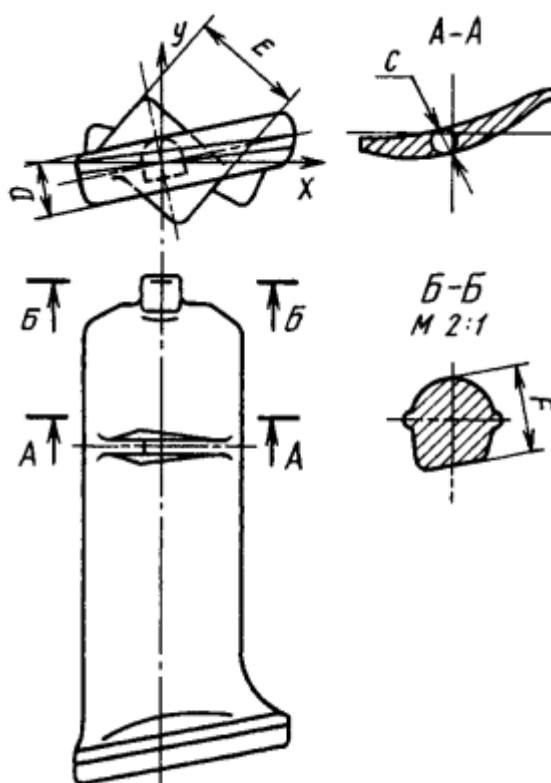


Рисунок 1.2 – Заготовка робочої лопатки компресора з антивібраційною полицею

Лопатка компресора повинна володіти:

- високими аеродинамічними якостями її профільної частини: малим опором, великою підйомною силою, можливістю працювати без зриву в широкому діапазоні кутів атаки;
- високою втомною і механічною міцністю, ресурсом і надійністю, так як на неї при експлуатації впливають значні знакозмінні і циклічні навантаження, а діючі відцентрові і газові сили викликають великі напруження розтягування, кручення і вигину;
- мінімальними відхиленнями геометричних форм і розмірів профілю пера від розрахункових, так як з їх збільшенням погіршується газодинамічна стійкість двигуна, зростають аеродинамічні втрати, що призводять до

зменшення ККД компресора, втрати потужності, зростання питомих витрат і, в зрештою, до зниження економічності двигуна;

- високими вібраційними характеристиками для запобігання виникненню небезпечних резонансних коливань лопаток на робочих режимах двигуна;

- мінімальною масою і достатньою технологічністю, допускає масове виробництво [6].

За конструктивною ознакою лопатки компресора можна класифікувати на три класи: лопатки окремі, лопатки в секторах і моно колеса (рис.1.3).

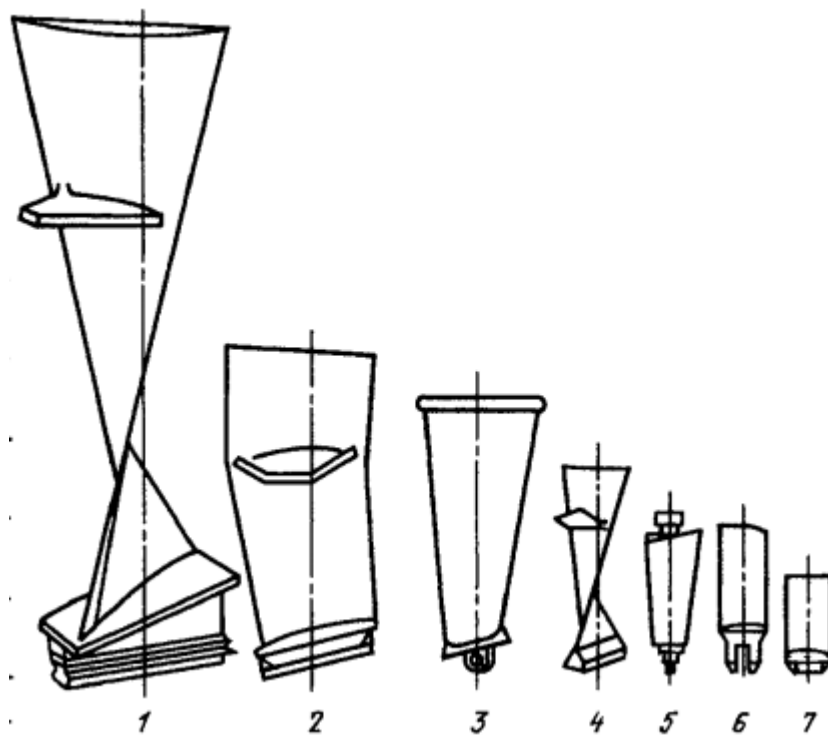


Рисунок 1.3– Лопатки компресора від 1-ї до 7-ї ступені

Лопатки окремі, в залежності від способу їхнього кріплення, розрізняють за конструкцією хвостовика:

- шарнірне кріплення - хвостовик лопатки типу «вушко»;

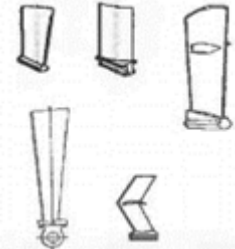
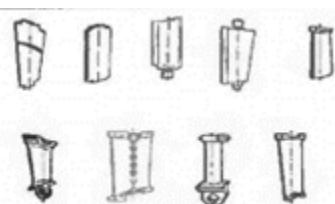
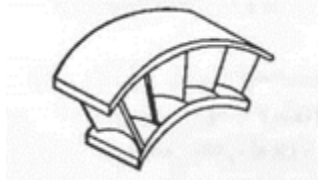
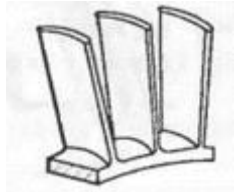
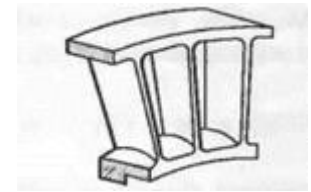
- пазове кріплення - хвостовик ялинкового типу; хвостовик типу «Ластівчин хвіст», як різновид хвостовик типу «голубиний хвіст»; хвостовик типу «полиці» (трапеції);

- цапфове кріплення - хвостовик типу «цапфа»;

- профільне кріплення - хвостовик типу профільного «шипа».

Класифікацію лопаток за видами наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Види лопаток

Клас		Підклас		Група		Група	
Ознака		Ознака		Ознака		Ознака	
Код	Конст-рукція	Код	Зовніш-ній діаметр, мм	Код	Висо-та пера, мм	Ротор	Статор
						Робочі	Соплові
1	Лопатки окремі	0		1	10-100		
				2	101-250		
				3	251-600		
				4	601-1000		
2	Лопатки у секціях	1	150-300	1	10-100		
		2	301-700	1	20-200		
		3	701-1500	1	50-350		
3	Лопатки в цільних колесах і соплових апаратах	1	150-300	1	10-100		
		2	301-700	1	20-250		

При пазовому кріпленні лопаток пази можуть бути виконані уздовж осі двигуна або під деяким кутом, а також може бути виконаний один кільцевий паз (рис. 1.4, рис. 1.5)

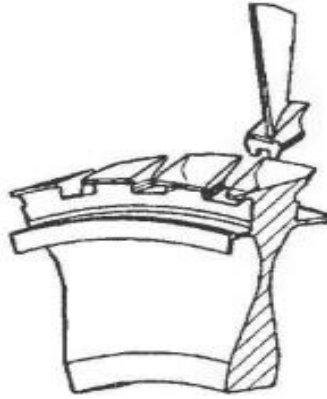


Рисунок 1.4 – Пазове кріплення лопатки з хвостовиком типу «ластівчин хвіст»

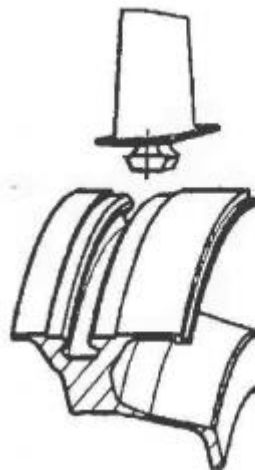


Рисунок 1.5 - Пазове кріплення в кільцевому пази типу «ластівчин хвіст» -лопатка з хвостовиком «рівчакового» типу

Хвостовик типу «ластівчин хвіст» набув широкого поширення, а останнім часом замість нього застосовується хвостовик типу «голубиний хвіст». Перетин хвостовика типу «ластівчин хвіст» виконано у формі трапеції

з плоскими робочими поверхнями, а в хвостовику типу «Голубиний хвіст» нижні гострі кути трапеції заокруглені. Паз в ободі диска має подібний перетин і розміщується він під деяким кутом до осі ротора.

Основна перевага лопаток з хвостовиками типу «ластівчин хвіст» полягає в значно більшому ресурсі міжпазових виступів в дисках через зниження концентрації напружень.

Широке поширення даний вид з'єднань отримав внаслідок притаманних їм переваг:

- відносно невеликої висоти, що дозволяє застосовувати легкі диски з малою товщиною обода;
- відносно невеликої товщини, що забезпечує можливість розміщення потрібного числа лопаток на диску для забезпечення гратки потрібної густоти.

Істотним недоліком з'єднань лопаток з хвостовиками типу «ластівчин хвіст» і «голубиний хвіст» є їхня низька демпфуюча здатність. Внаслідок коливання лопаток з'являються місцеві змінні контактні напруження, які можуть спричинити появу осередку втомного руйнування лопатки і подальшого руйнування хвостовика або виступу диска. Дані сполучення надійно працюють, якщо забезпечено задовільний контакт між робочими поверхнями хвостовика і паза диска [6].

Лопатки в пазах розміщують з зазором 0,01 ... 0,03 мм, а іноді з невеликим натягом. Застосовується в осьових компресорах і шарнірне кріплення лопаток в дисках. Лопатка вушками хвостовика вставляється в пази між ребрами диска і з'єднується з ними за допомогою пальців (рис. 1.6)

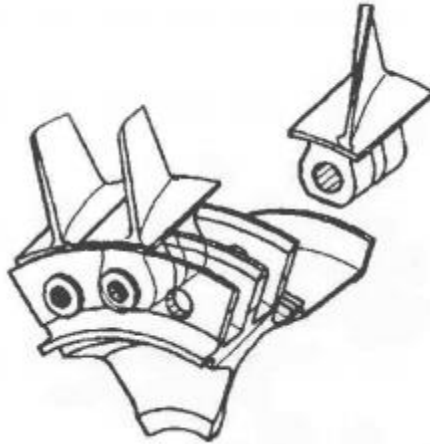


Рисунок 1.6 - Шарнірне кріплення лопатки з хвостовиком типу «вушко»

Шарнірне з'єднання дозволяє лопатці самовстановлюватись при дії на неї відцентрових сил. Обмежене застосування в осьових компресорах отримали лопатки з хвостовиком «ялинкового» типу (рис. 1.7)

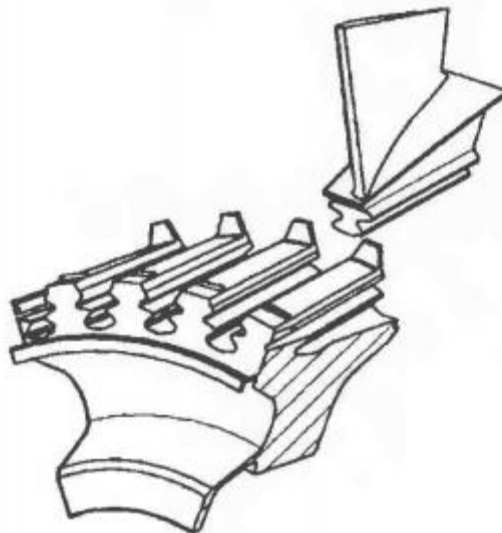


Рисунок 1.7 - Пазове кріплення в поздовжній паз «ялинкового» типу - лопатка з хвостовиком типу «ялинка»

Сутність даного сполучення полягає в рівномірному розподілі навантаження з невеликим тиском за елементами профілю «ялинкового» хвостовика. Зазвичай це дворядні хвостовики з більшими зубами ніж хвостовики турбін [7].

1.3 Заготовки деталей авіаційних двигунів

Заготівкою називають вилівок, поковку, листове штампування (втяжку), прокат, а також матеріал утворений іншими способами, які піддаються подальшій обробці для отримання готової деталі.

В авіаційному виробництві для деталей ГТД застосовують:

1. Відливання з чавуну, сталі, спеціальних чорних і кольорових сплавів, що володіють хорошими ливарними властивостями: заповненням форми; невеликою усадкою; невеликими газовиділеннями і т. п.
2. Поковки, що отримані обробкою тиском (куванням і штампуванням) вихідної заготовки, зі сталі та деформуються в гарячому стані із чорних та кольорових сплавів.
3. Заготовки, отримані холодним штампуванням - гнуттям з листа або стрічки.
4. Заготовки з сортового прокату: сталевих і з чорних та кольорових сплавів.
5. Заготовки, отримані спіканням методами порошкової металургії.
6. Заготовки з неметалевих матеріалів - пластмас, композиційних матеріалів і ін.

Вид заготовки деталі ГТД визначається:

1. Службовим призначенням - функцією, що виконується в тому числі характером рухів; величиною і характером несучих навантажень; постійних, знакозмінних, ударних, циклічних і ін.; умовами роботи (при низьких або

підвищених температурах, в корозійному середовищі і т.п.);

2. Конструкцією - матеріалом; формою і розмірами; наявністю необроблених поверхонь. Вид заготовки встановлює конструктор.

Метод отримання заготовки прийнятого виду обирає технолог в залежності від:

1. Конструкції деталі;
2. Програми випуску;
3. Тривалості періоду виробництва виробів;
4. Технологічних можливостей.

1.4 Фактори, що впливають на точність поковок

Стабільність і точність геометричних розмірів штампованої поковки при необхідній якості поверхні і структури металу залежні одне від одного. Необхідно враховувати такі основні фактори:

- правильний вибір деформуючого обладнання, в тому числі і спеціального, що має підвищену жорсткість і керовані енергосилові параметри;

- наявність спеціальної конструкції точних штампів, що не допускають значних горизонтальних переміщень, виготовлених з матеріалів, що протистоять підвищеним питомим навантаженням і мають високу зносостійкість;

- використання інноваційних спеціальних процесів штампування;

- удосконалення технології отримання вихідних і проміжних заготовок їхньої форми і точного розрахунку об'єму матеріалу;

- удосконалення методів нагрівання заготовок під деформацію, що мають вузькі інтервали температурних перепадів;

- застосування спеціальних процесів обробки поверхонь поковки і видалення пошкодженого шару;
- правильне проведення проміжної та остаточної термообробки;
- застосування ефективного мастила;
- можлива спеціалізація виробництва [7, 8].

1.5. Матеріал лопаток

Лопатки роторної частини ГТД працюють в різних температурних умовах. На вході в компресор температура знаходиться в межах 50...60°C, в зоні останніх ступенів компресора високого тиску вона досягає 600...700°C. На лопатки ротора і статора компресора впливають сили потоку повітря від швидкості польоту літального апарату, зміна зусиль стиснення на кожній з робочих ступенів компресора. Відцентрові сили, що виникають в роторі компресора, створюють значні навантаження на робочі елементи лопаток [8].

Виходячи з цього матеріал, що застосовується для виготовлення лопаток роторної і обмоткової частини ГТД, має різні характеристики за хімічним складом і механічній міцності. У табл. 1.2. наведено перелік основних матеріалів, що застосовуються для лопаток ГТД (за мірою розвитку). З метою зменшення маси двигуна в роторі компресора низького і середнього тисків використовуються високотехнологічні жароміцні титанові сплави з температурою в робочій ступені колеса до 500°C. Найбільш високі вимоги висувають до матеріалу лопаток, що працюють в зоні турбіни ГТД.

Таблиця 1.2 - Матеріали, які використовуються для виготовлення лопаток

Лопатки	Номер ступені														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ротора			1X12H9T				1X17H2				ХН45МВТЮБР				
			Х15Н5Д2Т								Х15Н5Д2Т				
			ВТ-9				38Х2МЮА				ЖС6УВИ				
			ВТ-20												
Статора	1X12H2ВМФ					38Х2МЮА				ХН45МВИБР					
			ВТ-9												

Спочатку використовувалися хромонікелеві сплави, які підлягали деформації методом гарячого штампування (ЕІ437Б, ЕП867, ЕП929 і ін.), а після створення конструкції лопаток турбіни з охолоджувальною порожниною - хромонікелеві ливарні сплави ЖС-3, ЖС6-К, ВЖЛ-12У і ін. [9].

Для отримання заготовок лопаток зі спрямованою кристалізацією або монокристалізованим відливанням застосовуються сплави ЖС-30, ЖС30ВІ і ін. Всі вони пройшли тривалі випробування на міцність при температурі 975°C, навантаженості 200 Н, часу витримки 40 год.

Лопатки ротора компресора є відповідальними елементами ГТД. Від якості роботи компресора залежить надійність і економічність всього виробу. Обертання компресора виконується від різних ступенів турбіни ГТД. Так, обертання роторів низького і середнього тиску ГТД, здійснюється від другої і третьої ступені турбіни. З'єднання ступенів турбіни і компресора забезпечується шліцьовим елементом валу ротора низького тиску. Робочі лопатки компресорів підлягають значним осьовим і радіальним навантаженням [10].

Профільна частина - перо - крім розтягування від відцентрових сил, вигинання і кручення відчуває змінні напруження від вібраційних навантажень. При зльоті і крейсерському режимі літального апарату

температурний режим в компресорі змінюється. Ці зміни проявляються у всіх ступенях компресора.

Так, перша ступінь компресора, що має великогабаритні лопатки, зазнає змін температурного режиму від +50 до - 50°C. Для виробництва лопаток першої ступені компресора використовуються якісні матеріали. В сучасних ГТД, використовуються леговані сталі або титанові сплави. Лопатки першої ступені компресора, виготовляються з титанового сплаву ВТ-9. У конструкції лопаток виділені три елементи - замок (хвостовик), перо і бандажні полиці [11].

Високі вимоги висуваються також до формування радіусу переходу на вході і виході пера лопатки. Радіус при цьому змінюється від 0,5 мм до 0,8 мм. Шорсткість профілю пера лопатки повинна бути не нижче 0,32 мкм по Ra. У середній частині пера лопатки розташовуються опорні бандажні полиці, складної профільної конструкції. Ці полиці грають роль допоміжних конструкторських поверхонь лопаток, і на їхні опорні поверхні наносяться твёрдосплавні покриття карбідів вольфраму і карбідів титану (WC, TiC). Середні бандажні полиці, з'єднуючись між собою, створюють єдине опорне кільце в першому колесі ротора компресора.

Точність стикувальних елементів полиць і положення їх щодо координатної системи лопатки задається в межах 0,1 мм. Перекіс стикувальних поверхонь допускається не більше $\pm 5^\circ$.

Нижні полиці лопаток створюють замкнутий контур в колесі компресора і забезпечують плавність подачі повітря в компресор. Зміна зазору між цими полицями виконується в межах 0,1...0,2 мм.

Від точності виконання цього профілю залежить зазор між вершинами лопаток і корпусом колеса статора компресора першої ступені. Ці операції виконуються гідро-дробеструйною обробкою або іншими зміцнюючими методами.

Високі вимоги висуваються також до стану поверхонь лопаток, на яких не допускаються тріщини, прижоги та інші дефекти виробництва. Матеріал

лопатки відноситься до другої групи контролю, яка передбачає ретельну перевірку якості кожної лопатки. Для партії лопаток готується також спеціальний зразок, який підлягає лабораторному аналізу. Вимоги, що висуваються до якості лопаток компресора досить високі. Способи отримання вихідних заготовок для таких деталей і використання традиційних і спеціальних методів при подальшій обробці визначають вихідні якісні та економічні показники виробництва [11].

