

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

(повна назва інституту/факультету)

Механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.7-621. 983

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

Тітов В.А.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2018р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і назва)

на тему: Виготовлення опорного катка БМ «Оплот» з необхідними
механічними властивостями

Виконав: студент 6 курсу, групи МД-73мп

(шифр групи)

Брензей Андрій Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: доц.,к.т.н., Горностай Вадим Миколайович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) механіко-машинобудівний
(повна назва)

Кафедра механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою
програмою

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

Спеціалізація _____

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Брензею Андрію Олеговичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Виготовлення опорного катка БМ «Оплот» гарячим
штампуванням з необхідними фізико механічними властивостями

наук. керівник дисертації доц., к.т.н., Горностаєв Вадим Миколайович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації 13 грудня 2018

3. Об'єкт дослідження процес гарячого штампування опорного катка з
необхідними фізико механічними властивостями.

4. Предмет дослідження особливості та закономірності гарячого
штампування опорного катка з необхідними фізико механічними
властивостями

5. Перелік завдань, які потрібно розробити виконання чисельне
моделювання процесу гарячого штампування опорного катка з необхідними

фізико механічними властивостями в системі CAD/CAE DEFORM 2D і 3D, визначити силові режими та напружено-деформований стан, температурний режим штампування та фізико механічні властивості кінцевого виробу

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу до 20 слайдів _____

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 стаття , 1 тези. _____

8. Консультанти розділів дисертації**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі 72 сторінок, в тексті наведено 47 рисунків, 4 таблиць. В даній атестаційній роботі використано 25 найменування бібліографічних посилань.

Моделюванням методом скінченних елементів встановлені параметри гарячого штампування поковки диска опорного катка БМ «Оплот» з попередньої виливки із сплаву В93пч із заданим опрацюванням структури металу пластичною деформацією для забезпечення механічних властивостей в стінці після термообробки. Моделюванням визначені форма і розміри вихідної заготовки, температура підігрівання деформуючого інструменту, зусилля штампування, зусилля виштовхування виробу з матриці, питомі зусилля на інструменті, зміна температури металу при формозміні, напружено-деформований стан заготовки, кінцеві форма і розміри виробу. За результатами розрахункового аналізу спроектований і виготовлений штамп для гарячого штампування і проведені експериментальні дослідження на гідравлічному пресі. Виконані випробування на розтягування стандартних зразків, які вирізані із стінки виробу після термообробки. Визначені умовна межа плинності, межа міцності, відносне подовження і твердість. Дані випробувань відповідають заданим значення механічних властивостей.

За результатами проведених чисельних та натурних експериментів було визначено оптимальну форму вихідної заготовки для отримання кінцевого виробу опорного катка БМ «Оплот» гарячим штампуванням на гідравлічному пресі ДБ 2436 зусиллям 4МН. Розроблено та спроектоване штампове оснащення з застосуванням електричного підігріву що значно спрощує підготовку виробництва, скорочує час штампування та дає можливість підвищити якість умов праці робітників та корегування умов штампування для отримання кінцевого виробу необхідної якості.

Ключові слова:

Гаряче штампування із потоншенням стінки, гаряче штампування опорного диска, гаряче штампування поковки диска з попередньої виливки, метод скінчених елементів

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация состоит из 72 страниц, в тексте приведены 47 рисунков, 4 таблиц. В данной аттестационной работе использованы 25 наименования библиографических ссылок.

Моделированием методом конечных элементов установлены параметры горячей штамповки поковки диска опорного катка БМ «Оплот» с предварительной отливки из сплава В93пч с заданной обработкой структуры металла пластической деформацией для обеспечения механических свойств в стенке после термообработки. Моделированием определены форма и размеры исходной заготовки, температура подогрева деформирующего инструмента, усилия штамповки, усилия выталкивания изделия из матрицы, удельные усилия на инструменте, изменение температуры металла при формозминении, напряженно-деформированное состояние заготовки, конечные форма и размеры изделия. По результатам расчетного анализа спроектирован и изготовлен штамп для горячей штамповки и проведены экспериментальные исследования на гидравлическом прессе. Выполнены испытания на растяжение стандартных образцов, вырезанных из стенки изделия после термообработки. Определены условная граница текучести, предел прочности, относительное удлинение и твердость. Данные испытаний соответствуют заданным значениям механических свойств.

По результатам проведенных многочисленных и натурных экспериментов было определено оптимальную форму исходной заготовки для получения конечного изделия опорного катка БМ «Оплот» горячей штамповкой на гидравлическом прессе ДБ 2436 усилиям 4МН. Разработан и спроектирован штамповая оснастка с применением электрического подогрева значительно упрощает подготовку производства, сокращает время штамповки и дает возможность повысить качество условий труда рабочих и

корректировки условий штамповки для получения конечного изделия требуемого качества.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of 72 pages, in the text there are 47 figures, 4 tables. In this attestation work 25 names of bibliographic references are used.

The modeling of the finite element method is based on the parameters of hot stamping of fork of the disk of the reference roller BM "Oplot" from the pre-casting of the alloy B93pch with a given elaboration of the metal structure by plastic deformation to provide mechanical properties in the wall after heat treatment. The model defines the shape and size of the initial workpiece, the temperature of the heating of the deforming tool, the stamping effort, the force extruding the product from the matrix, the specific forces on the instrument, the change in the temperature of the metal at the molded, strained, deformed state of the workpiece, the final shape and size of the product. According to the results of the calculation analysis, a stamp for hot stamping was designed and manufactured and experimental research was carried out on the hydraulic press. Tests on stretching of standard samples, which are cut from the product wall after heat treatment, have been performed. The conditional yield strength, strength, relative elongation and hardness are determined. These tests correspond to a given value of mechanical properties.

According to the results of the conducted numerical and field experiments, the optimum form of the initial workpiece was determined for the final product of the BMB "Oplot" support roller by hot stamping on the hydraulic press DB 2436 by the 4MN effort. Designed and designed die-casting equipment with the use of electric heating which greatly simplifies the preparation of production, reduces the time of stamping and gives the opportunity to improve the quality of working conditions of workers and adjust the stamping conditions to obtain the final product of the required quality.

ЗМІСТ

	ВСТУП	
1.	АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	
2.	ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.	РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1.	Визначення впливу температури підігріву інструменту	
3.2.	Визначення впливу коефіцієнту тертя	
4.	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
5	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ОПОРНОГО КАТКА БМ «ОПЛОТ»	
	ВИСНОВКИ	

ВСТУП

Актуальність роботи. Вирішення будь якої практичної задачі з розробки технологічного процесу потребує певного часу та матеріальних затрат. Сучасні засоби чисельного моделювання дозволяють скоротити час та мінімізувати витрати на експериментальні дослідження. Однією з багатьох прикладних задач з якими стикається сучасна промисловість є необхідність отримання виробів з заданими фізикомеханічними властивостями без значних витрат на впровадження технологічного процесу в виробництво.

Як показує аналіз стану виробництва комплектуючих частин до бойових машин різного класу лівова їхня частка до останнього часу виготовлялась за межами України. Наприклад, катки для БМ "ОПЛОТ" виробляються в Російській Федерації. Існуюча технологія потребує потужного технологічного обладнання, зокрема молоти для гарячого штампування потужністю 200МН, які відсутні на Українських підприємствах. Тому розробка технологічних процесів виготовлення різних складових частин сучасної техніки для негайних потреб вітчизняного виробництва під існуюче технологічне устаткування та можливості промислового виробництва є досить **актуальною науково-практичною задачею.**

Робота виконана в рамках г/д роботи №1752 дп.

Мета роботи - розрахункове визначення параметрів і розробка технології гарячого штампування поковки диска опорного катка БМ «Оплот» з попередньої виливки із високоміцного алюмінієвого сплаву В93пч з необхідним опрацюванням структури металу пластичною деформацією по висоті стінки.

Задачі досліджень:

1. Провести огляд літературних джерел та проаналізувати стан питання отримання опорних катків з високоміцних алюмінієвих сплавів;

2. Визначити основні напрямки дослідження процесу гарячого штампування опорного катка під певний тип технологічного обладнання;
3. Провести чисельне моделювання процесу гарячого штампування модельної заготовки опорного катка та визначити параметри процесу для отримання необхідного пропрацювання структури стінки катка
4. Провести натурний експеримент для перевірки отриманих теоретичних результатів
5. Розробити технологічне оснащення для отримання заготовки опорного катка БМ «Оплот»

Об'єкт дослідження – процес гарячого штампування високоміцного алюмінієвого сплаву В93-пч з потоншенням стінки для забезпечення необхідного пропрацювання структури.

Предмет дослідження – особливості та закономірності формоутворення гарячим штампування опорного катка з високоміцного алюмінієвого сплаву В93-пч.

Методи дослідження – Теоретичний аналіз гарячого штампування виконувався за допомогою методу скінченних елементів у програмі DEFORM-3D. Експериментальні дослідження виконувались в лабораторних умовах із застосуванням розробленого спеціального оснащення, випробувального та стандартного пресового обладнання

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- визначено вплив температури підігріву робочого інструменту на параметри процесу гарячого штампування високоміцних алюмінієвих сплавів для забезпечення необхідних фізикомеханічних властивостей;
- визначено вплив технологічних факторів на силові режими та кінцеву форму виробу, що отримується.

Практичне значення отриманих результатів:

По результатам отриманих чисельними експериментами було спроектоване експериментальне оснащення для виконання гарячого штампування модельної заготовки опорного катка БМ «Оплот». Отримані зразки були досліджені для визначення фізико-механічних властивостей. Отримані результати підтвердили теоретичні розрахунки по забезпеченню необхідної якості кінцевого виробу.

Особистий внесок магістранта:

Проведено чисельне моделювання процесу гарячого штампування по визначенню раціональних параметрів для забезпечення необхідних фізико-механічних властивостей кінцевого виробу. Спроектовано технологічне оснащення для гарячого штампування модельної заготовки.

Апробація. Результати роботи були представлені на міжнародній конференції XVIII МНТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» 2017 р. М. Київ та на конференції молодих вчених присвячених до дня науки 2017р

РОЗДІЛ І.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

При проектуванні ходової частини гусеничних машин, особливо для військової галузі, значна увага приділяється надійності її елементів, зокрема надійності та довговічності опорного катка. Поліпшення його фізико механічних властивостей має досягатися без збільшення ваги цього елемента конструкції та ваги машини в загальному [1].

Останнім часом, для виготовлення виробів з підвищеною надійністю і довговічністю процесами гарячого об'ємного штампування, стоять завдання отримання необхідного пропрацювання структури металу пластичною деформацією по всьому об'єму виробу або окремих частин об'єму. Таке пропрацювання забезпечує задані механічні властивості у виробах. Методи і термомеханічні параметри кування на молотах та гарячого штампування на пресах виробів з кольорових металів і сплавів, в тому числі і високоміцних алюмінієвих сплавів, розглянуті в роботі [2]. Для операцій осаджування, витяжки, прошивки, гнуття наведені елементи конструювання поковок і деформуючого інструменту. Основну увагу приділено отриманню необхідної форми виробів. В роботі [3] дані рекомендації і наведені приклади проектування технологічних процесів і штампового оснащення для гарячого об'ємного штампування виробів на різному ковальсько-пресовому обладнанні. Також викладено особливості гарячого об'ємного штампування деталей різної форми з кольорових сплавів.

У наведених джерелах всі відомості базуються на підставі експериментальних даних і виробничого досвіду, і основна увага приділена досягненню гарячим формоутворенням необхідної форми виробів. Практично відсутні рекомендації по штампуванню деталей для забезпечення заданих механічних властивостей в деформованому металі.

Для удосконалення існуючих і розробки нових технологічних процесів гарячого об'ємного штампування в даний час використовують комп'ютерне моделювання з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Моделювання дозволяє встановлювати технологічні параметри і визначати дані для проектування штампового оснащення, які не вимагають доопрацювання експериментальними роботами [4,5]. У роботах [6,7] за допомогою МСЕ проведені розрахункові дослідження процесів гарячої вальцювання циліндричних заготовок і штампування вісесиметричних. Показана можливість отримання виробів із заданою опрацюванням структури металу пластичною деформацією. актуальними завданнями є проведення аналогічних розрахунково-експериментальних досліджень для гарячого штампування деталей з високоміцних алюмінієвих сплавів.

В роботі [8] енергетичним методом верхньої оцінки проведено дослідження силового режиму процесу комбінованого послідовного радіально-прямого видавлювання порожнистих деталей з суцільної заготовки. Порівняні різні кінематичні модулі – кінематично можливі поля швидкостей і встановлено перевагу трапецеїдальних і трикутних криволінійних модулів. Отримано загальне рішення на підставі застосування блоків модулів для зон з характерною течією металу, але можливою зміною геометрії інструменту та форми осередку деформації. Виконано аналіз отриманих розрахункових залежностей для визначення наведених тисків радіально-прямого видавлювання. Порівняння розрахункових значень тисків деформування з відомими рішеннями підтверджує прийнятність отриманих залежностей для технологічних розрахунків.

Одним з способів отримання необхідної структури виробу є використання таких схем що викликають інтенсивну пластичну деформацію. За результатами досліджень наведених дослідниками [9-10] інтенсивна пластична деформація дозволяє отримувати наддрібне зерно розміром 100нм та менше ніж 1нм так звану наноструктуру. Відомо що дрібнозерниста

структура забезпечує стабільність властивостей металу. Крім того з'ясувалося, що метали продеформовані до стану наноструктури, набувають нові властивості в тому числі – підвищення міцності, пластичності та пружності.

В роботі [11-12] автори визначили температурні інтервали та швидкості деформацій при яких високоміцні алюмінієві сплави набувають підвищений ресурс пластичності, що дозволяє реалізовувати технологічні процеси ізотермічної штамповки для отримання необхідного виробу.

В роботі [13] авторами представлені результати витягування з потоншенням анізотропного матеріалу латунь Л63 для циліндричних деталей. Ули проведені як чисельні розрахунки так і натурні експерименти. Визначили вплив технологічних параметрів на силові режими. Розбіжності між отриманими даними склало 7%. В процесі дослідження було визначено обмеження для максимальної формозміни.

В статті [14] наведено результати дослідження по визначенню розподілу ступеня деформації та механічних властивостей деталей які отримуються штампуванням з потоншенням. Приведені характеристики процесу витягування та розглянуті особливості штампування з потоншенням. Запропоновано моделі для прогнозування властивостей отриманих деталей з врахуванням нерівномірності деформації.

Дослідження впливу тертя, що діє на матриці в процесі витягування з потоншенням представлені в роботі [15]. Досліджували вплив різного покриття на робочі поверхні матриць. Встановлено ефективність мастила та швидкості витягування. Визначено, що матриці з твердим покриттям ефективніші при витягуванні з нержавіючої сталі порожнистих виробів.

Граничні значення ступеня деформації при холодному витягуванні з потоншенням в кількох матрицях приведено в авторами статті [16]. Було визначено напруження, що виникають при витягуванні та кількість

необхідних міжопераційних відпалів між процесами витягування. Дана оцінка умов при яких утворюється тріщина на заготовках.

Можливість отримання куванням і гарячим штампуванням відповідальних виробів із сталей з опрацюванням структури металу пластичною деформацією і досягненням необхідного розподілу деформацій за обсягом виробів приведена в джерелах [17-20]. Авторами цих робіт показано, що опрацювання структури можна оцінити за кінцевим розподілу інтенсивності деформацій в сдеформірованих заготовках. Актуальними завданнями є проведення аналогічних розрахунково-експериментальних досліджень для гарячого штампування деталей з високоміцних алюмінієвих сплавів.

Як видно з аналізу літературних джерел все більш актуальності набувають процеси що дозволяють деформувати легкі та високоміцні сплави з алюмінію титану та інших кольорових сплавів. Але для них відсутні чіткі рекомендації що до розробки технологічних процесів. Як обрати температурний інтервал штампування, яку вибрати швидкість деформування, чи треба підігрівати оснащення та інші. Тому вирішення всіх цих питань на стадії проектування процесів гарячого штампування значно скорочує час та собівартість кінцевого виробу.

РОЗДІЛ II

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення чисельних експериментів та подальших експериментальних досліджень на першому етапі роботи процес моделювання будемо здійснювати для модельної заготовки зменшеної в 2,5 рази від натуральних розмірів опорного катка.

Ескіз модельної поковки диска опорного катка БМ «Оплот» з високоміцного алюмінієвого сплаву В93пч приведений на рис. 1. Виріб має стінку різної товщини по висоті і донну частину з постійною товщиною. У стінці виробу необхідно забезпечити задане опрацювання структури металу пластичною деформацією для набуття необхідних механічних властивостей деформованого металу після термообробки.