При використанні вихідних заготовок невисокої точності потрібне введення спеціальних технологічних припусків для надійного і точного орієнтування заготовок в технологічних системах на етапі чорнової обробки. Крім того, з метою зменшення викривлення заготовок в процесі механічної обробки необхідні спеціальні прийоми з орієнтування заготовок в технологічних системах і використання термічних стабілізуючих операцій.

1.6 Способи виготовлення лопаток. Нові напрямки виготовлення. Аналіз існуючих методів виготовлення

У процесі формоутворення пера лопаток методами пластичного деформування важливим завданням є забезпечення точності геометричних розмірів пера і параметрів його поверхневого шару, оскільки вони в умовах експлуатації двигуна зумовлюють ресурс і надійність деталей і виробу в цілому.

Традиційно такі лопатки виготовляють за однією з наступних схем (рис 1.8):

Точне штампування :

- вихідна заготовка - пруток;
- групова заготовка - періодичний прокат;
- вирубка індивідуальної заготовки;

- точне штампування;
- обсічка облю;
- калібрування;
- термічна обробка;
- видалення поверхневого дефектного шару;
- холодне вальцювання;
- фінішна обробка, що включає зміцнюючі технології методами поверхневого пластичного деформування [12].

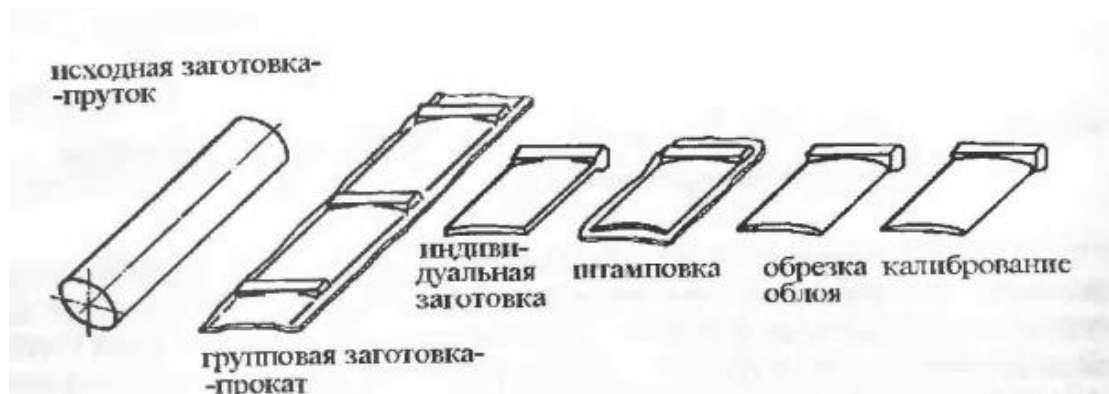


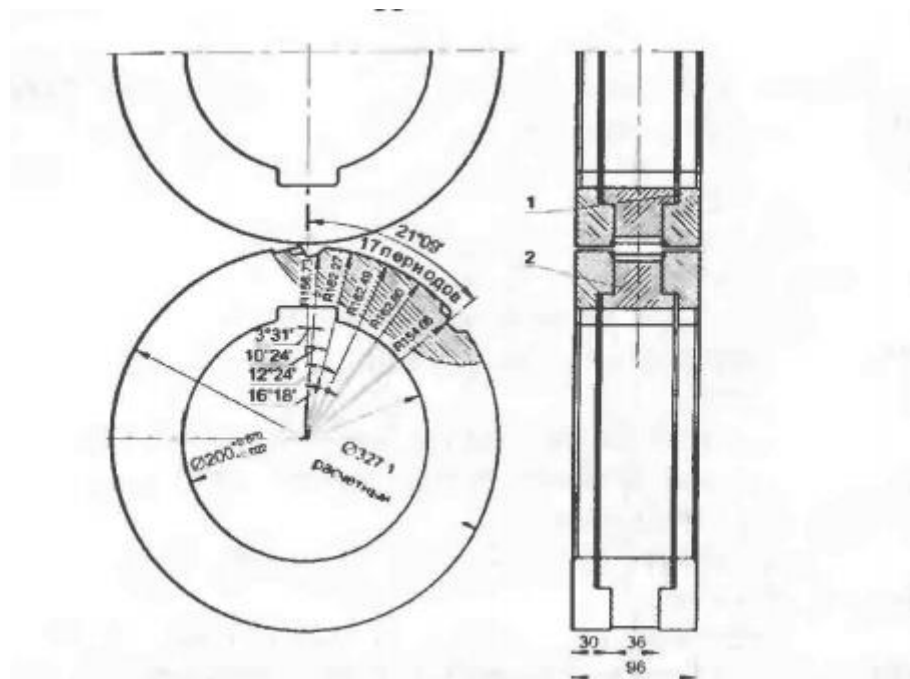
Рисунок 1.8 - Схема технологічних переходів точного штампування

Використання холодного вальцювання, дозволяє використовувати поковки з більш тонким пером, але при цьому необхідно використовувати заготівельні переходи перед остаточним штампуванням. Однак до лопаток зі значними перепадами площ поперечного перерізу застосовувати заготівельні переходи важко.

Так, наприклад, при видавлюванні діаметр видавлюваної частини лімітований ступенем деформації, а діаметр початкової заготовки обмежений розмірами замку.

Смуги періодичного прокату заготовок робочих лопаток компресора під точне штампування отримували на прокатному стані за такою технологією:

- вихідна заготовка - пруток;
- нанесення мастила на поверхню прутка;
- нагрівання заготовок в електропечі під прокатування
- прокатування вихідної заготовки на смугу за один прохід
- нагрівання отриманої плоскої смуги за вказаною теплового режиму;
- прокатування плоскої заготовки за один прохід в калібрувальних валках в смугу поздовжнього прокату заготовок лопаток (рис. 1.9)



1 - бічні кільця; 2 - середнє кільце

Рисунок 1.9 - Валки для періодичного прокатування заготовок лопаток

Висаджування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) – найбільш поширений в даний час спосіб фасонування попередніх заготовок, проте він не забезпечує високий КВМ (рис.1.10). Стрижень висадженої цим способом

заготовки має постійний поперечний переріз, площа якого вибирається за площею максимального перерізу пера заготовки лопатки за умовами стійкості заготовки при висаджуванні хвостової частини. Тому при подальшому штампуванні утворюється значна задирка, а коефіцієнт використання матеріалу не перевищує 0,25 [13].

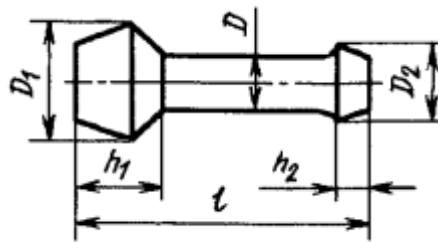
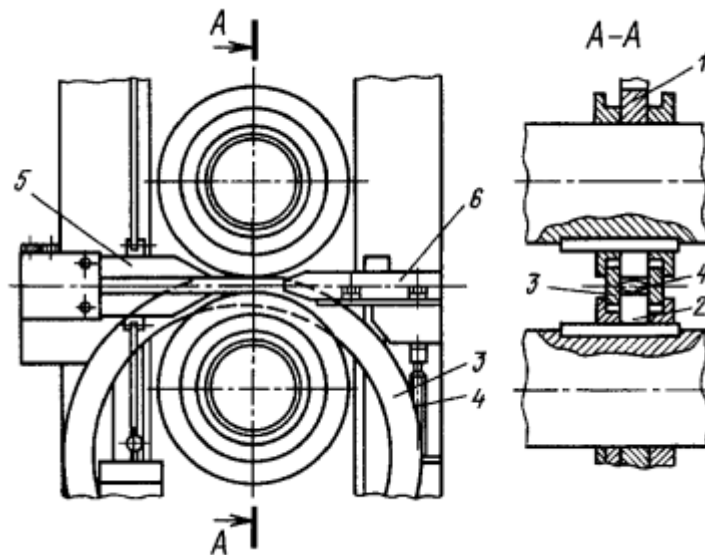


Рисунок 1.10– Попередня заготовка лопатки компресора, отримана висаджуванням на ГKM під подальше штампування

Гаряче вальцювання. Одним з ефективних процесів фасонування заготовок лопаток компресора є гаряче вальцювання на кувальних вальцях. Фасонування заготовок лопаток компресора вальцюванням забезпечує оптимальний перерозподіл металу по довжині заготовки, більш рівномірну деформацію за поперечними перетинами і довжині заготовки лопатки, мінімальний вихід металу в задирок при штампуванні і, як наслідок цього, підвищення КВМ. При застосуванні гарячого вальцювання, по суті, відпадає необхідність в попередньому штампуванні (рис 1.11).



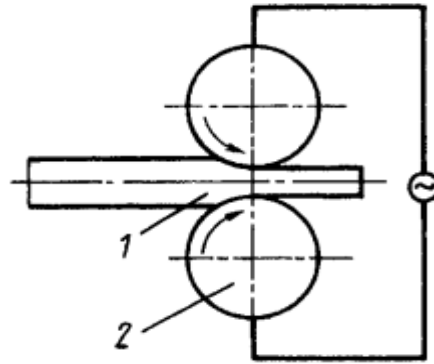
1, 2 - робоче кільце, 3, 4 - обмежувальний елемент, 5 - вступна проводка, 6 - похідна проводка

Рисунок 1.11 - Схема закритого періодичного прокатування

Застосування гарячого вальцювання також дозволяє:

- підвищити КВМ з 0,2...0,25 до 0,3...0,35;
- знизити трудомісткість ковальських операцій на 15%;
- знизити трудомісткість ручних робіт на 15...20% за рахунок скорочення зачищувальних операцій

Ізотермічне деформування. Суть цього процесу полягає в тому, що в заготовці, інструменті та навколишньому їх обмежуючому просторі створюється і постійно підтримується температура, яка забезпечує оптимальну пластичність металу оброблюваної заготовки. Деформування здійснюється при малих швидкостях, тому знеміцнюючі процеси (повернення і рекристалізація) встигають протікати в його ході, що підвищує технологічну пластичність металу і різко знижує опір пластичному деформуванню (рис. 1.12). [14]



1 - заготовка, 2 вальці

Рисунок 1.12- Схема процесу ізотермічного вальцювання

Основними технологічними перевагами методу є:

- підвищення пластичності оброблюваного металу;
- зменшення зусиль деформування;
- можливість деформування в умовах статичного навантаження, що дозволяє використовувати для виготовлення штампів високожароміцні і зносостійкі матеріали з низькою пластичністю;
- можливість отримання точних заготовок з високими коефіцієнтами використання матеріалу;
- можливість знизити температуру нагрівання, так як в умовах ізотермічного деформування немає необхідності перегрівання заготовок для компенсації втрат тепла, а також різко зменшити втрати на угар металу і збіднення поверхневих шарів легуючими елементами.

До недоліків ІЗШ слід віднести:

- багатоопераційність процесу;
- низьку продуктивність (в зміну 160..180 штамповок);
- обмеженість номенклатури матеріалів, що деформуються;
- складнощі у виготовленні і експлуатації штампів і нагрівальних пристроїв;
- відносно низьку стійкість штампів (300...500 штамповок);

- наявність альфірованого шару при нагріванні заготовок;
- викривлення заготовок лопаток при вилученні зі штампу і їхньому охолодженні;
- великі енерговитрати.

Технологічний процес ізотермічного вальцювання, заснований на пропусканні регульованого електричного струму через заготовку і деформуючий інструмент, в результаті чого заготовка зберігає задану температуру протягом усього циклу обробки. При цьому, хоча температура валків і не досягає температури заготовки, охолодження заготовки не відбувається, а умови деформування наближаються до ізотермічних. Для ізотермічного вальцювання використовуються спеціальні вальцювальні стани, робоча зона яких сконструйована таким чином, що в процесі вальцювання проводиться нагрівання заготовки до температури деформації оброблюваного сплаву за рахунок проходження електричного струму через заготовку. За однією зі схем підведення струму здійснюється за допомогою секторних штампів, які вальцюють лопатку. Нагріванню підлягає зона деформації, що переміщується вздовж пера, яке вальцюється в міру повороту секторних штампів. Валки вкочуються в робочу зону кліти стану з розрахунковим натягом, забезпечують необхідну точність і стабільність розмірів, вальцюються лопатки по товщині в усіх її перетинах. Термомеханічні режими процесу вальцювання (швидкість обертання секторних штампів, параметри електричного струму нагрівання і ін.) забезпечують оптимальні умови для виготовлення лопаток цим способом. Процес дозволяє розширити межі застосовуваних для вальцювання малопластичних сплавів, знизити зусилля деформування, підвищити точність і стабільність розмірів виготовлення лопаток [15].

Високошвидкісне видавлювання. Сутність високошвидкісного об'ємного видавлювання полягає в пластичному формозмінненні металу при додатковому деформуючому зусиллі інструменту, що рухається зі швидкістю близько декількох десятків метрів в секунду. Високі швидкості

деформування і, як наслідок, поява значних інерційних сил на першій стадії процесу створюють більш сприятливі схеми напруженого стану, що підвищує пластичні властивості металу, а в кінцевій стадії процесу сприяють заповненню важкодоступних місць формотворюючої порожнини інструменту [16].

До основних переваг методу при його використанні для виробництва лопаток можна віднести:

- поліпшення заповнення глибоких порожнин штампів;
- можливість виготовлення заготовок лопаток з тонкими кромками;
- можливість практично виключити теплообмін між заготовкою і штампом і зменшити контактне тертя.

Видавлювання різко скорочує виробничий цикл обробки деталей, зменшує або повністю виключає подальшу обробку, підвищує коефіцієнт використання металу. Штампування проводиться в роз'ємних штампах, а надлишок металу, утворений на кінці видавленого внутрішнього стрижня, видаляється подальшим обрізанням. Після такого штампування деталі не піддаються механічній обробці.

Перед видавлюванням інструмент підігрівається газовими пальниками до 250...350°C і його температура постійно автоматично підтримується в процесі роботи. Для нагрівання заготовок, які отримуються з точністю $\pm 0,2$ мм, застосовується піч із захисною атмосферою [17].

Заготовки нагріваються в індукторі до температури 980...1275°C, після чого автоматично подаються в контейнер. Після пресування всі профілі проходять правку в холодному стані, очищення травленням або іншим способом.

Видавлювання за один прохід дозволяє досягти високих ступенів деформування, однак можливість видавлювання точних поковок лопаток з тонким пером і радіусами кромки 0,2...0,4 мм має певні складнощі. Охолодження тонкого пера і кромки в процесі видавлювання, що протікає за десятки частки секунди, викликає значне зростання навантажень. Наприклад,

при гарячому видавлюванні деяких лопаток із жароміцних сталей з коефіцієнтом витягування 7...10 в кінці ходу тиск досягає 1000...1400 МПа, що можна порівняти з межею плинності матеріалу і інструменту, що в свою чергу викликає його низьку стійкість.

Тому для здійснення процесу видавлювання поковок з тонким пером доводиться до 1 мм на сторону збільшувати припуск по перу і радіусом переходу хвостовика до пера до 5...8 мм, які в реальних лопатках складають 2-3 мм, а також вводити необхідні нахили.

Видавлюванням можуть виготовлятися і точні поковки, для яких необхідно суворе дотримання всіх умов, властивих реалізації процесу (точність і чистота поверхні вихідної заготовки, стабільні температурні режими нагрівання заготовки і штампа та ін.)

При стандартних схемах видавлювання вхідний кут дна матриці, що оформляє стрижень, повинен бути менше 150° , а з метою більшої гарантії відсутності мертвих зон його краще призначати не більше 120° ; пуансон повинен мати конічний торець з кутом 150° . Зазор між пуансоном і матрицею при видавлюванні поковок без задирки повинен бути в межах 0,05...0,15 мм на сторону при діаметрі головки до 60 мм, і 0,3...0,4 мм - при діаметрі 60...100 мм, а при торцевій задирці - в межах 1,2...1,4 мм.

Матриці для видавлювання виконують зі сталей 3X2B8 або EI958 з шорсткістю робочої поверхні в межах 0,63...1,25 мкм, а пансони зі сталі X12Ф1 або X12М. Для видавлювання поковок з алюмінієвих сплавів пуансони і матриці виготовляють зі сталі 12ХМН, а для поковок з легованих сталей - зі сталі 4Х5МФС. При цьому важко навантажені матриці мають шар зміцнюючого покриття, нанесений методом іонного азотування. На пуансон і матрицю перед кожною поковкою методом розпилення наноситься мастильний матеріал з додаванням сульфіду молібдену та графіту [18].

Устаткування для видавлювання повинно мати велику висоту міжштампового простору, а також виштовхувачі з великим ходом. Виштовхувачі можуть бути механічними або пневматичними,

пневмомеханічними і гідравлічними, вбудованими в прес. Для зниження тривалості активного теплового впливу поковки на інструмент і зменшення тепловтрат в заготовці, що деформується, число ходів преса має бути досить високим.

Так, наприклад, КГШП К0034 номінальним зусиллям 2,5 МН для виконання зазначених умов було модернізовано зі збільшенням частоти ходів з 32 до 48. При цьому запас енергії преса повинен бути достатнім для забезпечення необхідної роботи деформації, який можна визначити за діаграмою шлях - зусилля. Характер і умови оформлення поковок з центральним або ексцентричним розташуванням щодо осі стрижня постійного або змінного (конічного і ступеневого) перетинів з потовщенням складної форми (тарілчастими, фланцевими, конусними і кулястими і типу розвилки), а також поковки з глухими і наскрізними порожнинами.

Штамування в режимі надпластичного деформування (НПД).

Відмінність штампування в режимі (НПД) від ІЗШ полягає в наступному:

- нагрівання заготовок проводиться в більш вузькому температурному інтервалі, близькому до температури фазових перетворень;
- деформування проводиться з ще меншою швидкістю переміщення повзуна преса (0,1...0,3 мм/с);
- в кінцевій стадії деформування проводиться витримка в штампі 20...25 секунд з додатком постійного зусилля.

Штамування в режимі НПД дозволяє скоротити число деформуючих операцій, так як витримка заготовок в штампі з постійним розрахунковим зусиллям деформування сприяє кращому перерозподілу металу і заповненню глибоких і вузьких порожнин штампі з більшим допустимим ступенем деформування [19].

Припуск по перу при цьому знижується до 0,15...0,3 мм, КВМ підвищується до 0,4..0,45.

Однак процесу НПД в основному властиві ті ж недоліки, що і для ІЗШ.

ВИСНОВКИ

Таким чином, найбільш раціональним способом отримання заготовок робочих лопаток компресора, що мають розвинений хвостовик, що наближається до квадрату, і тонке перо довжиною до 50 мм, є метод прямого гарячого видавлювання.

Основними технологічними перевагами методу є:

- підвищення пластичності оброблюваного металу;
- зменшення зусиль деформування;
- можливість деформування в умовах статичного навантаження, що дозволяє використовувати для виготовлення штампів високожароміцні і зносостійкі матеріали з низькою пластичністю;
- можливість отримання точних заготовок з високими коефіцієнтами використання матеріалу;
- можливість знизити температуру нагрівання, так як в умовах видавлювання спостерігається деформаційне розігрівання металу, що видавлюється.

Якість і надійність лопаток закладаються вже на початкових стадіях їх виробництва - виготовленні заготовок лопаток компресорів ГТД гарячим видавлюванням.

Традиційні схеми технологічних процесів видавлювання поширені в промисловості і досить широко вивчені, передбачають формозміну пруткових заготовок з більшого діаметру на менший або в напрямку осі вихідної заготовки (пряме видавлювання, пресування) або з отриманням видавленої ділянки під нормованим кутом до осі заготовки (бокове видавлювання).

Видавлювання же заготовок компресорних лопаток ГТД, внаслідок оригінальної форми лопатки, що об'єднує в собі перо і замок, здійснюють шляхом укладання вихідної пруткової заготовки поперек матриці штампа, з

подальшим видавлюванням пуансоном серединної частини циліндричної заготовки в напрямку перпендикулярному осі вихідної заготовки.

Цей різновид процесу видавлювання, істотно відрізняється від традиційних як напружено-деформованим станом так і особливостями формування текстури деформації, величини зерна, градієнтом запасу пластичності, чутливістю і схильністю деформуються зон заготівлі до виникнення макро і мікро дефектів, особливо в перехідній зоні замка майбутньої лопатки в перо і т.п.

Слід зазначити, що виробничий досвід серійного виготовлення заготовок лопаток компресорів ГТД показує, що збій технологічного процесу видавлювання, що виражається у виникненні факторів порушують оптимальні умови деформування вихідної заготовки, призводить, в окремих випадках, до зниження втомної міцності готових лопаток.

Придатну кувальним оснащення направляють в ковальський цех, де приступають до виготовлення штампування відповідно до розробленого технологічним процесом. Після виконання всіх операцій штампування виробляють контроль за кресленням штампування. Для простих поверхонь застосовують лінійки, штангенциркулі, глибиноміри і т.д. Для поверхонь складної форми застосовують спеціально розроблені і виготовлені вимірювальні прилади:

- контактного типу: по жорстким шаблонами, ПОМКЛ, координатно-вимірювальні машини.
- безконтактного типу: лазерно - оптоелектронна система ОПТЕЛ, оптичні вимірювальні машини (АТОС).

Після аналізу результатів вимірів і їх відповідності кресленням штампування, штампування направляються в механічний цех для подальшої остаточної обробки. Якщо виявлено браковану деталь або невідповідність кресленням штампування, то з'ясується причина або був порушений технологічний процес виготовлення штампування - то виготовляється повторна партія під авторським наглядом. Якщо бракованою деталь стала

через недосконалість технології, тоді змінюється вся технологія виробництва штамповок, узгоджуються нові припуски, допуски з цехами, розробляється нова маршрутна карта, математична модель і КД на штампування і т.д.

Тому розробка і дослідження математичної моделі процесу видавлювання, оптимізація його технологічних параметрів при виготовленні заготовок лопаток ГТД є актуальною.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

2.1 Методика проведення досліджень

Для забезпечення конкурентоспроможності потрібен комплексний підхід в проектуванні процесу штампування деталей, виготовленні кувального і мірального оснащення. Як САД система застосовується програма «UNIGRAPHICS», що дозволяє проектувати тривимірні параметричні асоціативні математичні моделі, створювати на їх основі асоціативні креслення. Ця система забезпечує інтеграцію всього циклу створення виробу від проектування, підготовки до виробництва до виготовлення. В якості системи моделювання процесів (CAE системи) використовується програма «QForm 2D / 3D», що дозволяє значно скоротити витрати і час розробки нового процесу штампування деталі за рахунок віртуального моделювання процесу штампування, без виготовлення оснащення і завантаження ковальсько-пресового устаткування. Разом ці системи утворюють інтегровану систему по розробці складно профільних штамповок з важко деформуючих матеріалів.

Схема алгоритму розробки технологічного процесу на штампування, в інтегрованій системі «UNIGRAPHICS» - «QForm 2D / 3D», представлена на рис. 2. 1.

Побудова алгоритму розробки технологічного процесу об'ємного штампування з використанням сучасних програм з проектування та моделювання процесів ОМТ

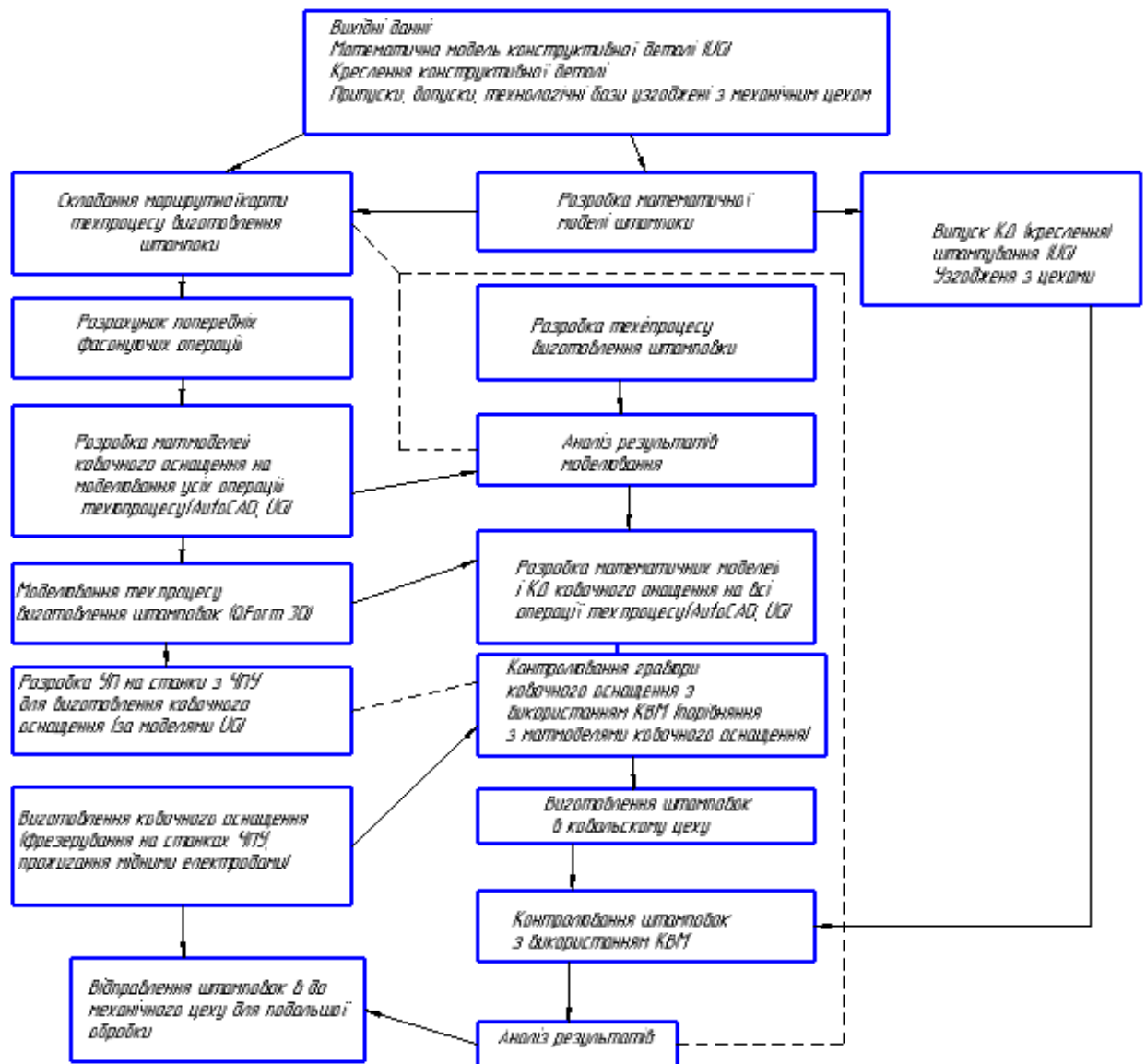


Рисунок 2.1 - Схема алгоритму розробки тех. процесу на штампування.

Першим етапом при розробці процесу штампування деталі є опрацювання конструктивного креслення на технологічність, призначення припусків, допусків і створення технологічних баз, складання маршрутної карти технологічного процесу виготовлення штампування, в якій зазначається вид штампування, попередні операції фасонування, визначається необхідне обладнання і т.д.

Далі проектується математична модель штампування, оформляється креслення штампування, узгоджується з ковальським і механічними цехами,

стверджується. Головним металургом заводу і здається в видавничий центр, який його множить, передає всім зацікавленим службам і цехам, а оригінал залишається на зберігання.

Математична модель штампування аналізується і проводиться розрахунок попередніх операцій штампування. На всі операції технологічного процесу розробляються моделі, в тому числі і модель вихідної заготовки. Далі ці моделі будуть використані для моделювання всього ланцюжка операцій штампування і розробки математичних моделей і КД кувальної оснастки.

Розробляються спрощені мат. моделі (містять тільки гравюру) кувального оснащення для моделювання процесу штампування, проводиться розбивання кінцево-елементної сітки. Призначаються технологічні параметри (вид і зусилля обладнання, призначення матеріалу штампування, температура нагріву в печі, призначається мастило для штампів, температура підігріву штампів, також задаються параметри для нанесення трессируємих точок і лагранжевих ліній всередині штампування).

Якщо потрібно розрахувати напруги, що виникають в кувальному оснащенні, то потрібна розробка моделей інструменту з урахуванням всіх особливостей кувальної оснащення (облойного містка, магазину, габаритних розмірів штампа). Моделювання технологічного процесу виробництва штамповок здійснюється в QForm 3D. Розрахунок за часом залежить від складності геометрії штампування, потужності робочої станції і становить від кілька десятків хвилин (осаду осесиметричної деталі) до кількох діб (розрахунок широкохордної лопатки двигуна ГТД).

Аналіз процесу штампування є виявлення таких дефектів як:

- закови на поверхні, простріли усередині штампування (за допомогою лагранжевих ліній),
- перевірити заповнення гравюри штампа, оцінити температуру, деформацію, середню напругу, побудувати різні графіки як для процесу в цілому, так і для однієї з трессируємих точок.

За результатами аналізу технолог приймає рішення про успішність моделювання, в цьому випадку розробляється технологічний процес виготовлення штамповок і видається замовлення на проектування і випуск КД кувальної оснащення всіх операцій. У разі виявлень дефектів при моделюванні вносяться зміни в маршрутну карту технологічного процесу, коригується форма попередніх операцій і виконується повторний розрахунок в QForm 3D.

Після розробки математичних моделей (UG) і КД на кувальних оснащення, інструментальний завод виробляє розробку керуючих програм (КП) на верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) на основі розроблених математичних моделей кувального оснащення. Далі проводиться контроль гравюри штампа на КВМ (з використанням математичної моделі кувального оснащення). Якщо виявлені відхилення, то штампи доопрацьовуються, і знову здійснюється їх контроль.

2.2 Особливості технологічного процесу виробництва лопаток методом гарячого видавлювання

Видавлюванням отримують заготовки лопаток компресора довжиною до 50 мм, що мають розвинений масивний хвостовик, що наближається в осьової проекції до квадрату, і відносно тонке перо (рис 2.2)



Рисунок 2.2 - Заготовки лопаток компресора, отримані видавлюванням

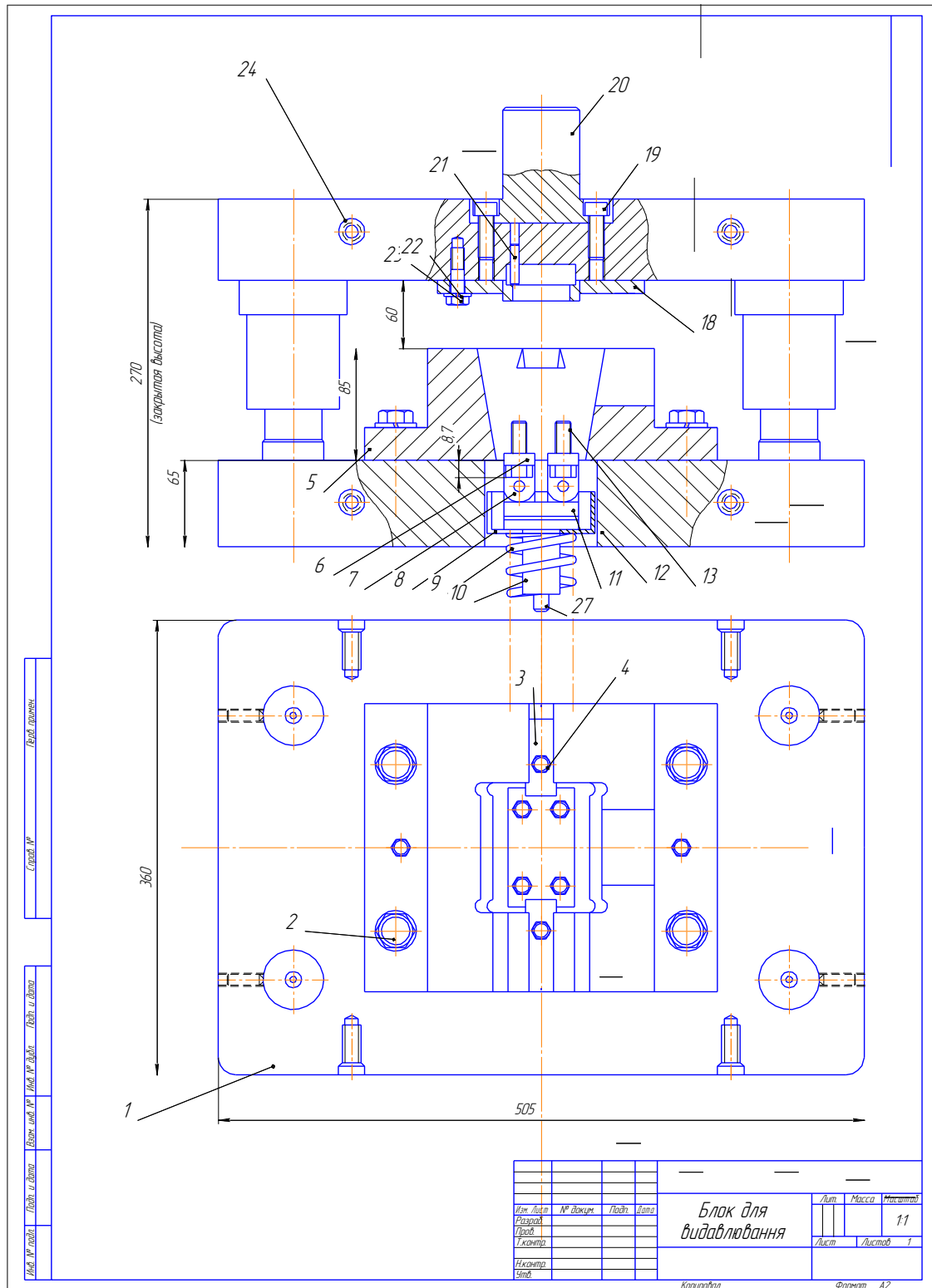
Особливістю процесу точного видавлювання заготовок лопаток є застосування мастила на попередній (вихідній) заготовці, яку перед нагріванням під деформацію видавлюванням покривають гальванічним способом міддю товщиною 12...18 мкм. Заготовки перед покриттям повинні бути обдугі абразивом і мати чисту без слідів мастила, абразивного порошку і пилу поверхню, на якій відсутній окислений шар, задирки, тріщини [20].

Роз'ємна матриця істотно спрощує вилучення заготовки з інструменту, стійкість і ремонтпридатність (рис.2.3.).



Рисунок 2.3 – розємна матриця для видавлювання заготовок компресорних лопаток

Незважаючи на вжиті заходи щодо зменшення ризиків на поверхні пера при видавлюванні, необхідно стежити за початком їхньої появи і відповідно вживати заходів щодо усунення ризиків шляхом зачищення робочого паска матриць. Таке зачищення може здійснюватися, з конструкцією штампового блоку і матриць, без видалення інструменту з робочої зони преса. Так, на деяких партіях видавлених заготовок 7, 8, 9, 10-х ступеней робочих лопаток компресора зі сплавом ВТ8 може виконуватися до 18 неконтрольованих за геометрією зачищень вручну. Видавлювання проводиться на ексцентрикових кривошипних пресах зусиллям 1,0...1,6 МН в спеціальному штамповому блоці з пневматичним розкриттям рознімних матриць (рис.2.4).



1-плита нижня; 2, 4, 22, 13, 15 – болти; 3 – планка; 5 – корпус; 6 – планка; 7, 21 – штифти; 8 – дно піддона; 9 – пружина; 10 – виштовхувач; 11 – вилка; 12 – стінки піддона; 14 – колонка; 16 – кільце; 17 – втулка; 18 – кільце прижимне; 19 – гвинт; 20 – хвостовик; 23 – шайба; 24 – плита верхня; 25 – шайба; 26, 27 – шпильки

Рисунок 2.4. - Штaмп для видавлювання на ексцентриковому пресі зусиллям 1,6МН

Таким чином, найбільш ефективним засобом від налипання металу на поверхню матриці є мідне покриття вихідної заготовки товщиною 15...18 мкм. Після видавлювання заготовки лопаток піддаються травленню для видалення альфірованого шару. Перед травленням необхідно з поверхні повністю видалити шар міді, так як травлення із залишками мідного покриття на поверхні призводить до роз'їдання основного металу [21].

Технологічний процес повинен містити наступні операції:

1. Нагрівання до температури штампування.

Заготовки нагрівають в електропечі при температурі 850...940°C протягом 5...25 хвилин

2. Нанесення мастильного матеріалу.

3. Процес видавлювання.

Здійснюється в роз'ємній матриці, що показана на рис.2.3, встановленій в штамі на кривошипному пресі К2130 зусиллям $P_{\text{ном}}=100$ кН.

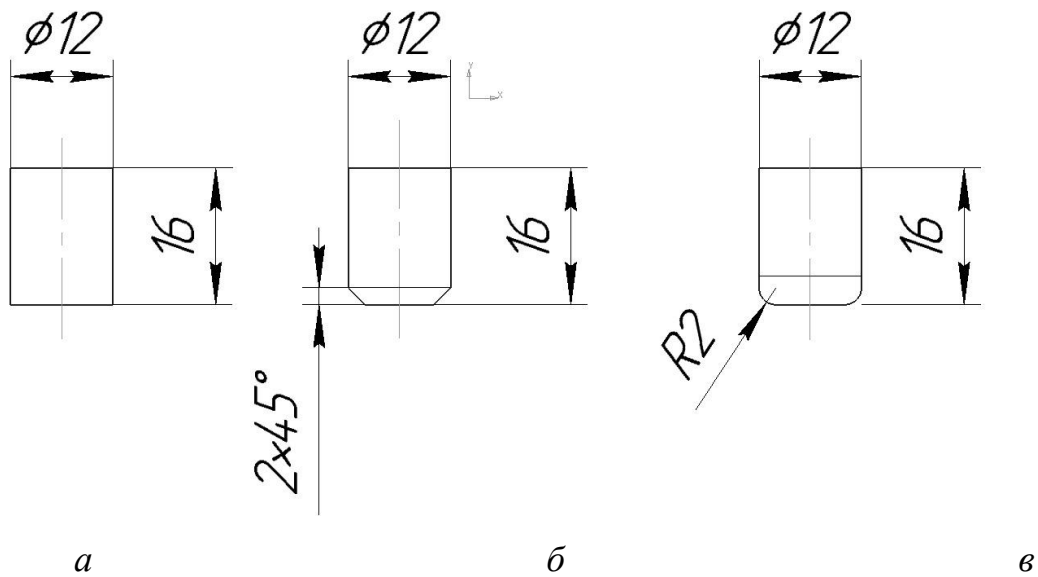
5. Обрізання облою.

6. Контроль виготовленої продукції.

Здійснюється за розмірами (5...10% від партії), на дефекти (10% від партії). Заготовка у вигляді проточеного прутка, без уступів, тріщин і недорізів, з притупленими кромками радіусом 0,3 мм, не менше; заготовки повинні бути без слідів бруду, масла, абразивного порошку, без прижогів на торцях заготовок; заготовки відправляються в цех в опломбованій тарі полавочно [22,23].

2.3 Проектування тривимірної моделі інструменту

Метою роботи є вибір раціональної форми вихідної заготовки. Проаналізуємо три форми (рис. 2.5).



a – з плоским торцем, *б* – з фаскою, *в* – зі округленням

Рисунок 2.5 – Розміри вихідних заготовок під видавлювання

Перед деформуванням заготовки підігріваються до 850°C в електропечі.

Була спроектована об'ємна 3D модель лопатки, яку необхідно отримати в результаті досліду (рис.2.6).