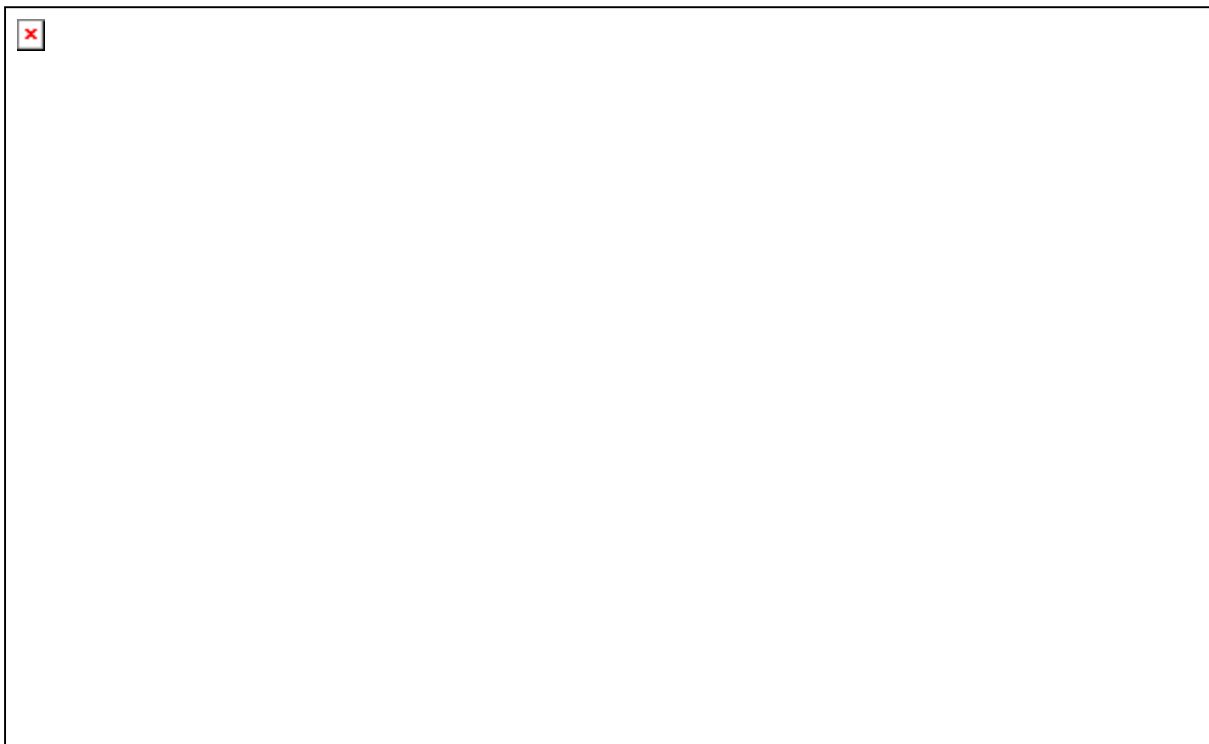


Рис. 1. Ескіз модельної поковки диска опорного катка БМ «Оплот» з попередньої виливки з високоміцного алюмінієвого сплаву В93пч

Одним із способів отримання таких виробів є витягування із потоншенням порожнистої заготовки в конічній матриці. Підбором форми вихідної заготовки і величини стоншування стінки при формоутворенні витягуванням можна забезпечити задане опрацювання структури металу пластичною деформацією.



Рис. 2. Розрахункові форма та розміри вихідної заготовки.

Визначення форми і розмірів вихідної заготовки, а також параметрів технології гарячого штампування виконати комп'ютерним моделюванням за допомогою МКЕ із використання програми DEFORM-3D. Деформації будемо піддавати заготовки із сплаву В93пч, які отримані литвом. Інтервал штампування згідно з рекомендаціями роботи [3] для цього сплаву складає 430°C-350°C. Швидкість деформації приймаємо постійною $V = 7$ мм/сек, коефіцієнт тертя μ = від 0,08 до 0,25 вибраний з умов проведення подальших експериментальних досліджень на гідравлічному пресі ДБ2436 з використанням мастила для гарячого штампування при температурі до 450°C LOCTITE 8191 на основі дисульфиду молібдену. Моделюванням необхідно встановити температуру попереднього розігрівання деформуючого інструменту для забезпечення необхідного інтервалу штампування та повного заповнення профілю катка. Та визначити вплив коефіцієнта тертя на

заповнення матриці та силові режими. Вихідні дані для визначення температури попереднього розігріву робочого інструменту наведено в табл.1.

Вихідні дані розігріву робочого інструменту Таблица 1.

Температура нагріву заготовки, °С	440-450 °С	440-450 °С	440-450 °С	440-450 °С
Температура нагріву пуансона, °С	180 °С	220 °С	280 °С	320 °С
Температура нагріву матриці, °С	180 °С	220 °С	280 °С	320 °С
Температура нагріву виштовхувача, °С	180 °С	220 °С	280 °С	320 °С

Після теоретичних розрахунків спроектувати експериментальний штамп та виконати гаряче штампування модельних заготовок в кількості 4 штук для подальшого дослідження їх на фізико механічні властивості які необхідно отримати.

Таблица 2.

Вихідні данні необхідних властивостей алюмінієвого сплаву В93пч

№ образца	Направление отбора образцов	Механические свойства			
		σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	НВ
1	поперечное	53,0	50,0	4,8	155
2	поперечное	53,0	50,0	4,8	155
3	поперечное	53,0	50,0	4,8	155
Требования ОСТ 1.90073-85		не менее			
	продольное	49,0	49,0	6,0	125,0
	поперечное	49,0	49,0	4,0	125,0

Після проведення експериментальних досліджень відповідно до отриманих розрахунків з температурних режимів гарячого штампування та розігріву робочого інструменту провести перевірку фізикомеханічних властивостей зразків відповідно до вимог наведених в таблиці 2.

За отриманими результатами виконати чисельне моделювання гарячого штампування заготовки опорного катка БМ «Оплот» в натуральну величину та надати рекомендації стосовно проектування штампового оснащення для реалізації даного технологічного процесу.

РОЗДІЛ III

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результати по визначенню впливу температури підігріву інструменту

Результати моделювання приведені для встановлених форми і розмірів вихідної заготовки, які забезпечують необхідне пропрацювання структури металу пластичною деформацією і задані механічні властивості в стінці полого виробу після подальшої термообробки. Розрахункові форма і розміри вихідної заготовки приведені на рис. 3.1.