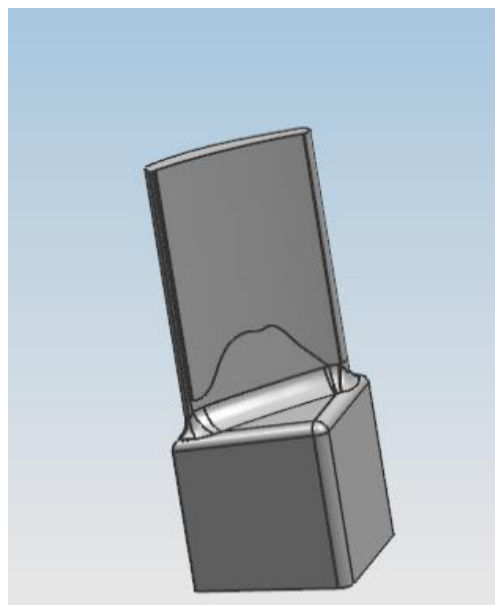
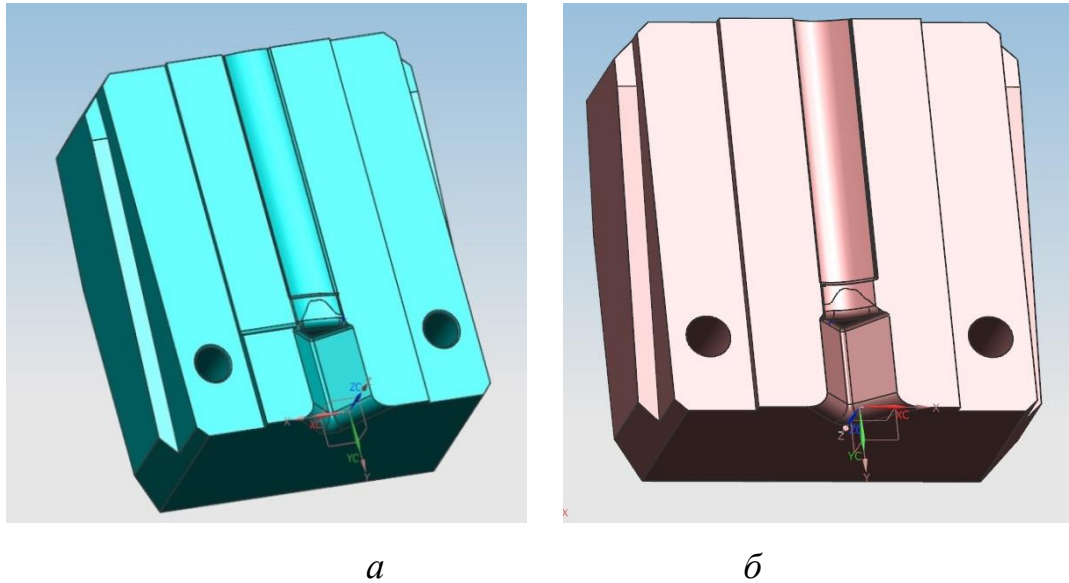


Рисунок 2.6 – Об'ємна модель проектованої лопатки

Використовуючи тривимірну модель лопатки було спроектовано об'ємні моделі матриці (рис.2.7) та пуансону (рис.2.8) з урахуванням встановлених посадочних розмірів.



a - права напівматриця; *б* – ліва напівматриця

Рисунок 2.7 – 3D модель роз'ємної матриці

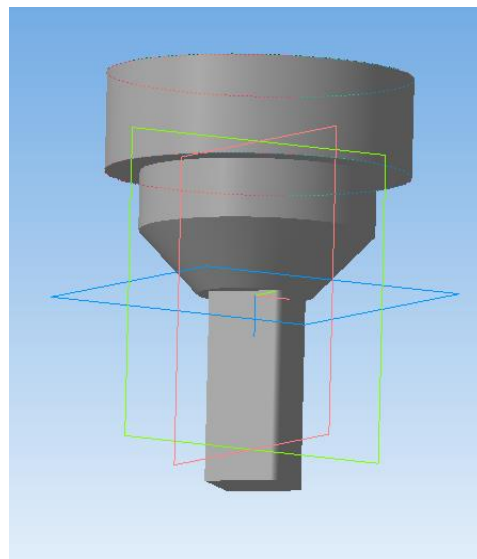


Рисунок 2.8 - 3D модель пуансону

Оскільки для проведення роботи з програмою QForm матриця має бути суцільною, роз'ємну матрицю було спроектовано у спрощеному вигляді – куба розмірами 100x100 мм із дотриманням виконавчих розмірів пера та хвостовика лопатки (рис.2.9). Інструмент перед початком роботи за технологією підігрівають до температури 250...350°C

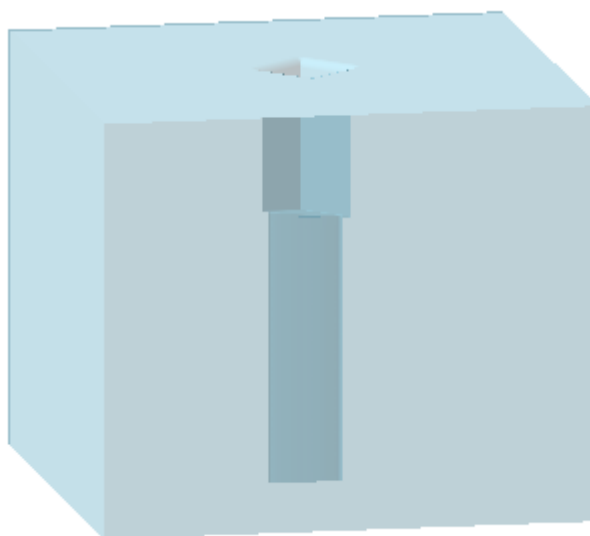
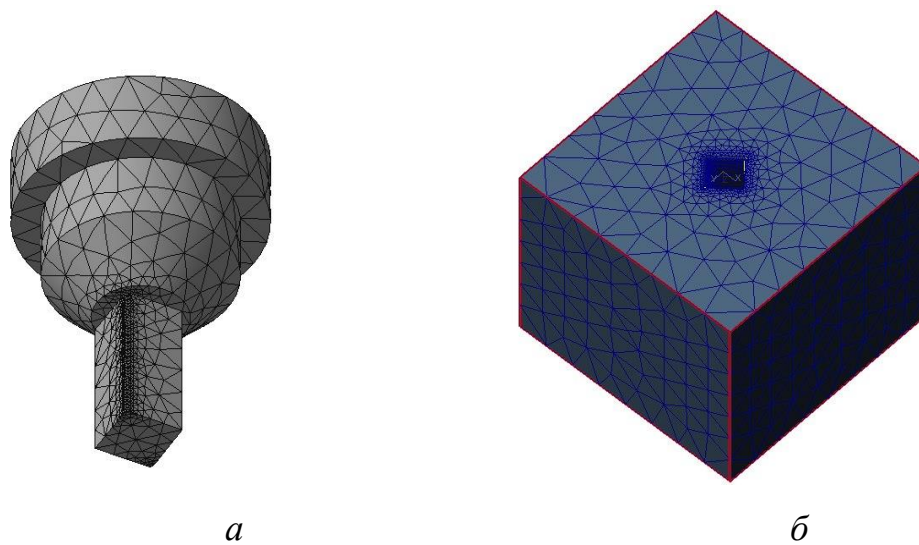


Рисунок 2.9 – Модель матриці для видавлювання лопатки

2.4 Імпорт моделі в QForm

Для імпорту створеної заготовки у **QForm** зберігаємо моделі у форматі STEP (або IGES). Після цього в графічному модулі QShape проводимо розбиття інструменту та заготовки на кінцеві елементи та їхню збірку в цілісну кінцеву модель.

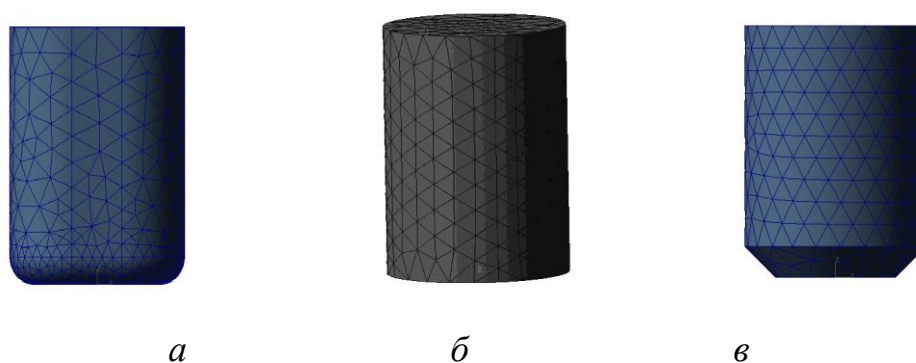
При розбитті на кінцеві елементи, у місцях, де великий градієнт деформації, великий температурний градієнт, сітка автоматично змільчується (рис. 2.10). Після розбиття задаємо імена нашим об'єктам (рис. 2.0).



a - пуансон; *б* – матриця

Рисунок 2.10 – Моделі штампового оснащення після розбиття сітки скінчених елементів

На рис. 2.11 зображено тривимірні моделі вихідних заготовок для видавлювання після їхнього розбиття на скінчені елементи.



a – зі скругленням; *б* – із плоским торцем; *в* – із фаскою

Рисунок 2.11 – Моделі вихідних заготовок

Наступним етапом є об'єднання інструментів та заготовки в один файл із позиціонуванням об'єктів вздовж осей X , Y та Z . (рис. 2.12).

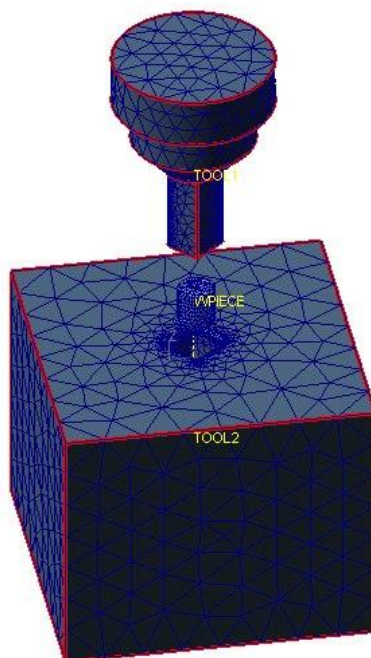


Рисунок 2.12 – Позиціонування об'єктів

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. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ДЕТАЛІ МЕТОДОМ ГАРЯЧОГО ВИДАВЛЮВАННЯ В QFORM

3.1. Моделювання процесу деформації заготовки із плоским торцем

Вихідною інформацією в данній роботі є об'ємна математична модель лопатки. У графічному редакторі програми QForm була створена збірна модель (рис 3.1) із моделей наведених вище матриці, пуансону та заготовки. Першою деформувалась заготовка із плоским торцем.

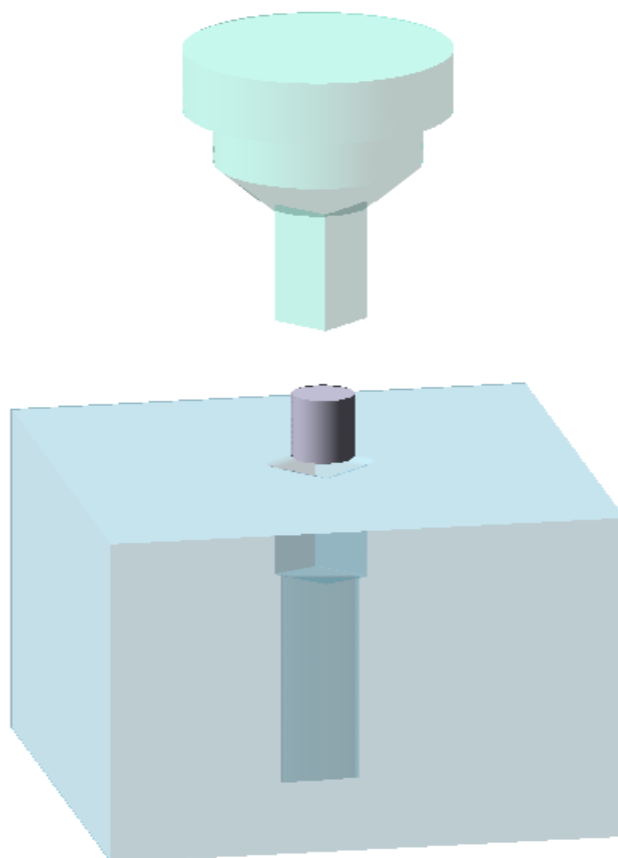


Рисунок 3.1 – Збірна модель для процесу видавлювання заготовки з плоским торцем

Для моделювання було задано наступні вихідні параметри (рис. 3.2):

- обладнання – механічний прес зусиллям 25 МН;
- час охолодження на повітрі – 6 с, в інструменті – 3 с;
- температура нагрівання вихідної заготовки - 850°С;
- модель матеріалу – VT6;
- температура підігрівання інструменту - 250°.

Отчет о результатах моделирования

файл: D:\Коноваленко\Лопатка компас\плоский\12,12,18 - плоский торец.qfm
 Вариант: Вариант 1
 Комментарий к варианту:

Операция 1		Механический пресс	
Тип:	Трехмерная деформация		
Оборудование	25MN		
файл геометрии:	C:\Users\user\Desktop\сборка11,12,18.shl		
Время охлаждения на воздухе, с:	6		
Время охлаждения в инстру-те, с:	3		
Температура заготовки, С:	850		
Конечное расстояние, мм:	8		
Материал заготовки:	GOST\vt6.mp		
Характеристика инструментов:			
Номер	Температура, С	Смазка	Материал
1	250	qr-ti-h.lp	
2	250	qr-ti-h.lp	

Рисунок 3.2 – Вихідні параметри моделювання процесу видалювання вихідної заготовки із плоским торцем

На початковій стадії деформування відбувається осадження заготовки в контейнері матриці, далі метал поступово починає витікати в порожнину через радіуси переходів. Саме в цьому місці спостерігається максимальний опір деформуванню (570 МПа) (рис. 3.3) та середнє напруження (-1203 МПа) (рис. 3.4).

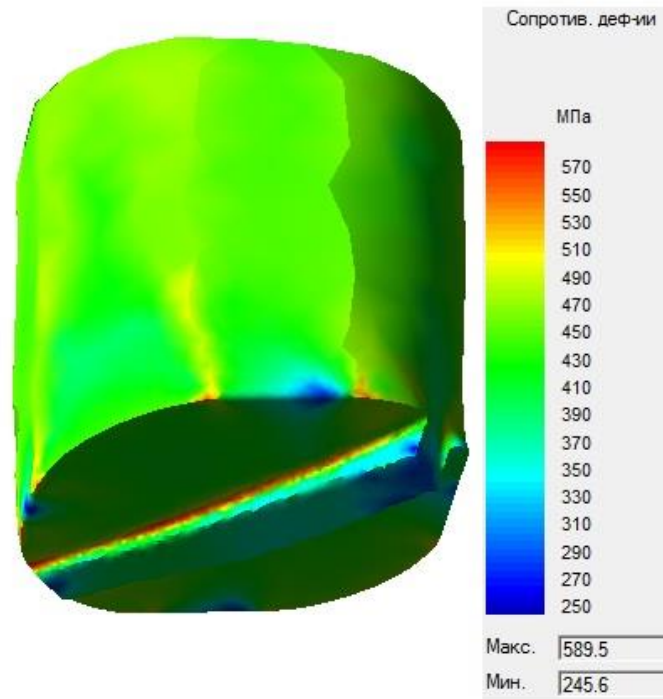


Рисунок 3.3 – Опір деформуванню на початковій стадії видавлювання заготовки із плоским торцем

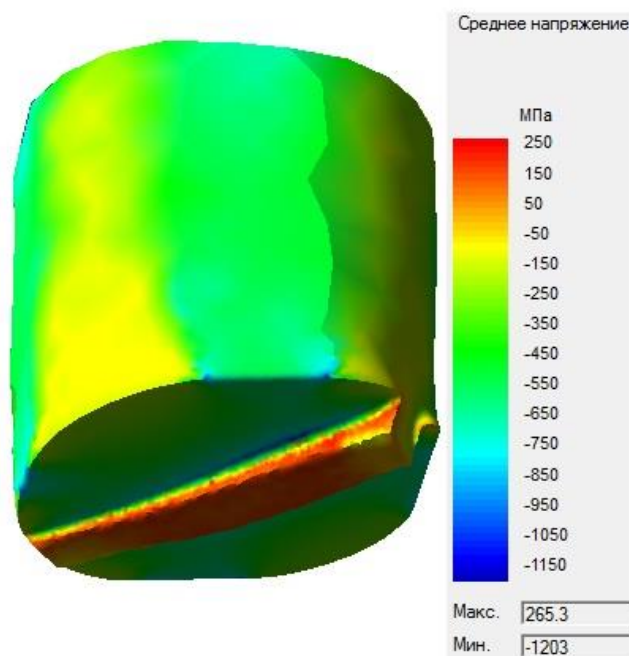
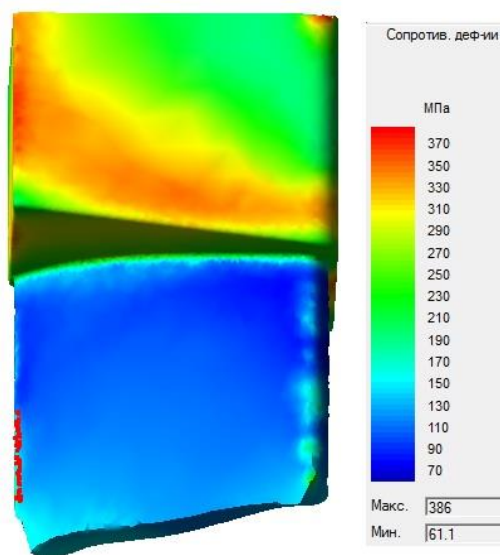


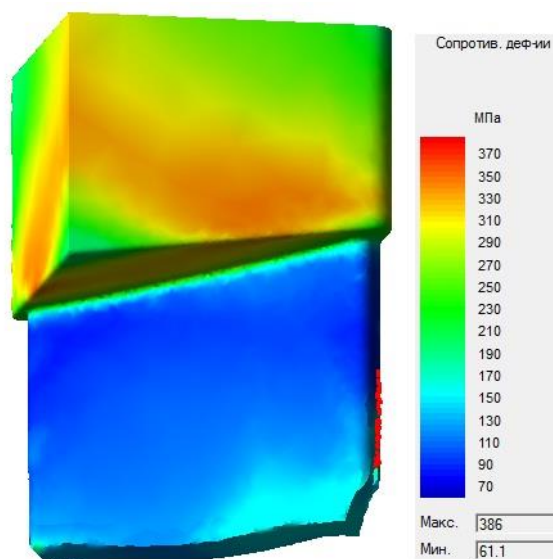
Рисунок 3.4 – Середнє напруження на початковій стадії видавлювання заготовки із плоским торцем

Під час випробування можна побачити, що максимальний опір

(370 МПа) деформації металу відбувається на торці, який знаходиться в контакті з матрицею. А мінімальний опір деформації – на спинці пера (70 МПа) (рис.3.5).



а



б

а – спинка лопатки; б – корито лопатки

Рисунок 3.5 – Опір деформації металу при видавлюванні заготовки із плоским торцем

Температурний показник деформації (рис 3.6) вказує на те, що в

місцях, де метал затікає у матрицю (на радіусах округлення між хвостовиком і пером лопатки) відбувається підвищення температури заготовки до 1069°C внаслідок деформаційного розігріву під час видавлювання. У місці контакту заготовки із пуансоном спостерігається зниження температури заготовки до 700°C.

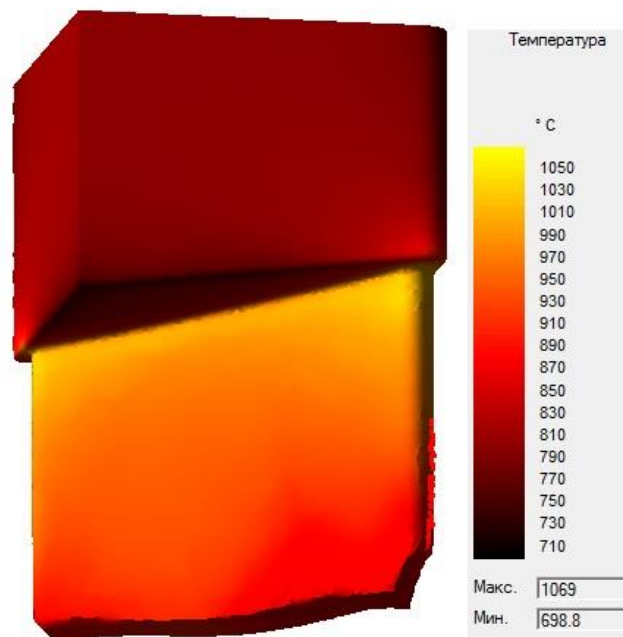


Рисунок 3.6 – Температурний показник деформації заготовки з плоским торцем

На рис. 3.7 зображено характер розподілу швидкості деформації. Завдяки тому, що видавлювання відбувається на пресі із постійною швидкістю ходу, швидкість деформації заготовки розподілена рівномірно, без критичних значень. В місці затікання металу в отвір матриці швидкість дещо підвищується.

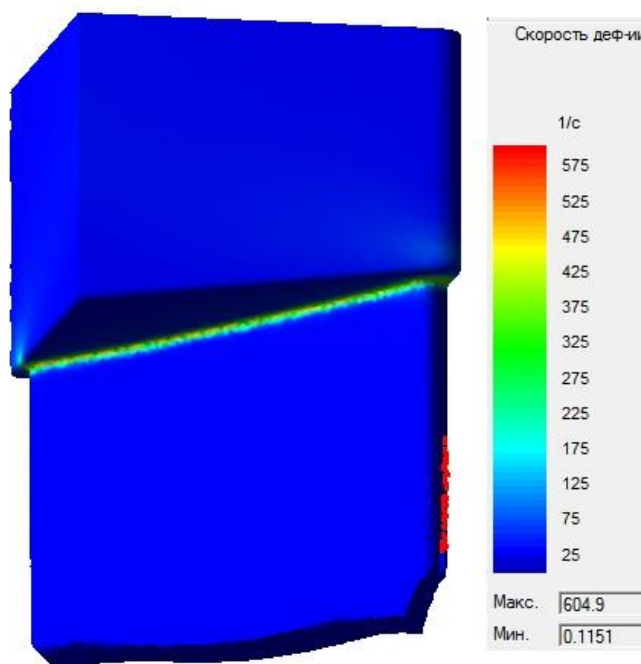


Рисунок 3.7 – Характер розподілу швидкості деформації при видавлюванні заготовки із плоским торцем

На рис. 3.8 зображено характер деформації заготовки при її видавлюванні. Із аналізу рисунка видно, що деформація розподілена рівномірно, без стрибків. В зоні пояску матриці, де відбувається формування тонкої частини пера лопатки, спостерігаємо підвищення показника деформації, в радіусі округлення пера лопатки на бічній поверхні деформація набуває максимального значення 6,965.

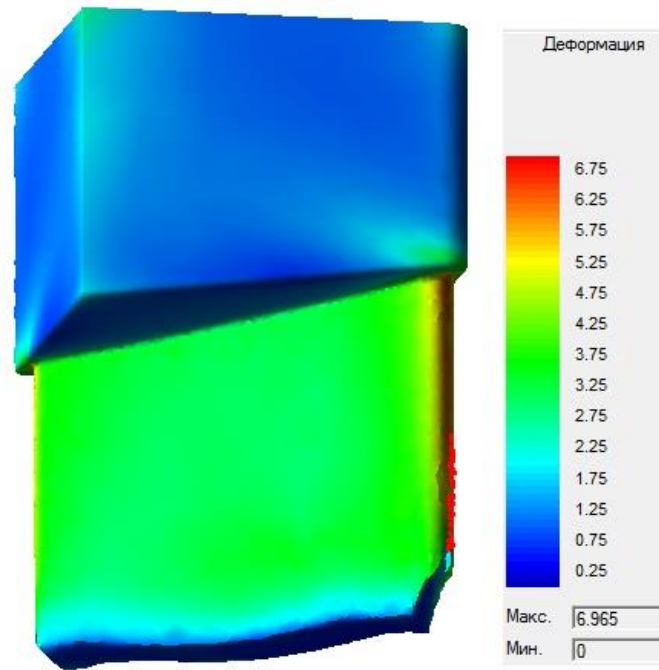


Рисунок 3.8 – Характер деформації при видавлюванні заготовки із плоским торцем

На рис.3.9 зображено середнє напруження процесу. Аналіз показує, що напруження змінює свій знак, що означає перехід від деформації стискання (максимум -1432 МПа) у прес-залишку до деформації розтягання (+50 МПа) у перовій частині заготовки. Така зміна напружень характерна для процесу прямого видавлювання будь-яких заготовок.

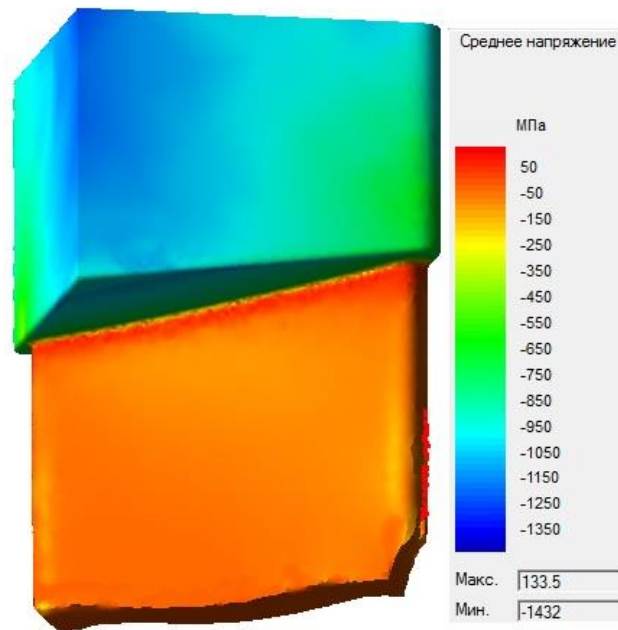


Рисунок 3.9 – Середнє напруження при видавлюванні заготовки із плоским торцем

На рис. 3.10 представлено швидкість плинущу металу при деформації. У прес-залишку швидкість становить до 0,01 м/с, а вперовій частині - до 0,21 м/с. Така різниця пояснюється умовою постійності секундних об'ємів заготовки та умовою нерозривності середовища, що деформується.

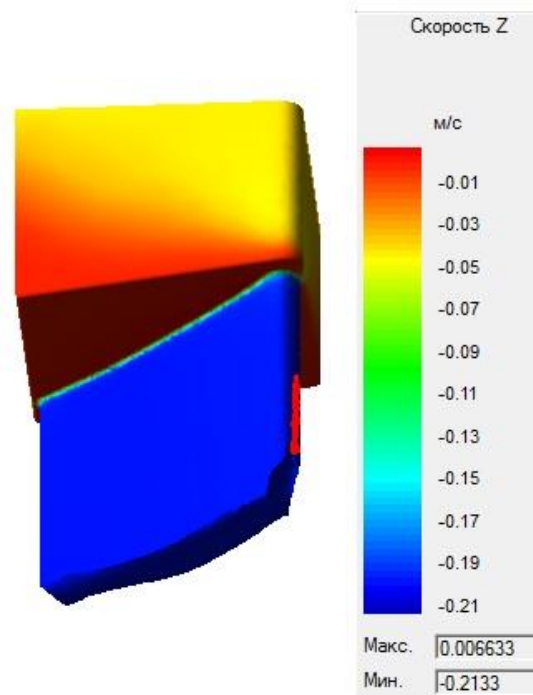


Рисунок 3.10 – Швидкість плинину металу вздовж осі деформації при видавлюванні заготовки із плоским торцем

На рис. 3.11 представлено графік залежності зусилля видавлювання заготовки лопатки від кута повороту кривошипа пресу. Максимальне зусилля за даних технологічних параметрів становить 0,24 МН. Спостерігається поступове підвищення зусилля до пікового значення в той момент, коли метал заготовки починає втікати в порожнину матриці та формуватися у її пояску. Після цього відбувається більш плавне зниження зусилля, яке характеризується сталістю процесу деформування.

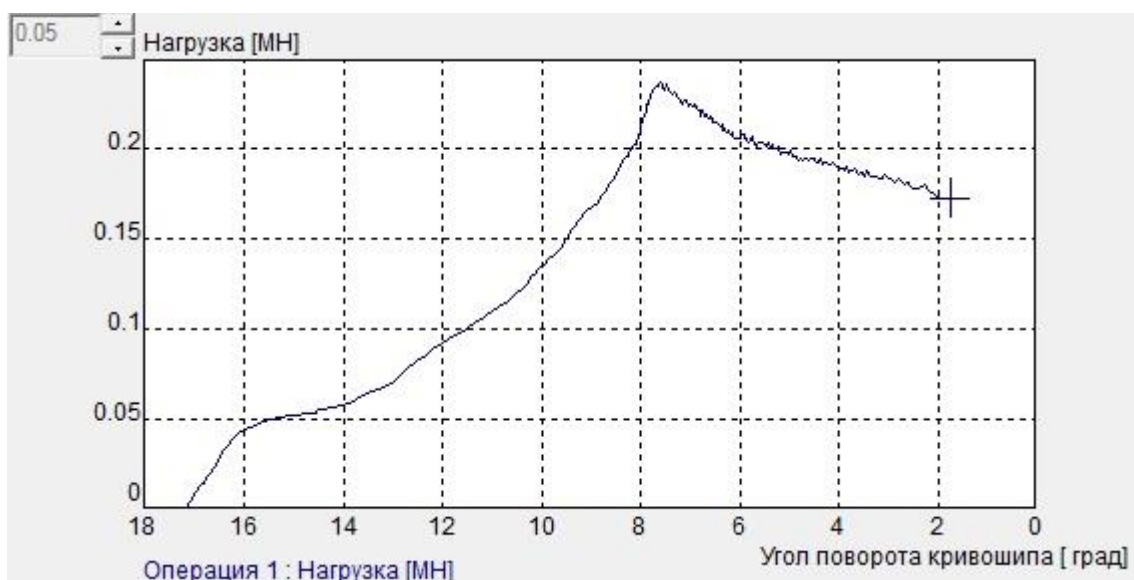


Рисунок 3.11 – Графік залежності зусилля видавлювання від кута повороту кривошипа пресу

На рис. 3. 12 зображено графік залежності потужності операції від кута повороту кривошипа пресу. Максимум становить 0,04МВт на куті 8 град, так само, як і для графіка залежності зусилля.

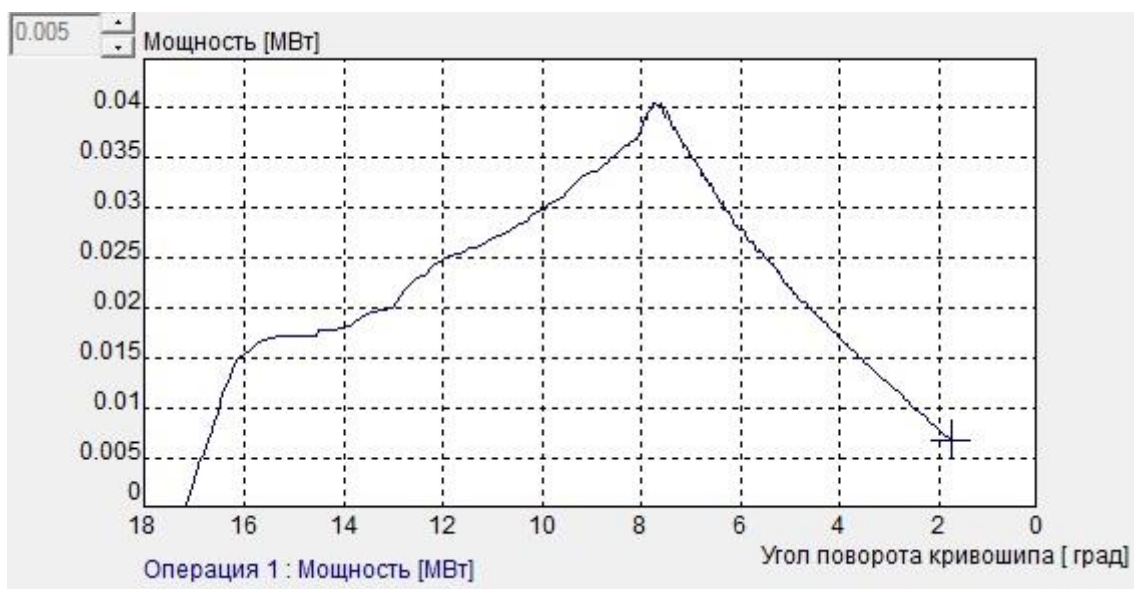


Рисунок 3.12 - Графік залежності потужності операції видавлювання від кута повороту кривошипа пресу

На рис. 3.13 зображено графік залежності роботи деформації від кута повороту кривошипа пресу, який постійно зростає до кінцевого моменту процесу видавлювання. Максимум становить 0,89 кДж.



Рисунок 3.13 - Графік залежності роботи деформації від кута повороту кривошипа пресу

Можна зробити висновок, що максимальна деформація металу (рис. 3.14) відбувається на торцях пера та радіусах округлення, де метал затікає у матрицю, а мінімальний опір деформації є при максимально високому температурному показнику. Максимальний опір – при найменшій температурі заготовки. Тобто чим менша температура металу – тим вищий опір деформації.(рис. 3.15).

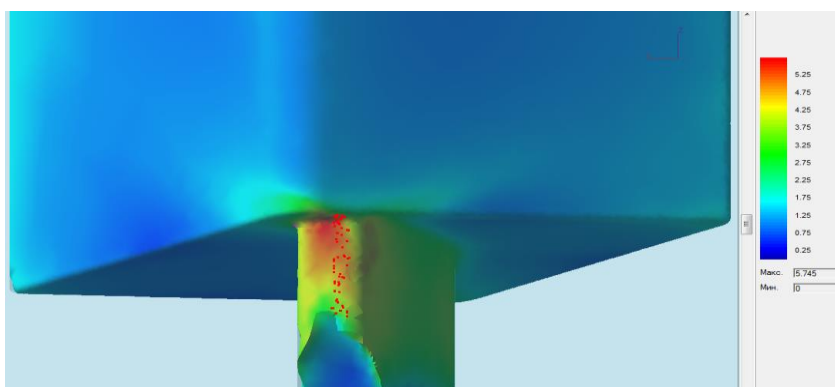


Рисунок 3.14 – Максимальна деформація заготовки з плоским торцем



Рисунок 3.15 – Результат видавлювання заготовки з плоским торцем(максимальний опір деформації)

3.2. Моделювання процесу деформації заготовки з фаскою на торцевій поверхні

Вихідними даними до даних розрахунків була модель, аналогічна моделі для розрахунку процесу деформування заготовки із плоским торцем (див. рис. 3.1), яка відрізнялась лише формою заготовки (див. рис. 2.12).

Вихідні параметри процесу задавалися такими ж, як і в п. 3.1 (див. рис. 3.2). Далі проводилося моделювання процесу видавлювання заготовки компресорної лопатки.

На рис. 3.16 зображено опір деформуванню заготовки на початковій стадії деформації. Значення зростають, як і в заготовці із плоским торцем, у зоні входу металу в порожнину матриці.

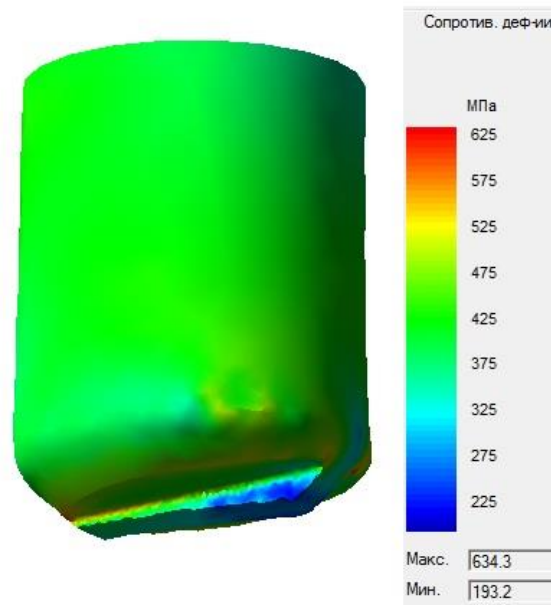


Рисунок 3.16 – Опір деформуванню заготовки на початковій стадії процесу із фаскою на торцевій поверхні

На рис. 3.17 зображено середнє напруження в заготовці на початковій стадії процесу. Видно зміну знаку напружень та поступове зростання їх із максимумом в пояску матриці.

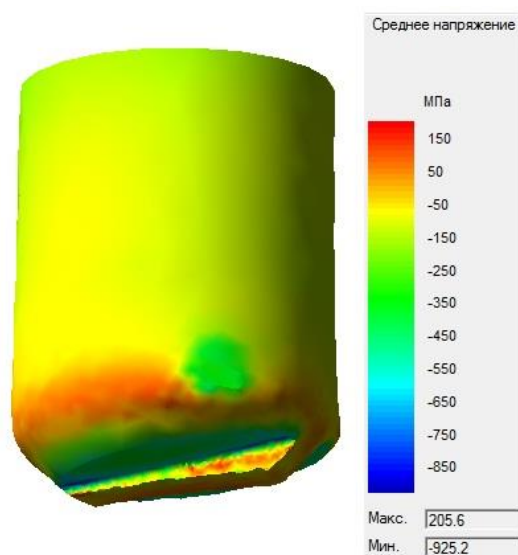


Рисунок 3.17 – Середнє напруження в заготовці на початковій стадії процесу із фаскою на торцевій поверхні

На рис. 3.18 представлено температуру видавленої заготовки на кінцевій стадії деформування. Максимум становить 1071°C , а мінімум - 726°C . Спостерігається зростання значення температури в порівнянні із початковими даними. Порівнюючи аналогічні показники при видавлюванні заготовки із плоским торцем, можна відзначити, що в даному випадку деформаційний розігрів заготовки більший, а втрати температури у прес-залтшку нижчі. Але ці значення знаходяться в межах похибки.