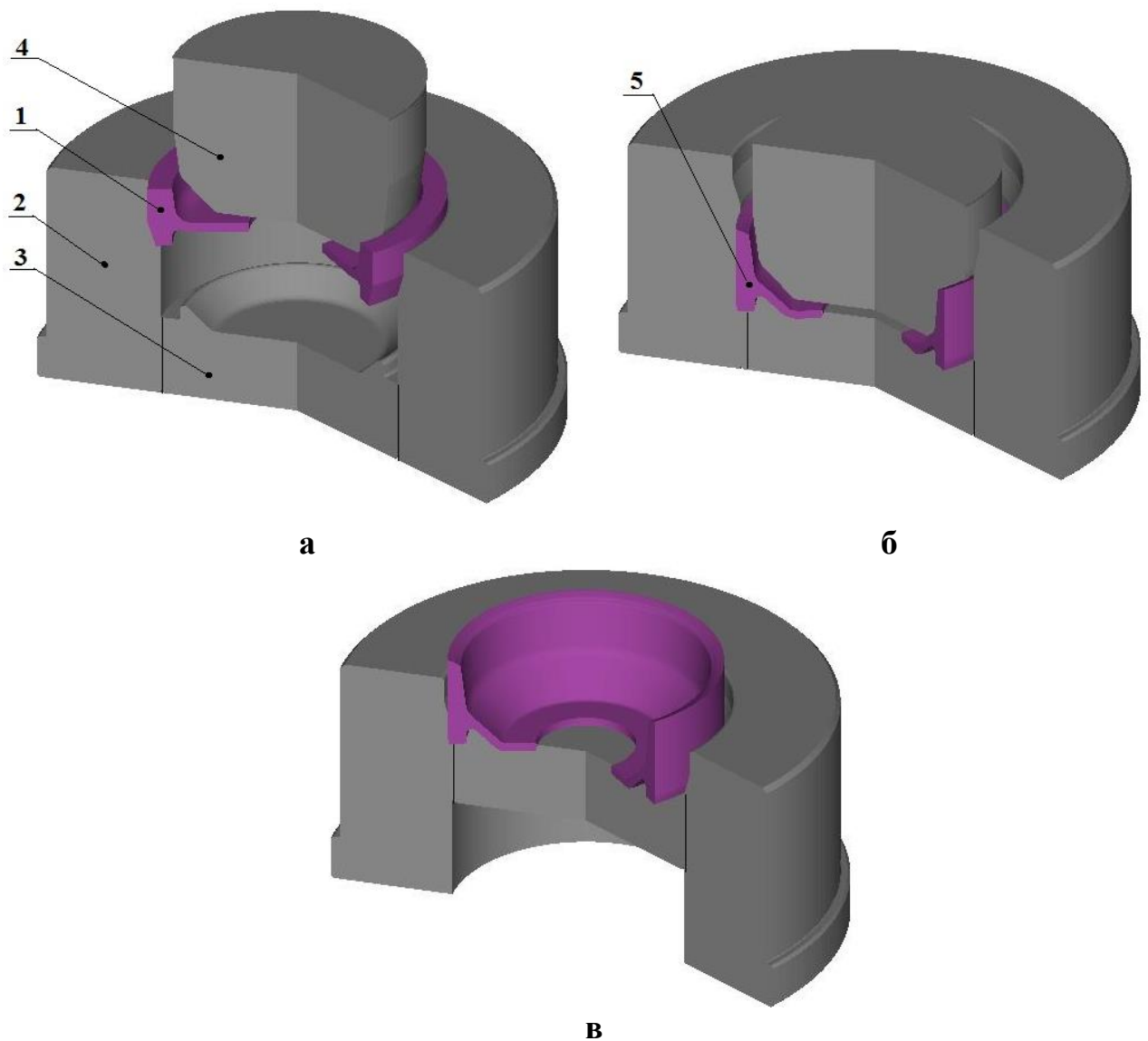
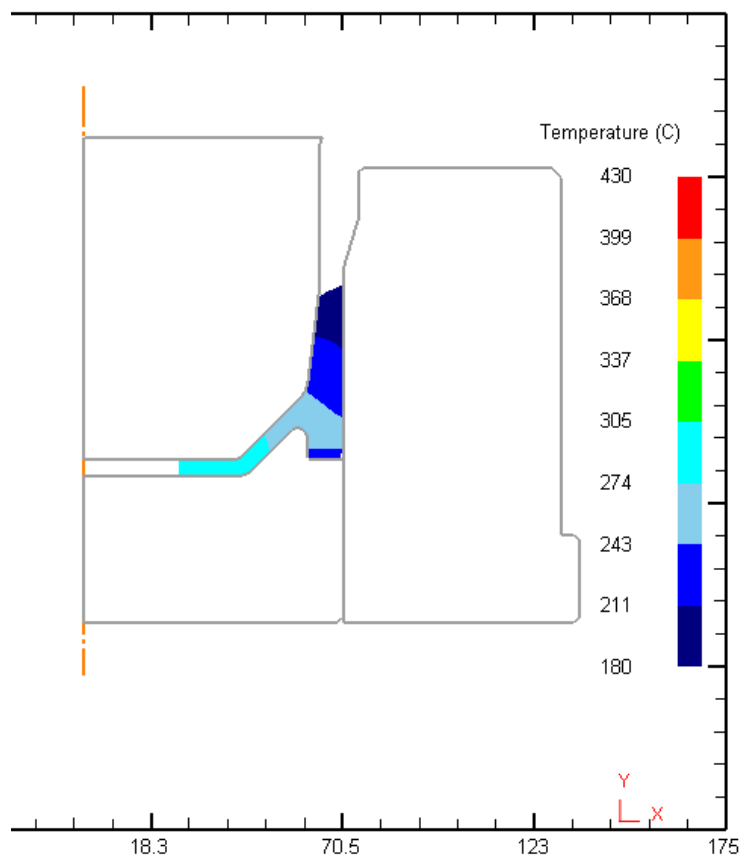


Рис. 3.1. Розрахункові положення деформуючого інструменту в розрізі при штампуванні: а на початку штампування, б – в кінці штампування, в – після виштовхування.

Розрахункові положення деформуючого інструменту в розрізі приведені на рис. 3.1. На рис. 3.1а показано положення на початку штампування. Вихідну заготовку 1 встановлюють в матрицю 2 з конічною деформуючою поверхнею для проведення витягу із стоншуванням. У матриці 2 розташовують плиту 3 для формоутворення донної частини виробу. Деформацію виконують пуансоном 4. Положення деформуючого інструменту в кінці штампування змальоване на рис. 3.1б. Переміщення пуансона 4 при штампуванні для здобуття виробу 5 складає 66 мм. Виштовхування виробу з нерухомої матриці 2 здійснюють за допомогою переміщення вгору виштовхувача 3 (рис. 3.1в).

Проведемо оцінку можливості штампування алюмінієвого сплаву для різних температур підігріву робочого інструменту. Важливо що б весь процес штампування відбувався в межах температурного інтервалу штампування 430-350 °С.

На рис. 3.2. показано розподіл температури по об'єму заготовки в кінці процесу штампування при різному розігріві робочого інструменту. Аналізуючи розподіл температури можна зробити висновок, що при підігріві робочого інструменту менше ніж 340 °С досягти інтервалів штампування протягом всього процесу неможливо. Треба збільшувати температуру попереднього розігріву матриці, пуансона та виштовхувача до 350-360 °С. Це дозволить гарантовано проводити штампування в температурних інтервалах які відповідають високоміцному алюмінієвому сплаву В93пч. Іншим шляхом вирішення цього питання може бути підвищення швидкості штампування за рахунок заміни обладнання на більш швидкісне.

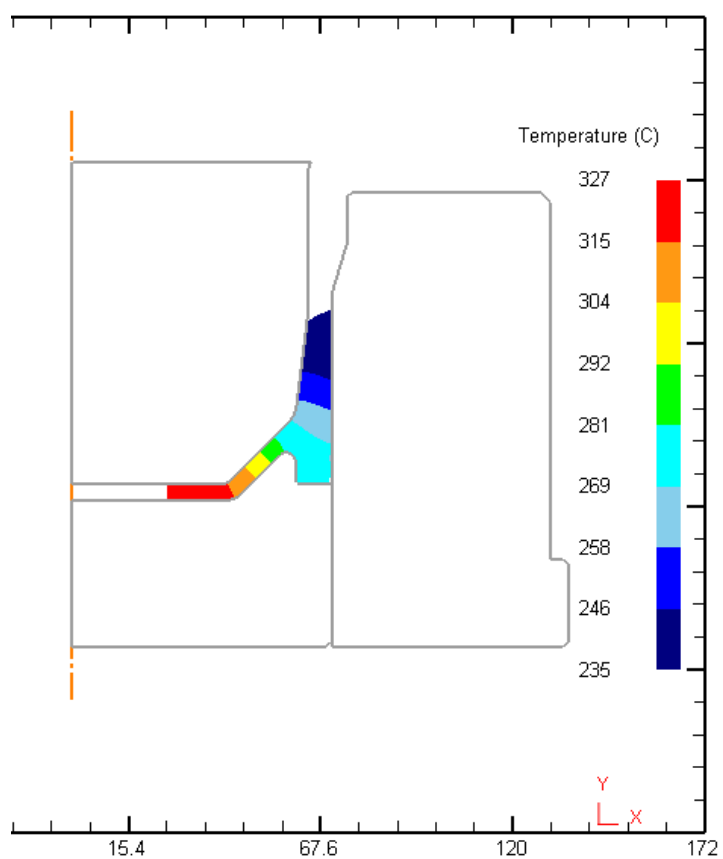


Розігрів оснастки:

Матриця 180 °C

Пуансон 180 °C

Виштовхувач 180 °C

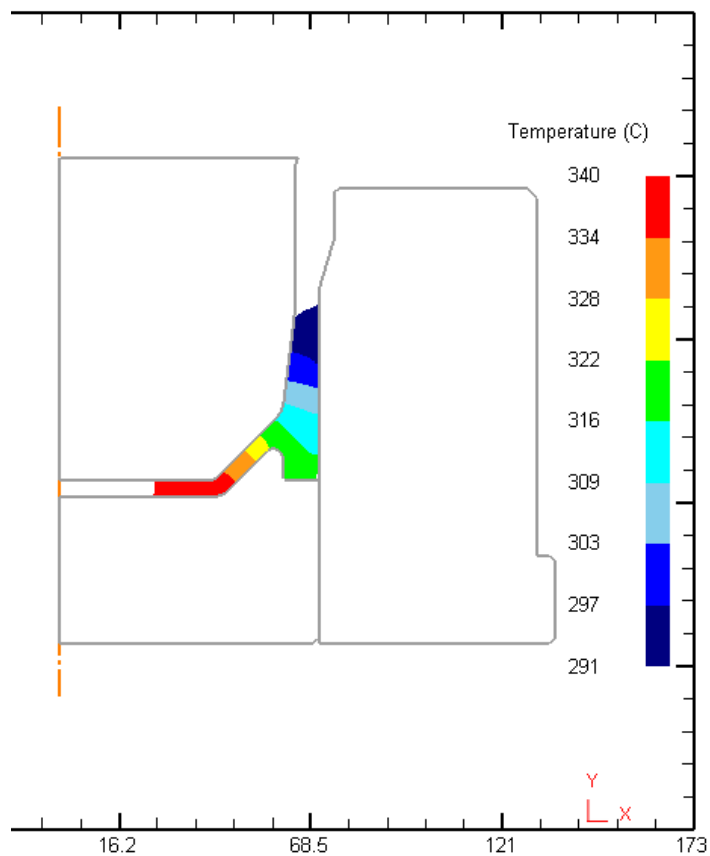


Розігрів оснастки:

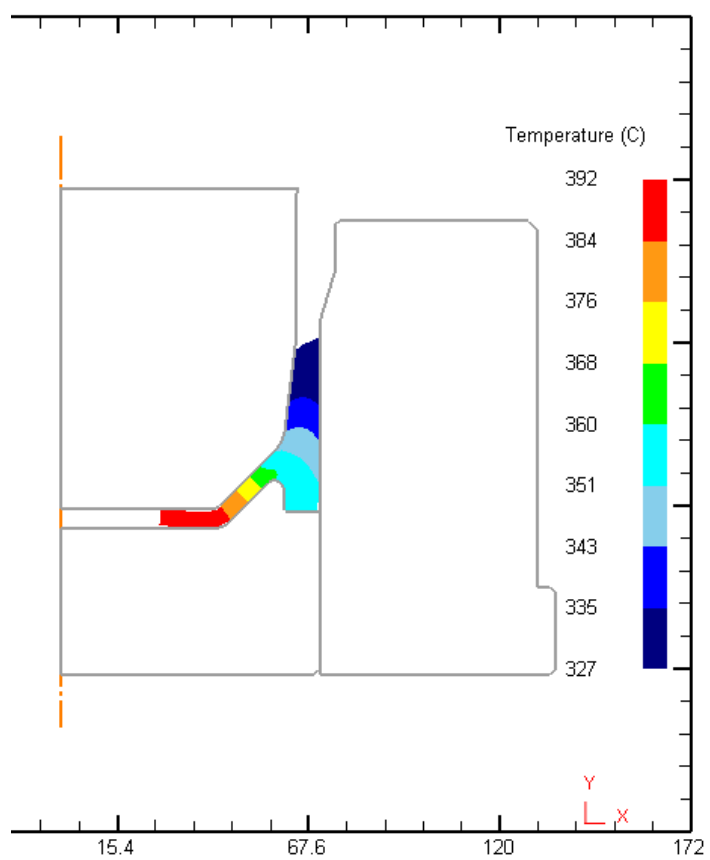
Матриця 220 °C

Пуансон 220 °C

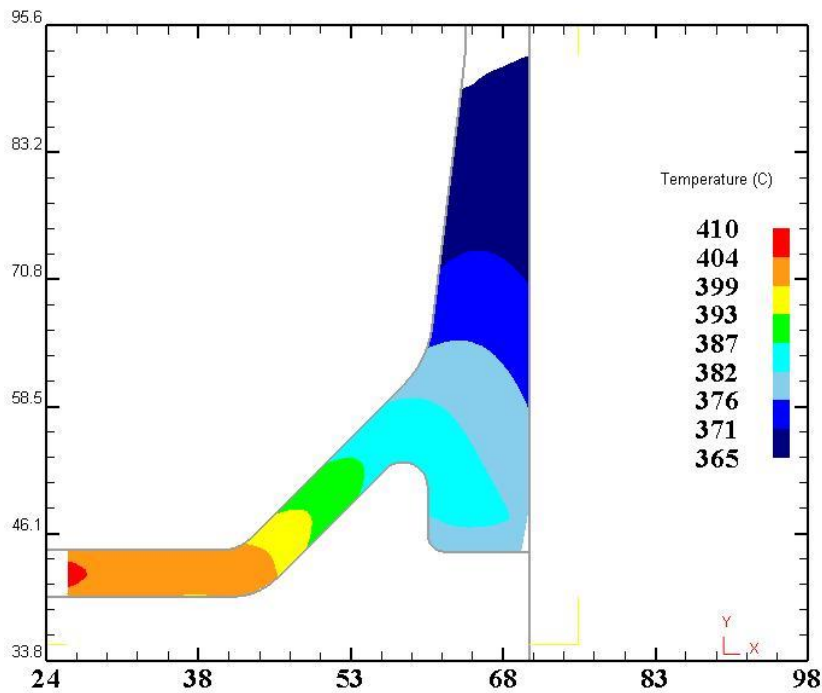
Виштовхувач 220 °C



Розігрів оснастки:
Матриця 260 °C
Пуансон 260 °C
Виштовхувач 260 °C



Розігрів оснастки:
Матриця 320 °C
Пуансон 320 °C
Виштовхувач 320 °C



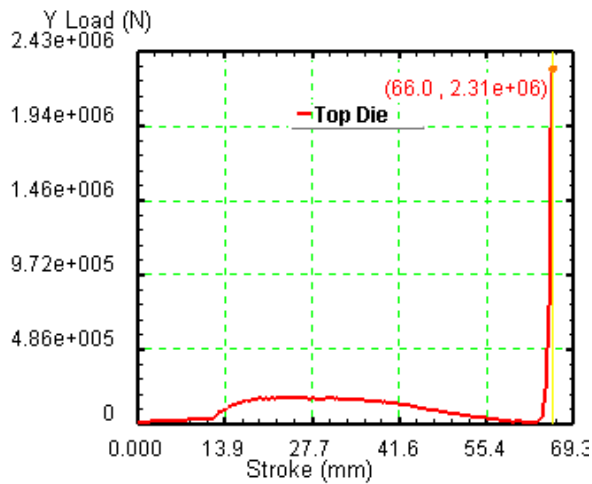
Розігрів оснастки:
 Матриця 360 °C
 Пуансон 360 °C
 Виштовхувач 360 °C

Рис. 3.2. Розподіл температури по об'єму заготовки при різному розігріві робочого інструменту.

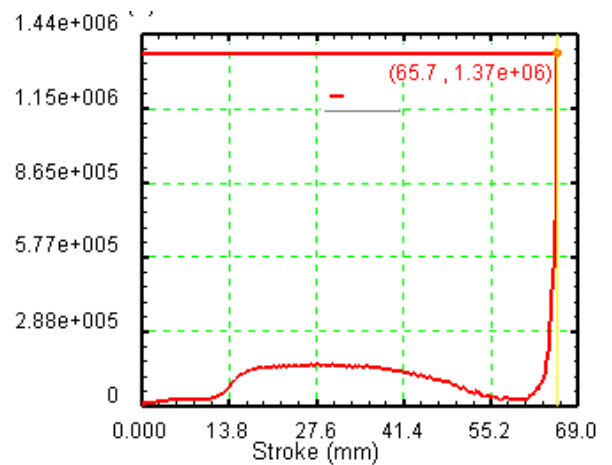
3.2. Визначення впливу коефіцієнту тертя

Відповідно до отриманих результатів про вплив температури підігріву елементів штампового оснащення, розглянемо вплив тертя на заповнення профілю виробу при штампуванні з розігрівом пуансона, матриці та виштовхувача до 360 °C.

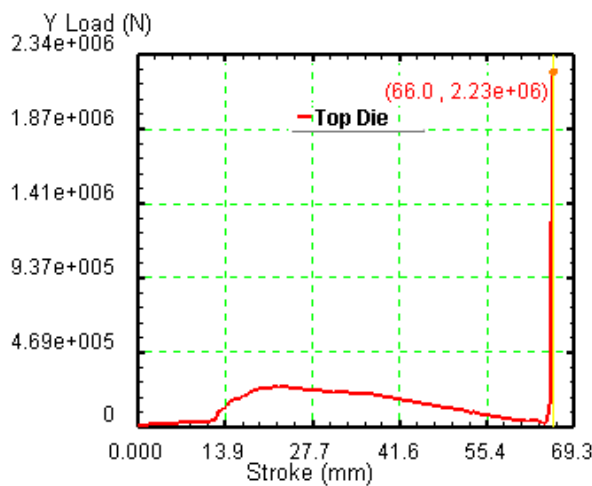
Залежності зусилля від коефіцієнта тертя представлено на рис.3.3. мінімальне зусилля спостерігається при штампуванні з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,15$. На етапі штампування заготовки витягом із стоншуванням зусилля спочатку зростає і досягає максимального значення 180 кН при переміщенні пуансона 30 мм, а далі зусилля зменшується до 25 кН в кінці витягування. Потім зусилля деформації зростає, коли починається формоутворення донної частини полого виробу, і досягає величини 1400 кН в кінці штампування.