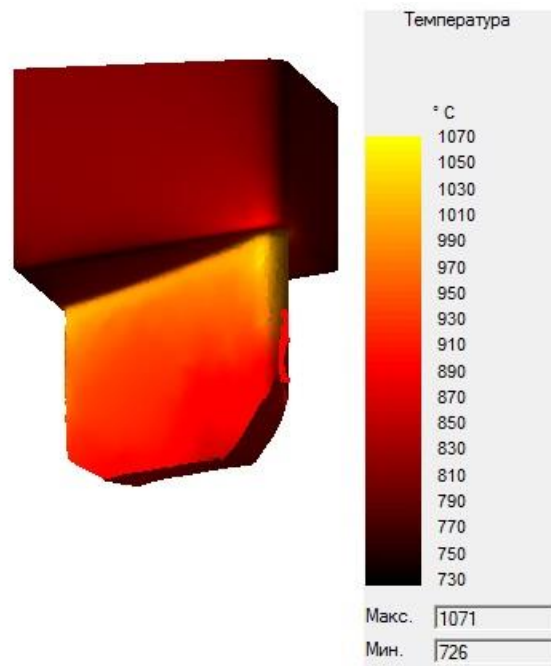
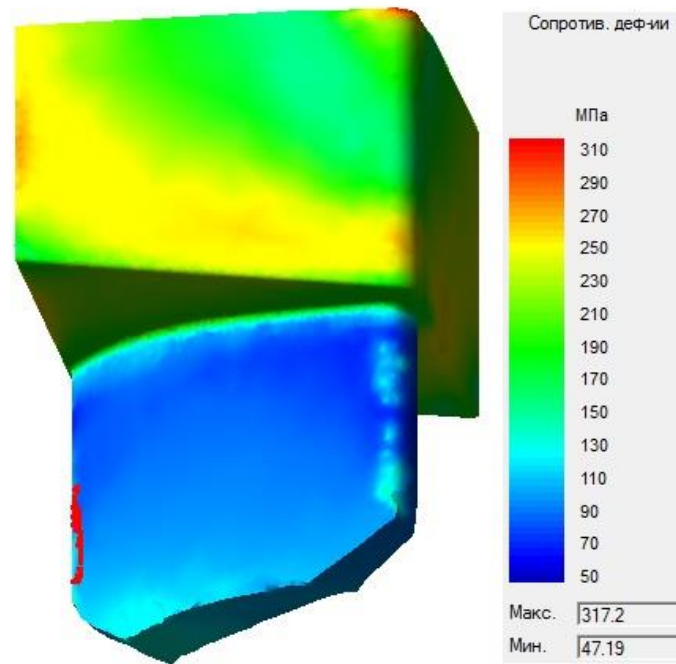
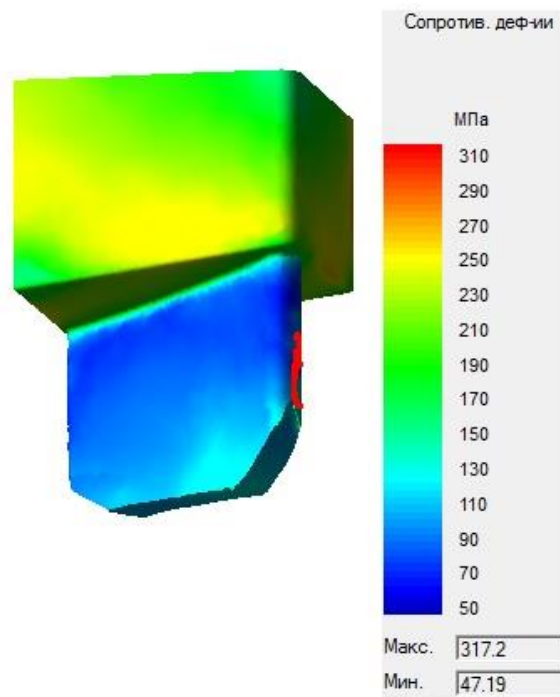


Рисунок 3.18 - Температурний показник деформації заготовки із фаскою на торцевій поверхні

На рис. 3.19 зображено опір деформуванню на спинці та кориті лопатки. Максимальний опір становить 317, МПа в зоні контакту заготовки із пуансоном на скруглених бічних гранях контейнеру та в місці затікання металу у порожнину матриці. Мінімальні значення становлять 47,19 МПа в місці сталого плину металу у пері лопатки. Якщо порівнювати ці значення із аналогічними для заготовки із плоским торцем, можна сказати, що опір деформуванню нижчий на 18%.



а



б

а – спинка лопатки; б - корито

Рисунок 3.19 – Опір деформуванню заготовки із фаскою на торцевій поверхні

На рис. 3.20 представлено характер деформації заготовки із фаскою на торцевій поверхні. Тут з'являються сплески деформації на бічних радіусах заокруглень пера лопатки до 6,441, але загальні значення на 8% нижчі, ніж при видавлюванні заготовки із плоским торцем.

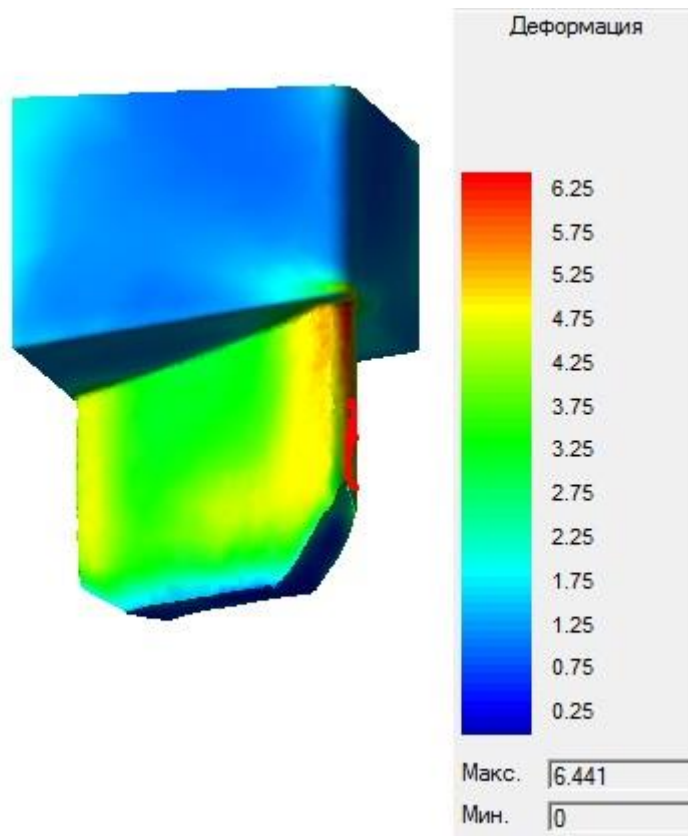


Рисунок 3.20 – Характер деформації заготовки із фаскою на торцевій поверхні

На рис. 3.21 представлено середнє напруження при видавлюванні. Аналогічно спостерігаємо зміну знаку напружень: у прес-залишку - 1031 МПа, а в перовій частині лопатки +86,16 МПа. В порівнянні із видавлюванням заготовки із плоским торцем, напруження стискання зростають на 40%, а розтягання – на 50%.

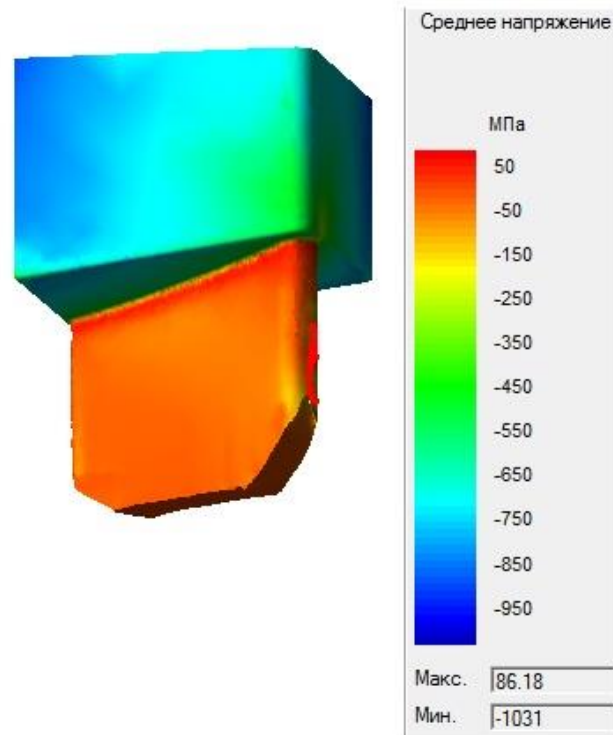


Рисунок 3.21 – Середнє напруження при видавлюванні заготовки із фаскою на торцевій поверхні

На рис. 3.22 зображено характер швидкості деформації, яка розподілена рівномірно по всій поверхні лопатки, як в прес-залишку, так і в пері лопатки. Є сплиск значення швидкості у західному пояску матриці, який становить $83,89 \text{ с}^{-1}$, на відміну від видавлювання заготовки із плоским торцем – $604,9 \text{ с}^{-1}$. Тобто, різниця між цими показниками у 7 разів. Це свідчить про більш плавний та рівномірний перебіг деформації заготовки із фаскою на торцевій поверхні.

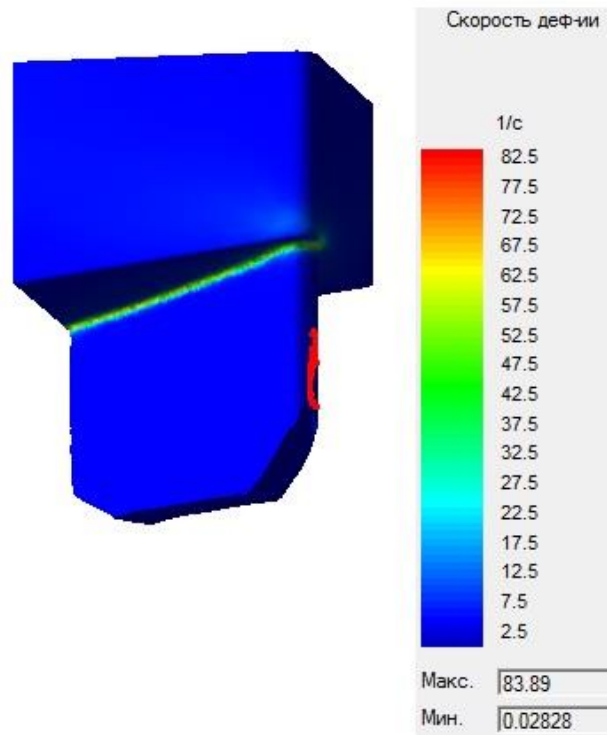


Рисунок 3.22 – Швидкість деформації при видавлюванні заготовки із фаскою на торцеві поверхні

На рис. 3.23 зображено швидкість плинину металу вздовж осі деформації. Аналогічно, як і в попередньому випадку, швидкість плинину металу у прес-залишку значно менша, ніж у пері лопатки, що пояснюється умовою постійності секундних об'ємів металу. Але, якщо порівнювати зі швидкістю при видавлюванні заготовки з плоским торцем, то отримані показники менші на 85%. Така суттєва різниця забезпечує краще заповнення затруднених елементів деталі.

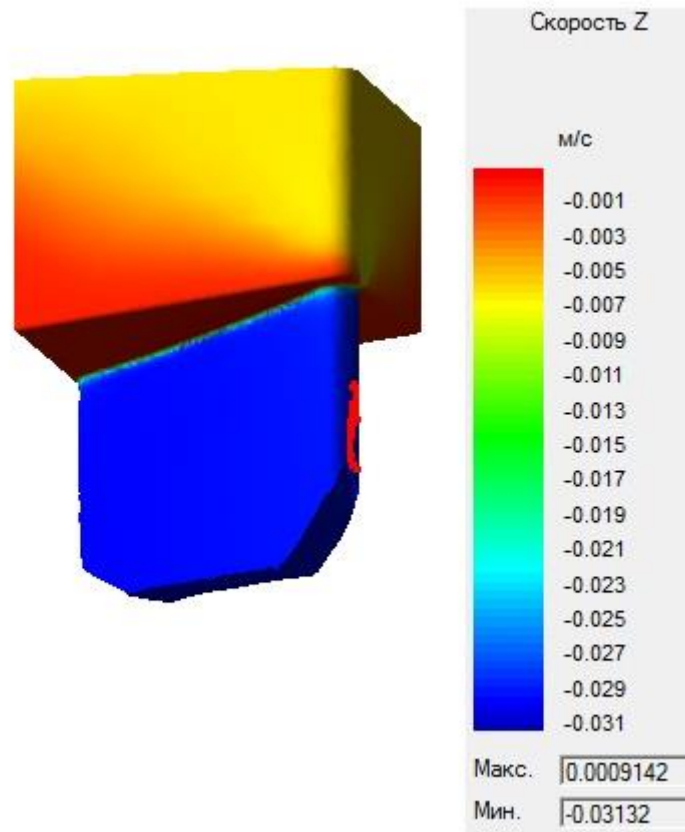


Рисунок 3.23 - Швидкість плинину металу вздовж осі деформації при видавлюванні заготовки із фаскою на торцевій поверхні

На рис. 3.24 представлено графік залежності зусилля видавлювання від кута повороту кривошипа. Характер розподілення такий самий, як і при видавлюванні заготовки із плоским торцем. Максимум становить 0,22 МН на куті повороту 7 град. Бачимо зменшення зусилля на 9% та зміщення точки максимуму по осі абсцис.

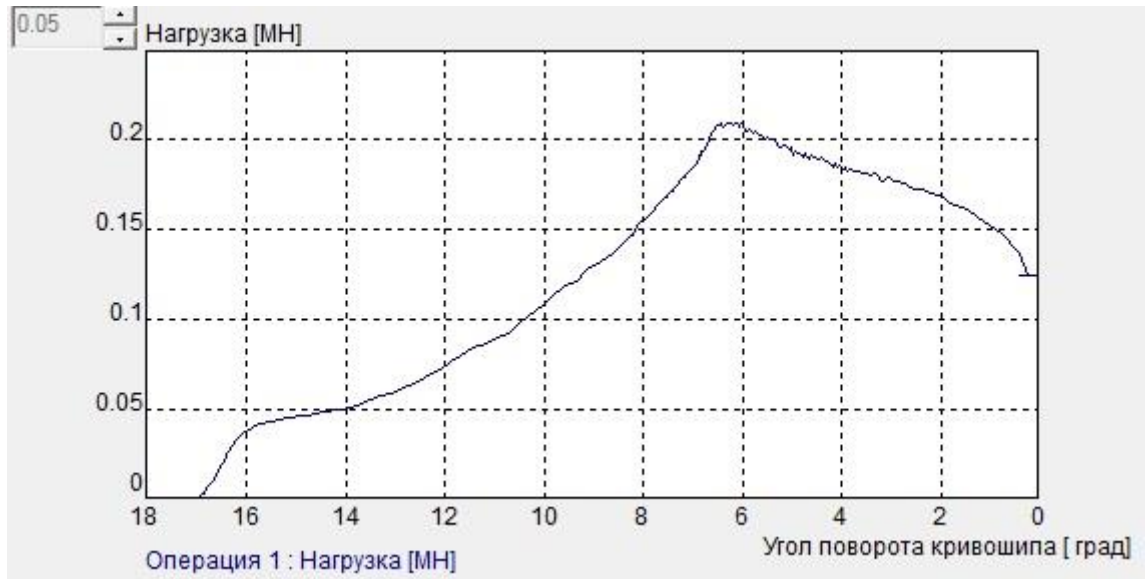


Рисунок 3.24 – Графік залежності зусилля процесу видавлювання заготовки із фаскою на торцевій поверхні від кута повороту кривошипа

На рис. 3.25, 3.26 зображено графіки залежностей потужності та роботи процесу видавлювання від кута повороту кривошипа пресу. Максимум потужності становить 0,03МВт, що на 25% нижче за попередні розрахунки, а максимум роботи – 076 кДж, що на 14% нижче за попередні розрахунки.

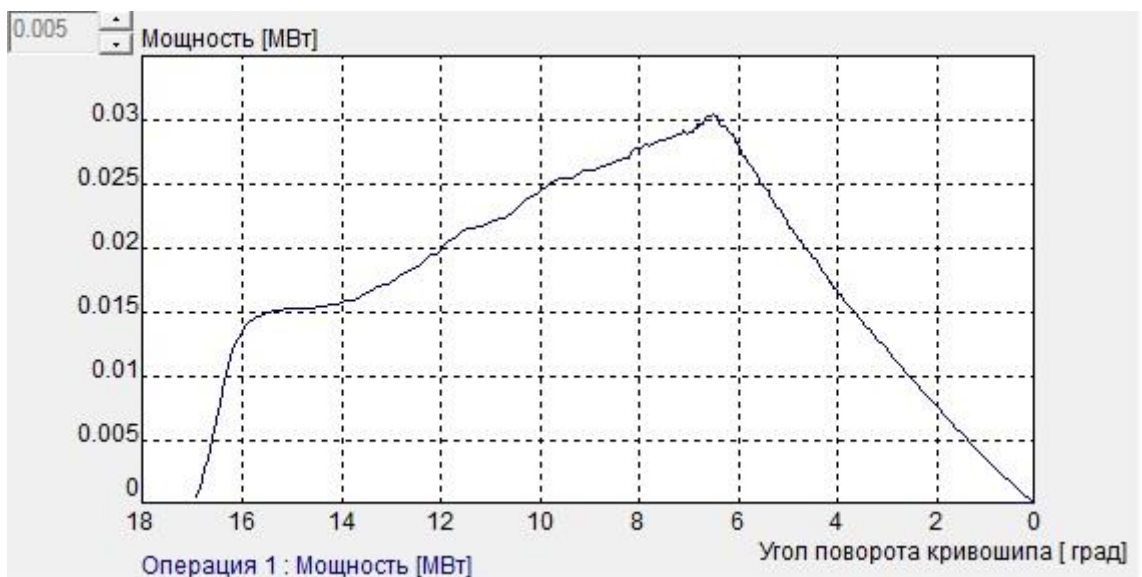


Рисунок 3.25 - Графік залежності потужності процесу видавлювання заготовки із фаскою на торцевій поверхні від кута повороту кривошипа



Рисунок 3.26 - Графік залежності роботи процесу видавлювання заготовки із фаскою на торцевій поверхні від кута повороту кривошипа

Отже, за всіма показниками можна відмітити, що процес видавлювання заготовки компресорної лопатки із вихідної заготовки із фаскою на торці є більш технологічним.

3.3 Моделювання процесу деформування заготовки зі скругленням

Заготовка №3 деформувалась найгірше. Максимальний опір деформуванню заготовка сприймала під час осаджування (рис.3.27).

Максимальне середнє напруження спостерігалось на початку деформування нв торці пера(рис. 3.28).

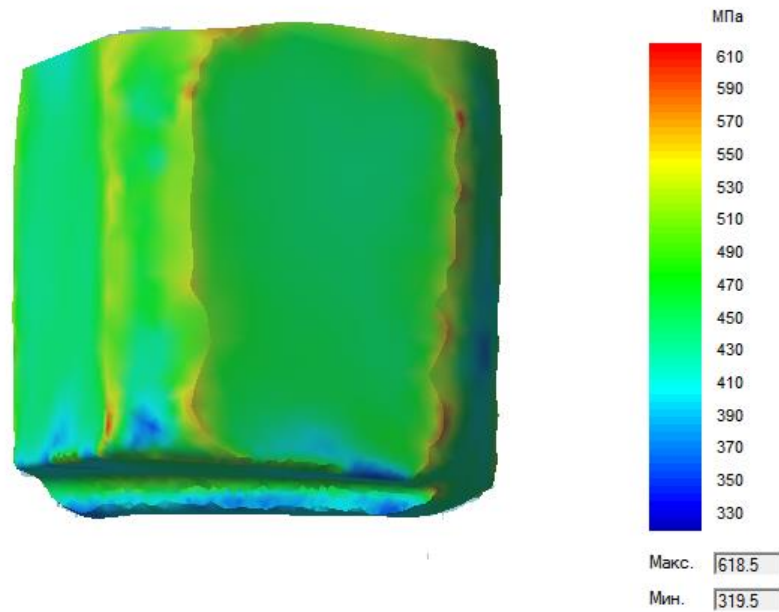


Рисунок 3.27 - Максимальний опір деформуванню на початковій стадії деформування

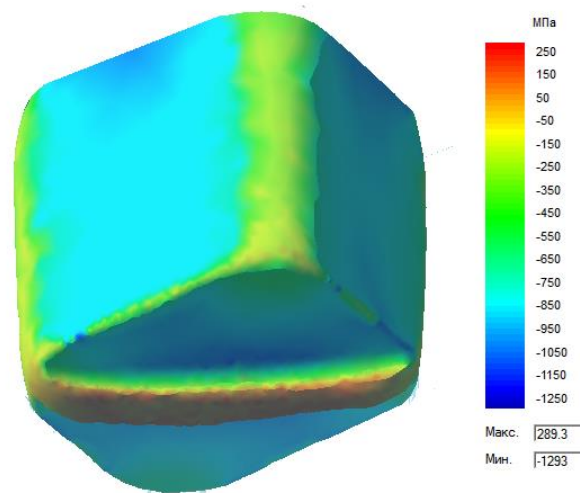


Рисунок 3.28 – Середнє напруження на прочатку процесу

Максимальна деформація (рис.3.29) заготовки була на кориті пера лопатки, на цьому ж місці був найвищий температурний показник деформації (рис.3.30).

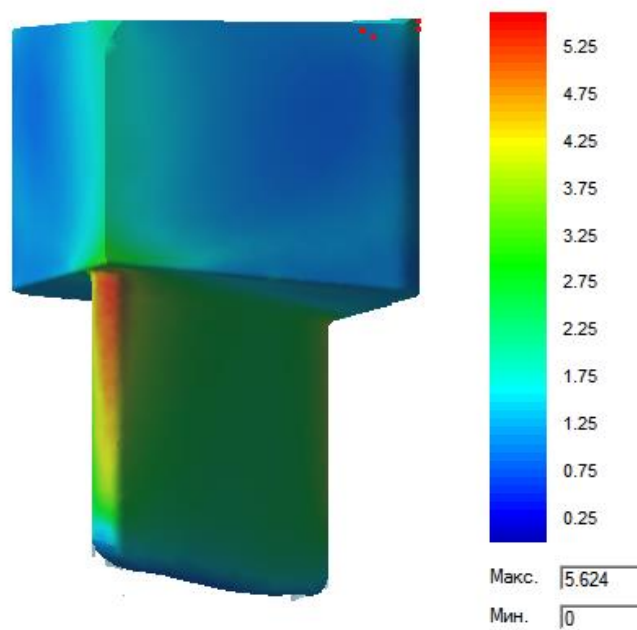


Рисунок 3.29 – Максимальна деформація заготовки №3

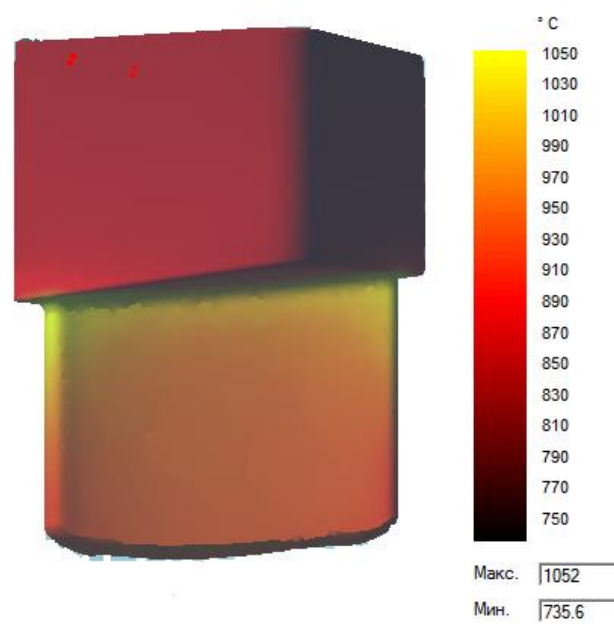


Рисунок 3.30 – Температурний показник деформації

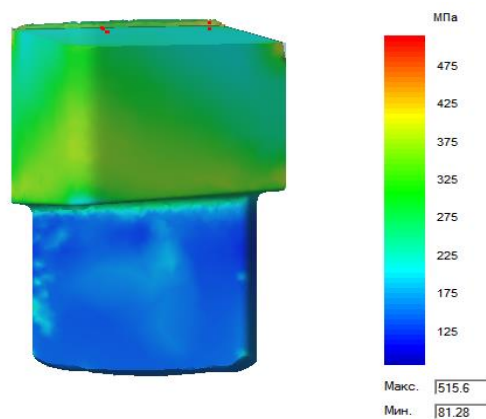


Рисунок 3.31 – Опір деформуванню

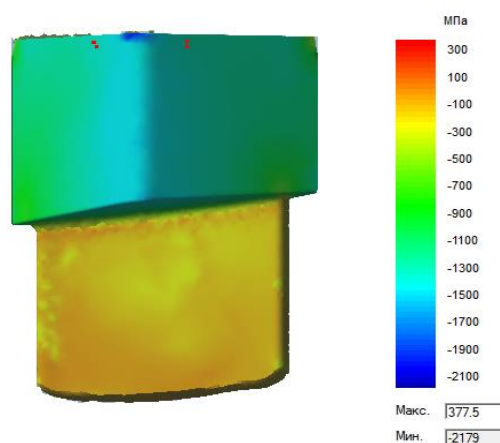


Рисунок 3.32 – Середнє напруження заготовки №3



Рисунок 3.33 – Графік зусилля деформування в залежності від кута повороту кривошипа

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при вдосконаленні виробництва деталей типу лопаток методом гарячого видавлювання.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

1. Можливість ураження електричним струмом при перебуванні в приміщенні лабораторії або при виконанні дослідницьких робіт при використанні електричного обладнання. Що може бути пов'язано з порушенням правил електробезпеки в частині відсутності навчання та перевірки знань з електробезпеки або несправності енергоспоживаючого обладнання. Зокрема: обриву захисного заземлення, відсутності огорожень струмоведучих ланцюгів, що може привести до тяжких електротравм або летального наслідку.

2. Небезпеки, які пов'язані з незадовільним станом робочих зон, в яких розміщені робочі місця дослідників, зокрема захаращеності робочого місця, не виконання вимог ергономіки, що може призвести до надмірних статистичних навантажень, захворювань опорно-рухового апарату, зниження працездатності.

3. Небезпеки, які пов'язані з безпосереднім виконанням дослідницьких робіт. Зокрема:

- можливість отримання опіків та механічних травм при проведенні попереднього нагріву заготовки перед гарячим видавлюванням.
- негативний вплив підвищених вібрацій та шуму при проведенні дослідів з гарячого видавлювання.

4. Небезпеки, які пов'язані з випробуванням механічних властивостей лопаток внаслідок порушень правил техніки безпеки при роботі з випробувальним обладнанням.

5. Небезпеки, які пов'язані з обробкою отриманих результатів з використанням ПК основні з яких є:

Негативний вплив випромінювань відео дисплейних терміналів на органи зору людини, причинами якого є перенапруга м'язового апарату ока, яка пов'язана з недостатньою контрастністю та мерехтінням зображення, відблиски та відбите світло від моніторів, крім цього втома очей настає при частій зміні огляду більш освітленого монітора та менш освітленої клавіатури, що призводить до «астенопії» (відчуття дискомфорту та біль в очах). Що може призвести до втоми, зниження працездатності, збудливості, хронічних головних болів, порушення сну або стресів.

6. Незадовільні параметри середовища в приміщенні дослідницької лабораторії. Внаслідок неефективної роботи системи опалення та повітрообміну. Що може призвести до зниження працездатності та загальних захворювань.

7. Недостатній рівень освітлення робочих зон внаслідок неоптимальної організації систем освітлення та виходу з ладу освітлювальних приладів, що може призвести до зниження працездатності та надмірного навантаження на органи зору.

8. Можливість згорянь внаслідок порушень пожежної безпеки, порушення регламенту виконання досліджень, відсутності первинних засобів пожежогасіння.

9. Небезпеки, які пов'язані з роботою в умовах надзвичайних ситуацій внаслідок невідповідності персоналу до роботи в умовах надзвичайних ситуацій.

4.2 Заходи забезпечення техніки безпеки

1. Для виключення випадків можливого ураження електричним струмом передбачені наступні заходи:

а) Організаційні заходи:

До виконання робіт допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки. Та згідно правил встановлення електрообладнання ПУЕ 2015 отримали відповідну групу з електробезпеки (при напрузі до 1000Вт – II група, при напрузі більше 1000Вт - III). Для кожного виду обладнання повинна бути складена схема безпечного управління процесу та наведена послідовність дій при аварійних ситуацій. Ремонт електрообладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал.

б) Технічні заходи:

- струмоведучі кабелі повинні бути екранованими. Обов'язковим є швидкодіючих автоматичних вимикачів, які спрацьовують при коротких замиканнях або перевантаженнях ланцюга.

- обов'язковим є устрій захисного заземлення з опором менше 4 кОм, принцип дії якого заснований на відведенні електричного струму, який з'явився на неструмопровідних елементах обладнання.

2. Для забезпечення безпечних умов праці на робочих місцях та зонах, де відбувається дослідницький процес, повинні виконуватись нормами ергономіки:

- стосовно робочих місць дослідника передбачено наявність робочого столу, конструкція якого забезпечувала би моторну досяжність. Стілець повинен бути поворотним та повинен регулюватися за висотою та кутом нахилу спинки.

Згідно ГОСТ 12.2.032 – 78. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»

- монітор ПК повинен розташовуватися на відстані від користувача в 50-60см. Глибина стола повинна дозволяти покласти лікті на стіл при використанні миші та клавіатури, що дасть змогу запобігти запаленню тунельного нерву.

- стосовно робочих зон, де розміщене дослідницьке обладнання, норми передбачають не менше одного метра ширини проходу. Суворо забороняється захаращення робочих зон. Розташування обладнання повинно відбуватись в межах технологічного ланцюга виконання досліджень. Норми безпеки передбачають 4,5 м² площі на одного працюючого, висота робочих зон не менше 2,5 м². Об'єм на одного працюючого 15 м².

3. З метою забезпечення безпеки з виконання дослідницьких робіт з гарячого видавлювання заготовки лопатки, слід дотримуватись правил з техніки безпеки при роботі з нагрівальним обладнанням, зокрема :

- використовувати захисні рукавиці для захисту рук від опіків,
- перевірити наявність зазорів безпеки на штамповій оснастці в замкнутому положенні. Для подачі заготовки або її видалення з зони деформування повинні використовуватись кліщі, пінцети або механічні виштовхувачі. Обов'язковим є надійне огороження зони деформування або встановлення автоматичних вимикачів, які здатні зупинити процес при внесенні верхніх кінцівок в зону деформування.

4. Найбільш показовим методом визначення результатів дослідницьких робіт є випробування механічних властивостей отриманих виробів. До таких властивостей відносяться: межа міцності, межа текучості, ударна в'язкість. Випробування таких характеристик виконується на універсальному обладнанні одним з яких є комплекс фірми «Instron». Основними небезпеками при випробуваннях є руйнування зразків або частин обладнання внаслідок хибного налаштування зв'язків перед випробуванням. Інсталяція фірми «Instron» має 3 ступеня попередження аварійних ситуацій зокрема: для коректного налаштування зразка використовують незалежні

ценруючі втулки, що нівелюють похибки при налаштуванні зразка. Привід гідравлічний, що поліпшує точність іспитів та випробувань, здатний здійснювати навантаження згідно комплекторної програми. При виникненні аварійної ситуації ланцюг управління знеструмлюється при збереженні системи керування.

5. Заходи запобігання напруженості та інтенсивності трудових процесів при роботі з ПК.

Режим праці й відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на ПК і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, видів і категорії трудової діяльності.

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи, згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і Зміна N I до ДК-003-95): група А - робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б - робота з уведення інформації; група В - творча робота в режимі діалогу із ПК.

Категорії тяжкості й напруженості роботи на ПК визначаються рівнем навантаження за робочу зміну: для групи А - по сумарному числу зчитувальних знаків; для групи Б - по сумарному числу зчитувальних або знаків, що вводяться; для групи В - за сумарним часом безпосередньої роботи на ПК. У таблиці наведені категорії ваги й напруженості робіт залежно від рівня навантаження за робочу зміну.

Види категорій трудової діяльності із ПК

Категорія роботи по тяжкості й напруженості	Рівень навантаження за робочу зміну при видах роботи на ПК		
	Група А Кількість знаків	Група Б Кількість знаків	Група В Час роботи, год
I	До 20000	До 15000	До 2,0
II	До 40000	До 30000	До 4,0
III	До 60000	До 40000	До 6,0

При 8-ній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви варто встановлювати:

- для першої категорії робіт через 2 години після початку робочої зміни й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна.
- для другої категорії робіт - через 2 години з початку зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна або тривалістю 10 хвилин через півгодини роботи;
- для третьої категорії робіт – через 1,5- 2,0 години від початку робочої зміни через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 20 хвилин кожна або тривалістю 15 хвилин через щогодини роботи.

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4 годин роботи, незалежно від категорії й виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин.

Тривалість безперервної роботи на ПК без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 години. Ефективними є нерегламентовані перерви (мікропаузи) тривалістю 1-3 хвилини.

Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук. а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98.

Користувачам ПК, що виконують роботу з високим рівнем напруженості, показане психологічне розвантаження під час регламентованих перерв і наприкінці робочого дня в спеціально обладнаних приміщеннях (кімнатах психологічного розвантаження).

Всі професійні користувачі ПК повинні проходити обов'язкові попередні медичні огляди при надходженні на роботу , періодичні медичні огляди з обов'язковою участю терапевта, невропатолога й окуліста, а також проведенням загального аналізу крові й ЕКГ.

4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.

1. Заходи забезпечення оптимальних метеорологічних умов в робочій зоні приміщень (це простір, в якому знаходяться робочі місця постійного або тимчасового перебування працівників).

Освітленість робочих місць відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Освітлення в приміщеннях з робочими місцями, обладнаними ВДТ ЕВМ і ПЕВМ повинно природньо.

Віконні прольоти приміщень для роботи з ВДТ обладнані регульованими жалюзі і фіранками. У проекті розраховано природне освітлення в кімнаті для працівників на ЕВМ.

2. Заходи організації системи загального рівномірного освітлення. Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, які працюють у офісних приміщеннях. Згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники.

Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень методом світлового потоку.

Приймаємо: $A \times B \times h = 16$, $h_p = 0.8$, атмосфера звичайна, штучне комбіноване освітлення(загальне), норма освітлення $E_n = 300$ лк, джерело світла – газорозрядні лампи ЛБ (висота до 6м), люмінісцентні лампи ЛПО

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{16 \cdot 10}{3,7 \cdot (16 + 10)} = 1,66$$

$$h = H - h_p = 4.5 - 0.8 = 3.7\text{м} - \text{висота розміщення світильників}$$

$$\eta_\phi = 70\% - \text{коефіцієнт використання світлового потоку}$$

$$\Phi_\varepsilon = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta_\phi} = \frac{300 \cdot 160 \cdot 1.4 \cdot 1.1}{0.52} = 142\,153.8 \text{ лм} - \text{сумарний світловий потік}$$

$$L_{max} = [L/h] \cdot h = 1.4 \cdot 3.7 = 5.18$$

$$N_p = \frac{B}{L_{max}} = \frac{10}{5.18^2} = 2 - \text{кількість рядів світильників}$$

$$N^* = A \cdot \frac{B}{L_{max}^2} = 16 * \frac{10}{5.18^2} = 6 - \text{загальна кількість світильників}$$

$N_{\text{л}} = N^* * n = 6 * 4 = 24$ – загальна кількість ламп у світильниках

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\text{г}}}{N_{\text{л}}} = \frac{142\,153,8}{24} = 5923,075\text{м} – \text{світловий потік умовного джерела}$$

Приймаємо люмінісцентну лампу ЛБ потужністю 80Вт, довжиною лампи 15 см, світловий потік 5400

$$m = \frac{5923,075}{5400} = 1,09 – \text{коефіцієнт співвідношення.}$$

$N = N^* * m = 6 * 1,09 = 6,54$ – оптимальна кількість світильників.

Приймаємо $N = 6$

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/A1:2004, 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, тощо) 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 освітленні 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 IP44 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-ВК6». 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 23.02.2018 р. 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 правил поведінки в надзвичайних ситуаціях

Порядок планування, організації, проведення і забезпечення евакуації робітників, службовців промислового об'єкта та населення.

Найбільш повне та організоване виконання заходів ЦЗ на об'єкті досягається завчасною розробкою плану заходів, які необхідно проводити при загрозі або виникненні НС. План дій органів управління і сил ЦЗ (міністерств, відомств, областей, районів, міст, підприємств, Установ і організацій) із запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій розробляється на підставі законодавчих, директивних і нормативних документів і призначений для координації і діяльності центральних і місцевих органів виконавчої влади, керівництва ОГД, а також оперативності їх реагування на загрозу і виникнення НС, відвернення або зниження можливої загибелі людей, мінімізація матеріальних збитків і втрат та організацію задоволення першочергових потреб населення, яке постраждало.

При плануванні використовуються необхідні вихідні дані та довідкові матеріали з урахуванням специфіки роботи та особливостей щодо відомчої та регіональної діяльності підприємства, організації чи установи.

Основними вихідними даними при розробці плану дій на об'єкті є рішення та вказівки вищого штабу ЦЗ (управління, відділу з НС), розпоряджень начальника ЦЗ об'єкта, документів, що характеризують об'єкт (комунально-енергетичні мережі, стан будівель і споруд, вододжерела, дані прогнозування за можливими НС та ін.).

План дій розробляється у двох (при необхідності і більше) примірниках. Підписується план дій начальником штабу ЦЗ об'єкта, погоджується з територіальними управліннями (відділами) з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи і затверджується начальником ЦЗ об'єкта (підприємства, організації, установи, незалежно від форм власності і підпорядкування). Після затвердження зміст плану дій доводиться до виконавців.

Щорічно, станом на перше січня, план коригується і вносяться відповідні зміни. Реальність плану перевіряється під час командно-штабних, комплексних об'єктових навчань та об'єктових тренувань Цивільної оборони.

План дій органів управління і сил ЦЗ із запобігання та ліквідації НС – це програма здійснення запобіжних та захисних заходів. Він дозволяє цілеспрямовано та організовано вирішувати завдання ЦЗ в умовах НС мирного та воєнного часу.

Основу плану складають заходи щодо захисту робітників, службовців і членів їх сімей. При визначенні цих заходів враховується важливість та особливості виробничої діяльності об'єкта, основні завдання органів управління та сил ЦЗ щодо запобігання і ліквідації НС.

Окремо розробляється "План дій органів управління та сил ЦЗ об'єкта при переведенні з мирного на воєнний стан" за ступенями готовності воєнного часу та рпн раптовому нападі супротивника.

Евакуація населення – це один із заходів захисту населення у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу, під розосередженням мається на увазі організований вивіз з міст і інших населених пунктів, розміщення в зоні за містом вільної від праці зміни і службовців, які продовжують роботу у надзвичайних ситуаціях. До категорії розосередження відноситься також персонал об'єктів, які забезпечують життєдіяльність міста. Робітники і службовці, які відносяться до категорії розосередження після вивозу і розселення їх, позмінно виїжджають в місто для роботи на своїх підприємствах, а по закінченні роботи повертаються в зону за містом для відпочинку.

Кожному підприємству, навчальному закладу міста, з якого планується розосередження і евакуація, в заміській зоні призначається район розміщення, який в залежності від кількості робітників, службовців і членів їх сімей може включати один або декілька розміщених поряд населених пунктів.

Райони розселення робітників і службовців в заміській зоні повинні знаходитись на такій відстані від міста, яка гарантувала б їх безпеку, а на переїзд людей для роботи в міста і їх повернення в заміську зону для відпочинку витрачалась би мінімальна кількість часу. Райони розселення розосереджених доцільно також розміщувати поблизу залізничних станцій і автомобільно-шляхових магістралей.

Робітників і службовців підприємства, яке переносить свою виробничу діяльність у заміську зону, розташовують поблизу виробничих баз за районами розміщення робітників і службовців підприємств, які продовжують працювати в місті.

Безпосередньо організацією і проведенням евакуаційних заходів займаються начальники і штаби цивільної оборони у містах, районах. Розосередження і евакуацію організовують та проводять після отримання розпорядження про їх проведення.