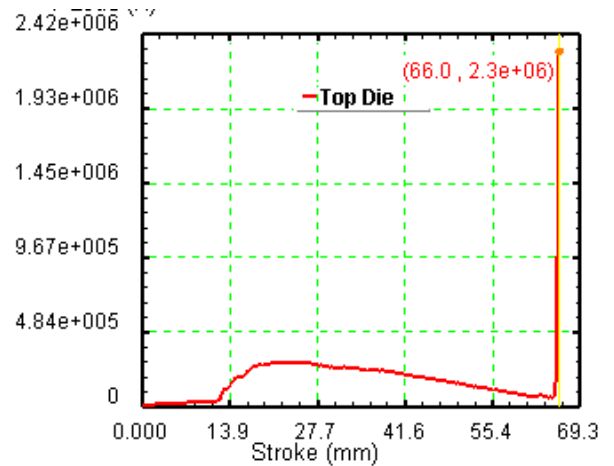
$\mu = 0.1$



$\mu = 0.15$



$\mu = 0.2$



$\mu = 0.25$

Рис.3.3. Залежності зусилля гарячого штампування від переміщення пуансону для різних коефіцієнтів тертя μ

Розглянемо як відбувається формоутворення кінцевої геометрії модельної заготовки опорного катка в залежності від коефіцієнта тертя. На рис 3.4. наведено четверту частину заготовки в кінці штампування.

Аналізуючи отримані результати треба відмітити, що повне заповнення контуру кінцевого виробу відбувається при деформуванні з коефіцієнтами тертя μ меншими за 0,15.

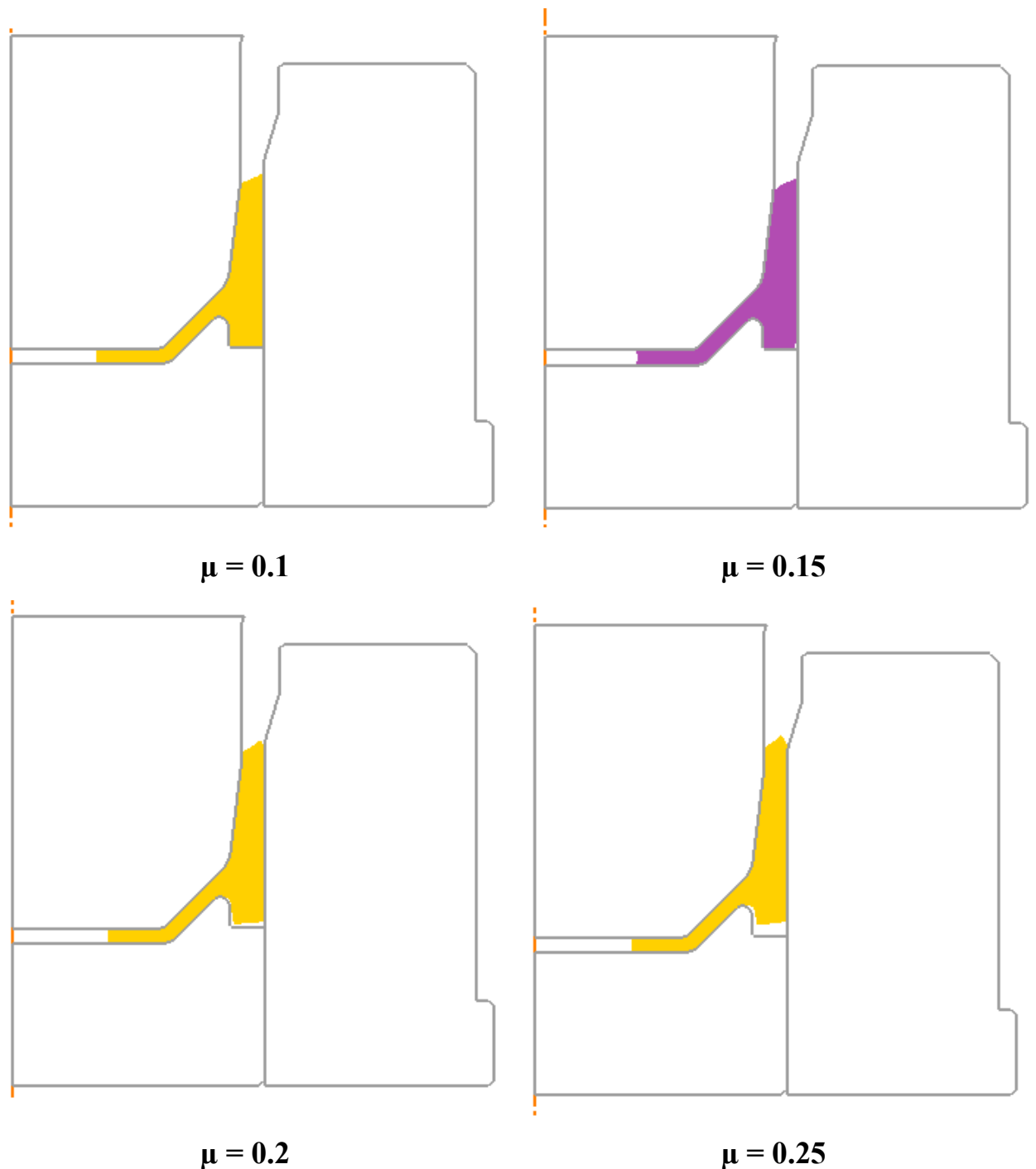


Рис.3.4. Залежності кінцевої геометрії модельної заготовки опорного катка в залежності від коефіцієнта тертя μ

Враховуючи, що при $\mu = 0,15$ спостерігається найменше зусилля штампування та повністю заповнюється контур деталі дослідимо всебічно процес гарячого штампування високоміцного сплаву ВП-93пч при наступних умовах: початкова температура заготовки $T = 430\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура підігріву робочого інструменту пуансона, матриці та виштовхувача $T_{\text{інст}} = 360\text{ }^{\circ}\text{C}$,

коефіцієнт тертя $\mu = 0,15$, швидкість штампування $V = 7$ мм/с, що забезпечується стандартним пресом ДБ-2432.



Рис. 3.5. Залежність зусилля деформації від переміщення пуансона.



Рис. 3.6. Залежності осьового і радіального зусилля на матриці від переміщення пуансона

На рис. 3.5. показана залежність зусилля деформації від переміщення пуансона. На етапі штампування заготовки витягуванням із потоншенням зусилля спочатку зростає і досягає максимального значення 180 кН при переміщенні пуансона 30 мм, а далі зусилля зменшується до 25 кН в кінці витягування. Потім зусилля деформації зростає, коли починається формоутворення донної частини полого виробу, і досягає величини 1400 кН в кінці штампування. Залежності осьового і радіального зусилля на матриці від переміщення пуансона приведені на рис. 3.6.