Для проведення розосередження і евакуації використовуються всі види громадського транспорту (залізничний, автомобільний, водний), не зайнятого воєнними і невідкладними виробничими і господарськими перевезеннями, а також транспорт індивідуального користування. Для вивозу населення залізничним і водним транспортом використовують пасажирські поїзди, теплоходи, а при їх нестачі – і товарні вагони, вантажні судна та баржі.

Виключно велике значення має забезпечення в заміській зоні розосереджених робітників, службовців та членів їх сімей, а також евакуйованого населення продуктами харчування, надання їм побутових послуг і медичного обслуговування. Забезпечення населення продуктами харчування і предметами першої необхідності покладається на службу торгівлі і харчування сільського району. Перші дві доби люди повинні харчуватися запасами продуктів, привезених з собою. Комунально-побутове обслуговування в районах розміщення покладають на місцеві комунально-побутові служби. Кількість їх при необхідності може бути збільшена за

рахунок розгортання у замській зоні комунально-побутових служб евакуйованим населенням.

Медичне обслуговування населення покладають на існуючу мережу лікувальних закладів: лікарні, поліклініки, сільські медичні пункти і аптеки. Робота їх у надзвичайних умовах мирного і воєнного часу різко ускладнюється, тому що крім загальних хворих можуть поступити люди, уражені радіоактивними, хімічними речовинами і біологічними засобами. Значно зростає роль надання медичної допомоги вдома. Тому вживають заходи до розширення мережі швидкої медичної допомоги, поліклінік, лікарень і медичних пунктів, а також по збільшенні чисельності медичних кадрів, залучають до роботи лікарів, медичних сестер, фельдшерів із евакуйованого населення і осіб, які мають медичну підготовку.

Проробляється кілька варіантів евакуації в залежності від характеру і масштабів аварій, метеоумов і можливої радіаційної обстановки; у випадку термінової евакуації збірні евакопункти не розгортаються.

Документом, який визначає термін і порядок проведення евакуації, є розділ плану ЦЗ на мирний час. Він стосується захисту населення при аваріях на підприємствах, що використовують у своєму виробництві отруйні речовини.

Планування евакуації населення, яке мешкає поблизу хімічно небезпечного підприємства, здійснюється по кожному об'єкті.

При плануванні евакуації враховують:

- небезпечні концентрації отруйних речовин можуть зберігатися від декількох годин до декількох діб;
- незначне ураження людей отруйними речовинами через шкіру не потребує застосування засобів захисту шкіри при евакуації;
- особливості розповсюдження отруйних речовин.

У зв'язку із швидким розповсюдженням хмари сильнодіючої отруйної речовини збірні евакопункти не розгортаються. В умовах значної відстані від місць аварії евакуацію необхідно проводити комбінованим способом. Зони

хімічного зараження при аваріях з розливанням СДОР можуть мати довжину від десятків метрів до десятків кілометрів. Це буде залежати від кількості розливої СДОР, її виду, умов зберігання, а також від швидкості вітру і вертикальної стійкості повітря. Дуже важливо враховувати напрямок вітру, який може бути від 0° до 360° . У зв'язку з цим у плані ЦЗ повинно бути кілька варіантів відселення в залежності від напрямку вітру. Маршрути евакуації вибирають перпендикулярно до розповсюдження хмари СДОР. Розміщення евакуйованих планується в населених пунктах, що знаходяться за межею хімічного зараження, у будинках житлового сектора. У теплу погоду для розміщення евакуйованих використовують намети. Відстань евакуації залежить від масштабу аварії, і як правило, не перевищує 15 км від зони хімічного зараження. У пунктах тимчасового відселення передбачається розгортання медпунктів, підприємств торгівлі і інших необхідних засобів, які забезпечують життєдіяльність евакуйованого населення.

Проведення евакуації. Штаб ЦЗ про аварію на хімічно небезпечному підприємстві сповіщає населення, доводить інформацію про аварію керівництву ЦЗ. Почувши текст сповіщення про аварію на хімічно небезпечному підприємстві, люди, які знаходяться в квартирах (будинках), негайно зачиняють вікна, вимикають нагрівальні прилади, газ, гасять вогонь. Попереджують сусідів. Одягають дітей та швидко виходять із зони хімічного зараження.

Якщо їх не буде близько, то потрібно йти у сторону, перпендикулярну до напрямку вітру бажано на підвищеній місцевості, яка добре продувається. Після виходу із ЗХЗ люди направляються на пункти збору, де розподіляються на тимчасове поселення. Якщо дозволяє час і відстань від осередку хімічного ураження, то евакуація проводиться через ЗЕП. Організовується реєстрація, виділяється транспорт, формуються піші колони. Населення евакуюється у призначені райони, де тимчасово влаштовується органами державної влади. Евакуація при катастрофічних затопленнях.

Особлива увага приділяється плануванню і організації евакуації у випадку неочікуваного зруйнування споруд, гідровузлів при аваріях і стихійному лиху. У цих випадках на ділянках надзвичайного затоплення планується самостійний вихід населення і відгін сільськогосподарських тварин за зону можливого катастрофічного затоплення за найкоротшими маршрутами.

При загрозі прориву гідроспоруд передбачається евакуація населення і тварин з усієї зони 4-годинного добігання хвилі прориву.

Планування евакуації здійснюється по кожній зоні катастрофічного затоплення.

При плануванні визначається:

- кількість людей, які проживають в зоні катастрофічного затоплення;
- кількість сільськогосподарських тварин по видах у зоні катастрофічного затоплення;
- перелік населених пунктів, які знаходяться в зонах надзвичайно небезпечного затоплення з поміткою чисельності населення;
- перелік ОНГ, із них дитячих дошкільних закладів, шкіл, будинків перестарілих, інвалідів та чисельність людей по кожному із них;
- маршрути виводу і вивозу евакуйованих, їх можлива пропускна спроможність і справність мостів та інших споруд.

ВИСНОВКИ

1. В роботі проаналізовані методи виробництва лопаток різних типів, різного призначення.
2. Проведений аналіз існуючої технології штампування лопатки методом гарячого видавлювання. Приведені можливі шляхи оптимізації цього методу.
3. Спроектвана 3-D моделі заготовки під штампування та інструментів деформування(матриці та пуансону).
4. Методологія і методи дослідження: системний підхід до вирішення сформульованих завдань методом кінцевих елементів з використанням програмного забезпечення QForm 4.3.
5. За результатами проведеної роботи в QForm 4.3 зроблені висновки, що найраціональніша форма заготовки для деформування гарячим видавлюванням є заготовка з фаскою на торцевій поверхні. Виявлені температурні та деформаційні параметри кожної з трьох заготовок. Також виявлено, що при найвищому спротиву деформації відповідає найнижча температура. А найвища деформація відбувається при найвищому температурному показнику.
6. Наявність скосу на дні матриці (через конструктивні особливості хвостовика лопатки) та гостра кромка на торці вихідної круглої заготовки сприяють утворенню дефекту у вигляді закова в початковий момент осаджування. Крім того, виникненню невідповідностей сприяє неперпендикулярність торців вихідної заготовки. Таким чином, причиною виникнення заковів при видавлюванні заготовок лопаток із титанового сплаву є поєднання двох несприятливих факторів. Застосування заготовки із фаскою, як показали дослідження, виключає зминання та заков кромки при випадковому несприятливому положенні в контейнері матриці, так як в цьому випадку метал, що видавлюється одразу проникає в перову частину

матриці, покращуються кінематичні показники його плину.

Таким чином, застосування круглої заготовки з радіусом між торцем і циліндричною поверхнею $R 4^{+2}$ мм та фаскою дозволяє усунути невідповідність по заковам, зменшити ручне зачищення в 2 рази і збільшити стійкість штампів на 10%

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Терещенко Ю.М.** Теорія авіаційних газотурбінних двигунів: підручник для студ. вузів III-IV рівнів акредитації за напрямом "Авіація та космонавтика"[Текст] / Ю. М. Терещенко, Л. Г. Волянська, Н. С. Кулик, В. В. Панін; під ред. Ю. М. Терещенко: Національний авіаційний університет, Київ: НАУ, 2005, 498 [2] с., Іл
2. **Кулагін, Ю.В.** Технологічні особливості виготовлення лопаток компресора ГТД із титанових сплавів із застосуванням гвинтової екструзії [Текст] / Ю. В. Кулагін, Я. Е. Бейгельзімер, В. Н. Варюхін, Д. В. розпірні // Вісник двигунобудування. – Запоріжжя, 2012. - № 1. - С. 92-97.
3. **Бень А.Н.** Вдосконалення технології виробництва виробів газотурбінних двигунів типу лопаток [Текст]/А.М. Бень, Т.С.Коноваленко// Вісник машинобудування-2018
4. **Богуслаєв В.О.,** Муравченко Ф.М. і ін. Технологічне забезпечення експлуатаційних характеристик деталей ГТД. Лопатки турбіни. Частина 2. Монографія – Запоріжжя, вид. АО «Мотор Січ», 2010р.- 430 с
5. **Кресанов Ю.С.** Вплив процесів точної штампування і холодного вальцювання пера робочих лопаток компресора з жароміцних сплавів на якість їх виготовлення [Текст] / Ю. С. Кресанов, А. В. Богуслаєв, А. Я. Качан, Л. І. Гасик // Вісник двигунобудування. - 2010. - № 1. - С. 60-71.
6. **Богуслаєв В. С.** та ін. Виготовлення деталей газотурбінних двигунів з титанових сплавів [Текст]/ В. О. Богуслаєв, А. І. Долматов, В. С. Кривцов. - Запоріжжя: Мотор Січ, 1997. - 290 с.
7. **Задворний Е.А** Аналіз впливу пошкодження матеріалу на напружено-деформований стан лопаток газотурбінних двигунів [Текст] / Е. А. Задворний, Л. В. Кравчук, К. П. Буйських та ін. // Проблеми міцності. - 2015. - № 6 (438). - С. 23-30.
8. **Шальнов В. А.** Шліфування і полірування лопаток газотурбінних двигунів [Текст]/ В. А. Шальнов. - Москва: Оборонгиз, 1958. - 350 с.

9. **Семенченко І. В.** Підвищення надійності лопаток газотурбінних двигунів технологічними методами [Текст]/ І. В. Семенченко, Я. Г. Мірер. - М.: Машинобудування, 1977. - 159 с.
10. **Полетаєв В.А.** Технологія автоматизованого виробництва лопаток газотурбінних двигунів [Текст]/ В. А. Полетаєв. - Москва: Машинобудування, 2006. - 255 с.
11. **Богуслаєв В.А.** Технологія виробництва авіаційних двигунів: Навч. посіб. [Текст]/ В.А. Богуслаєв, А.Я. Качан, В.К. Яценко та ін; Під ред. В.А. Богуслаєва.
12. **Богуслаєв В.О.** Технологія виробництва авіаційних двигунів: Монографія[Текст] / Богуслаєв В.О., Качан А.Я., Мозговий В.Ф., Кореневський Е.Я. - Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2000. - 944 с.
13. **Локай В.Й.** Газові турбіни двигунів літальних апаратів: Теорія, конструкція і розрахунок: навч. для вузів по спец. "Авіація. Двигуни і енергетичні установки [Текст]/ В. Й. Локай, М.К.Максутова, В. О. Стрункін. - 4-е изд., Перераб. і доп. - М.Машинобудування. 1991. - 511 с. : А-іл
14. **Левін А.В.** Міцність і вібрація лопаток і дисків парових турбін [Текст]/ А. В. Левін, К. Н. Борішанській, Е. Д. Консон. - Л. : Машинобудування, 1981
15. **Арсеньєв Л.В.** Комбіновані установки з газовими турбінами [Текст]/ Арсеньєв Л. В., Тиришкін В. Г. -Л. : Машинобудування, 1982 р
16. **Трояновський Б.М.** Парові турбіни атомних електростанцій: Навчальний посібник для вузів [Текст]/ Б. М. Трояновський, Г. А. Філіппов, А. Е. Булкін - М. : Вища школа, 1985
17. **Качанов І. В.** Швидкісне гаряче видавлювання стрижневих виробів [Текст]/ І. В. Качанов; під ред. Л. А. Ісаєвича. Мн.: УП «Технопрінт», 2002.. 327 с
18. **Качанов І.В.** Комп'ютерне моделювання ресурсозберігаючої технології швидкісного гарячого видавлювання біметалічного стрижневого інструмента [Текст]/ І. В. Качанов [и др.] // Наука - освіті, виробництва,

економіці: матеріали 13-й Міжнародній науково-технічній конференції.- Мінськ: БНТУ, 2015. - Т . 1. - С. 349

19. **Кресанов А.Я.** Вплив параметрів гарячого видавлювання заготовок робочих лопаток компресора на якість їх виготовлення [Текст]/ Ю. С. Кресанов, А. Я. Качан, В. В. Чигиринський, А. Н. Бень // Вісник двигунобудування. - 2009. - № 2. - С. 108-115

20. **Чигиринський В. В.** Дослідження течії металу при видавлюванні заготовок компресорних лопаток [Текст]/ В. В. Чигиринський, А. Н. Бень // Машины и пластична деформація металів. - Запоріжжя, 2012. - С. 86-87.

21. **Бень А.Н.** Дослідження процесу виготовлення біметалічних заготовок компресорних лопаток авіадвигунів методом видавлювання. [Текст]/ Бень А.Н. // Вісник двигунобудування. - 2009. - № 2.

22. **Овчинников А. Г.** Основи теорії штампування видавлюванням на пресах[Текст] / А. Г. Овчинников. - М.: Машинобудування, 1983. - 200 с.

23. **Кузнєцов Д. П.** Технологія виготовлення напівгарячим видавлюванням порожніх деталей штампів и прес-форм [Текст]/ Д. П. Кузнєцов, Б. П. Рудаков, В. А. Кудрявцев. - Ленінград: ЛДНТП, 1982. - 32 с.- (прогресивний формоутворення, Металознавство и термічна обробка)

24. **Дмитрієв А. М.** Розрахунки штампування видавлюванням [Текст]/ А. М. Дмитрієв, А. Л. Воронцов // Довідник "Інженерний журнал": Додаток. - 2005. - № 2. - С. 2-24

25. **Дубина В. І.** Напівгаряче видавлювання заготовок з високоміцних сталей[Текст] / В. І. Дубина, С. С. Климов // Тиждень науки. - Запоріжжя, 2013. - С. 45-46.

26. **Дубина В.І.** Методика побудови графіків зусилля деформації при холодному видавлюванні [Текст]/ В. І. Дубина, В. В. Широкобоков, А. Ф. Бичевий, А. В. Засовенко // Машины и пластична деформація металів. - Запоріжжя, 2012. - С. 84-85.

27. **Тетерін Г.П.** Основи оптізації і автоматизації проектування технологічних процесів гарячого об'ємного штампування [Текст]/ Г. П. Тетерін, П. І. Полухін. - М.: Машинобудування, 1979. - 284 с.
28. **Джонсон В.** Механіка процесу видавлювання металу [Текст]/ В. Джонсон, Х. Кудо; Пер. з англ. Л.Б.Вульфовіча, Б.А.Прудковського; Під ред. М.З.Ерманка. - М.: Металургія, 1965. - 174 с.
29. **Євстратов В.А.** Основи технології видавлювання і конструювання штампів: монографія [Текст]/ В. А. Євстратов.- Харків:Вища шк.,1987. - 144с.
30. **Соколов Н. Л.** Гаряче штампування видавлюванням сталевих деталей [Текст]/ Н. Л. Соколов. - М.: Машинобудування, 1967. - 191 с.
31. **Кресанов Ю. С.** Періодичне прокатування заготовок лопаток компресора газотурбінних двигунів з аеродинамічним профілем [Текст]/ Ю. С. Кресанов, А. В. Богуслаєв, А. Я. Качан // Вісник двигунобудування. - 2006. - № 2. - С. 95-101.
32. **Ідзон М.Ф.** Механічна обробка лопаток газотурбінних двигунів [Текст]/ М.Ф. Ідзон. - М.: Оборонгиз, 1963. -328 с.
33. **Богоявленський К.М.** Виготовлення деталей пластичним деформуванням [Текст]/ під ред. К.М. Богоявленського, П.В. Камнева. - Л.: Машинобудування, 1975.-с. 426.
34. **Богуслаєв В.А.** Технологічне забезпечення експлуатаційних характеристик деталей ГТД. Лопатки компресора і вентилятора: монографія, частина I. [Текст] / [В.А. Богуслаєв, Ф.М. Муравченко, П.Д. Жеманюк [та ін.] // Запоріжжя: вид. АТ «Мотор Січ», 2003. - 369 с.
35. **Омельченко В.І.** Точне штампування робочих лопаток компресора зі сплаву ВТ8 [Текст]/ В.І. Омельченко, П.С. Банас, М.С. Кунин [та ін.] //Авіаційна промисловість. - 1969 - №10). - С. 3 - 6,
36. Спосіб виготовлення соплових і напрямних лопаток газотурбінних двигунів [Текст]/ ім.В.І.Омельченко, Ю.С. Кресанов, Д.Я. Ромашко [та ін.] // № 788522, 1980 Бюл.№46.

37. **Кресанов Ю.С.** Технологічні особливості виготовлення лопаток ГТД і титанових сплавів точним штампуванням і холодним гнуттям. [Текст] / Ю.С. Кресанов, ВД. Биков. М.Г. Вейн // *Авіаційна промисловість* -19, №6. - с.17 – 19
38. **Омельченко В.І.** Вплив вихідної заготовки на точну штампування і холодну вальцювання робочих лопаток компресора. [Текст] / В.І. Омельченко, Ю.С Кресанов, М.В, Сонькин. / *Авіаційна промисловість*. - 1974.-№8.-С. 15-18
39. **Омельченко В.І.**Виготовлення робочих лопаток компресора зі сталі 1Х17Н2 [Текст]/ В.І. Омельченко. П.С. Банас. Сонькин М.В [та ін.] // *Авіаційна промисловість*. - 1974, - №1. - С. 17-20.
40. **Шащин Є.Г.** Точне штампування лопаток газових турбін [Текст]/ Є.Г. Шащин // *Енергомашинобудування*. - 1984.-№8 - С. 23-24.
41. **Томльонов А.Д.** Теорія пластичних деформацій металів [Текст]/ АТ. Томльонов, - М .: Машгиз, 1951.- 127 с
42. **Сторожев М.В.**Кування і об'ємне штампування сталей: Довідник [Текст]/ під ред. М.В.Сторожева. - Изд. 2-е перераб. - М: Машинобудування, 1967. - Т2. - 448 с.
43. **Бабенко Т.А.**Точне штампування заготовок лопаток компресора: зб. НИАТ «Технологія і організація авіаційного виробництва» [Текст]// Т.А. Бабенко, Н.А. Кравченко, МЛ. Кулешов та ін. - М .: ГНТІ «Оборонгиз». - 1960. -№13.- С. 41-54.
44. **Князєв, Я.О.** Інноваційна технологія штампування компресорних лопаток невеликої довжини. [Текст]/ Осадчий В.Я., Леняшін В.Б., Князєв Я.О. // *Заготівельне виробництво* - 2013. - № 3 - С. 22-25.
45. **Боткин А.В.** Комп'ютерне проектування ізотермічного штампування імітатора компресорної лопатки. [Текст] // Боткин А.В., Вареник Е.В., Абрамов А.Н.// *Вісник МГТУ ім. Г.І. Носова*. / 2017., №2-с.40-47.

46. **Кримов В.В.** / Виробництво газотурбінних двигунів [Текст]/ Под ред. В.В. Кримова. М .: Машинобудування / Машинобудування-Політ, 2002, 376с

47. **Jones Sam L.** Boring seales back forming program Sealed Bake by Boling / Jones Sam L. // «Metalwork News». - 1988. - 15, №677. - s. 31.

48. **Heinrits M., Essel K.** Herstellen Von Schmiedestiiken fiir die Luftfahrtnindustrie //Thyssen Techn. Ber. - 1988. - 20, №2. - S. 463 - 468.