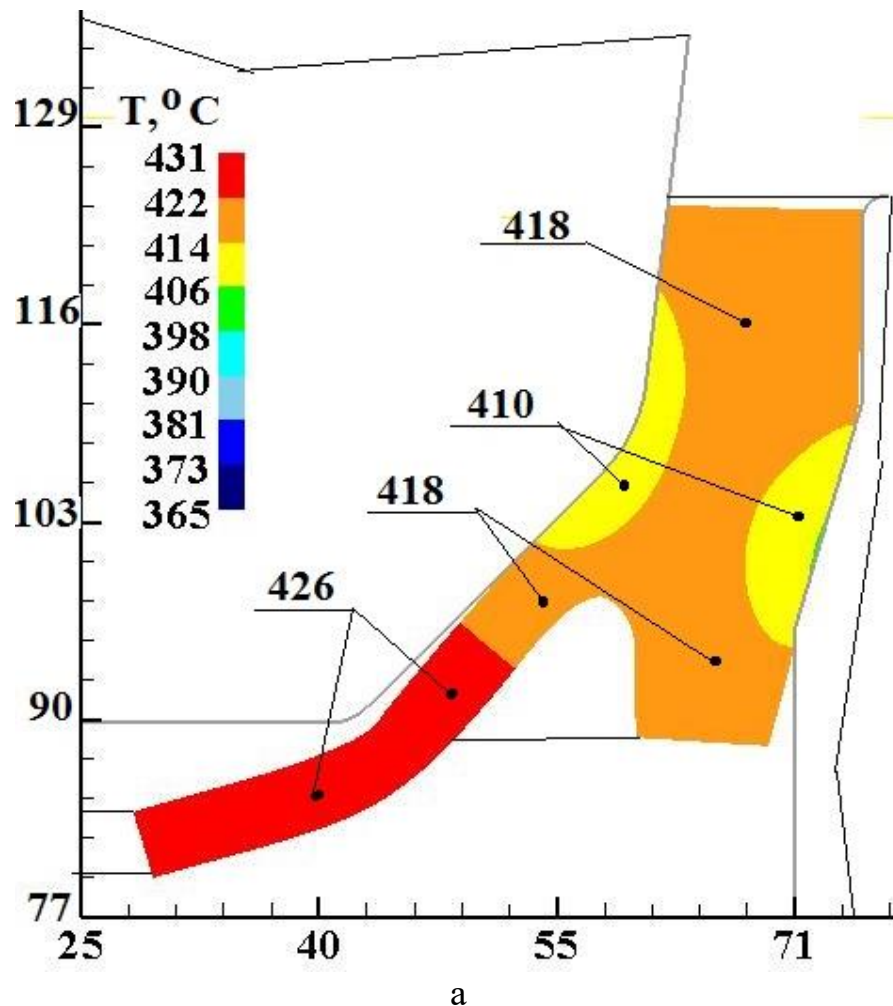


Рис. 3.7. Залежність зусилля виштовхування виробу з матриці від переміщення пуансона

Осьове зусилля спочатку зростає і має максимум при переміщенні пуансона 28 мм, потім зменшується до мінімального значення 19 кН при завершенні витягу із стоншуванням і збільшується до 1390 кН в кінці штампування. Характер залежності радіального зусилля від переміщення пуансона аналогічний залежності зусилля деформації. Зусилля має два максимуми. Один величиною 510 кН отриманий на етапі витягування із

потоншенням, а інший – 1400 кН в кінці штампування. Моделюванням також встановлена залежність зусилля виштовхування виробу з матриці після штампування від переміщення плити (рис. 3.7). Максимальні значення 40 кН набуває на початку виштовхування з подальшим зменшенням до моменту виходу виробу з матриці. Приведені дані будуть використані при виборі пресового устаткування і проектуванні штампового оснащення.

Послідовність формоутворення поковки диска опорного катка БМ «Оплот» з розподілом температури в деформованій заготовці приведена на рис.3.8.



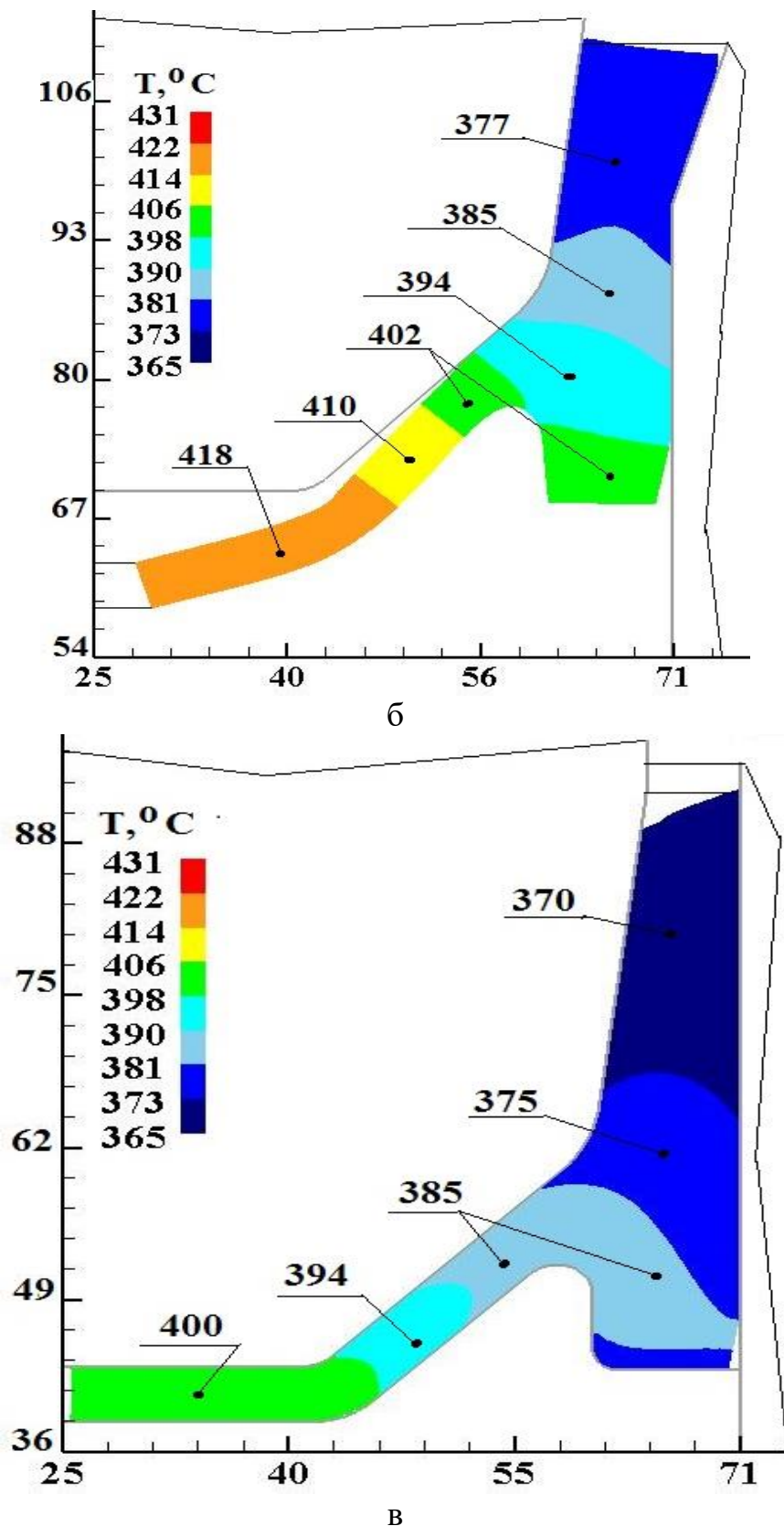


Рис. 3.8. Послідовність формоутворення виробу з розподілом температури в заготовці: а – при переміщенні пунсона 20 мм, б – при переміщенні пуансона 40 мм, в – при переміщенні пуансона 66 мм. Розміри по осях приведені в міліметрах

Тонкими лініями показані пуансон і частина матриці. На рис. 3.8а показано положення при переміщенні пуансона 20 мм. Відбувається деформація заготовки на конічній частині матриці і виконується роздача з вигином перемички. За час деформації 3 секунди в деформованій заготовці утворюються три області з різними температурами. В області стінки температура зменшується з 430°C до 410°C і 410°C, а в перемичці – до 426°C і 418°C. При переміщенні пуансона 40 мм (рис. 3.8б) відбувається стоншування стінки і збільшення висоти деформованої заготовки. При цьому перемичка практично не деформується. В області перемички температура знижується до 402°C - 418°C. У стінці деформованої заготовки температура змінюється від значення 377°C у верхній частині до 402°C в нижній частині. На кінцевій стадії штампування стінка не деформується, а виконується формоутворення донної частини поковки диска опорного катка БМ «Оплот». Розподіл температури в кінці штампування приведений на рис. 5в. Температура за час деформації 9,4 сек в області стінки знизилася до значень в межах 370°C - 385°C, а в області перемички – до 385°C - 400°C. Таким чином температурний інтервал штампування дотримується при формоутворенні виробу.

Опрацювання структури металу пластичною деформацією можна оцінити розподілом інтенсивності деформацій ε_i в об'ємі виробу після штампування, який приведений на рис. 3.9. В області стінки отримано $\varepsilon_i = 0,26$ у нижній частині і $\varepsilon_i = 0,45-0,64$ у останньому об'ємі стінки. В області перемички інтенсивність деформацій знаходиться в межах $\varepsilon_i = 0,26-0,46$.

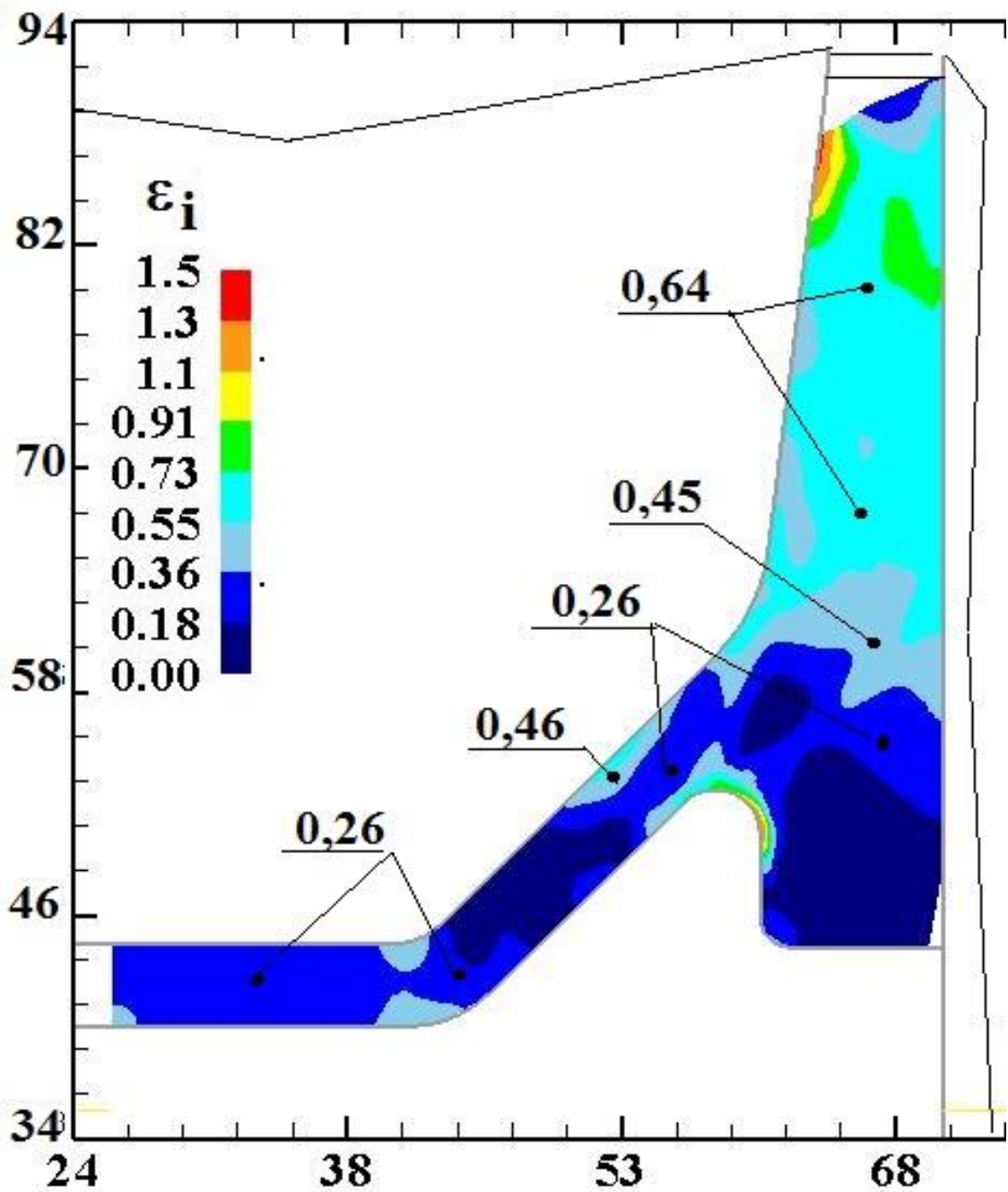


Рис. 3.9. Розрахунковий розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i в об'ємі виробу після штампування. Розміри по осях приведені в міліметрах

Для проектування штампового оснащення необхідно знати розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті. На рис. 3.10 приведений розподіл нормальної напруги на поверхнях пуансона і матриці, які контактують з деформованою заготівкою і виникають при максимальному

зусиллі штампування. На пуансоні максимальне значення цієї напруги складає 160 МПа, на матриці – 120 МПа.

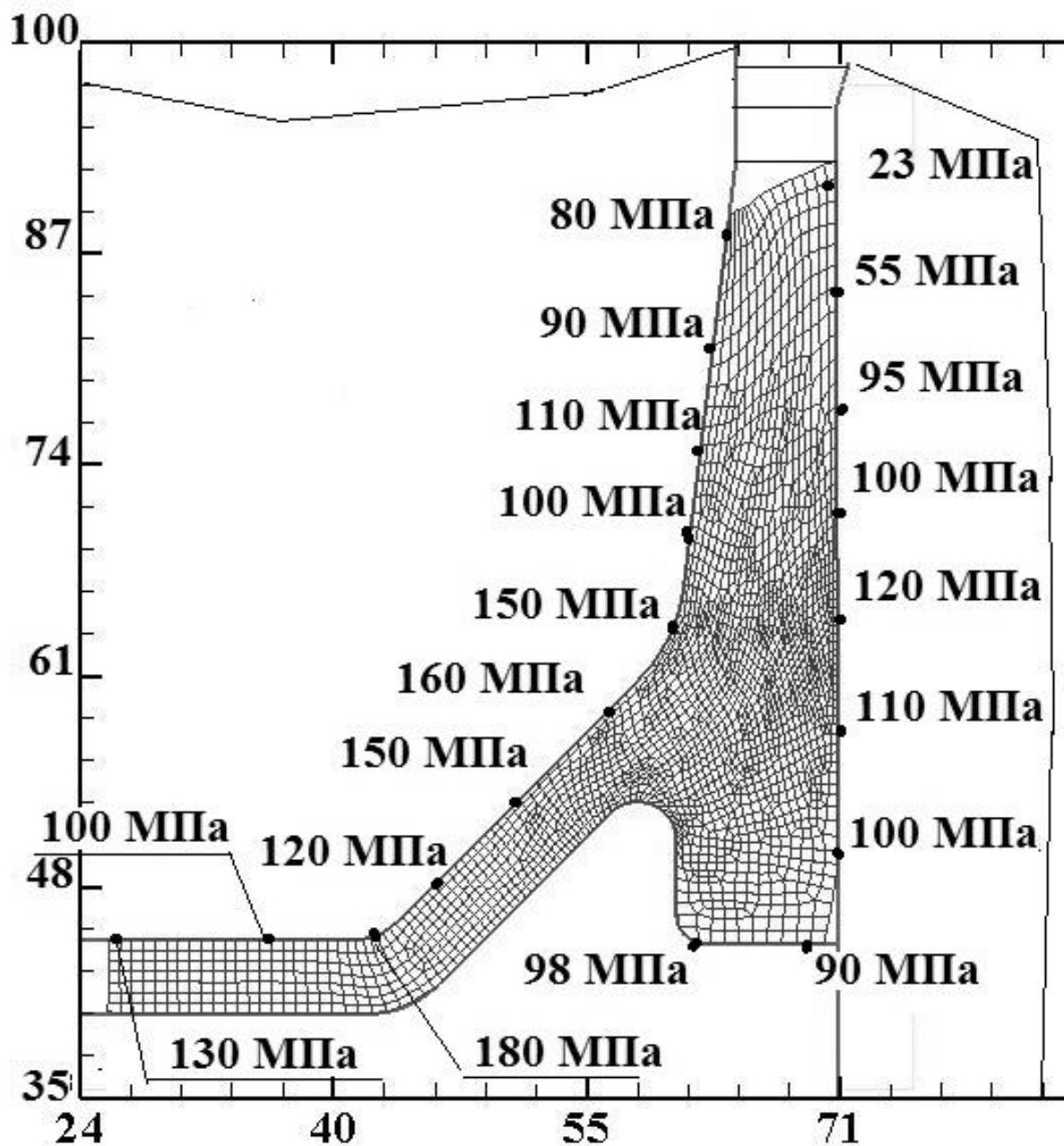


Рис. 3.10. Розрахунковий розподіл нормальних напружень на поверхнях деформуючого інструменту, які виникають при максимальному зусиллі штампування. Розміри по осях приведені в міліметрах

За результатами моделювання було спроектовано та виготовлений штамп для гарячого штампування. Схема штампу приведено на рис. 3.11.

Штамп складається з нижньої плити 1 круглої форми і пазами для кріплення на столі преса, в якій встановлений штовхальник 2. На нижній плиті 1 розміщена матриця 3 з плитою 4 і направляючим кільцем 5. Матриця 3 зафіксована кільцем 6 і болтами 13. Пуансон 7 розміщений в пуансонотримачі 8. Пуансонотримач 8 фіксує пуансон 7 з опорною плитою 9 до проміжної плити 10 за допомогою болтів 14. У проміжну плиту 10 укручено чотири шпильки 11. На шпильки встановлена верхня плита 12 і закріплена болтами 15.

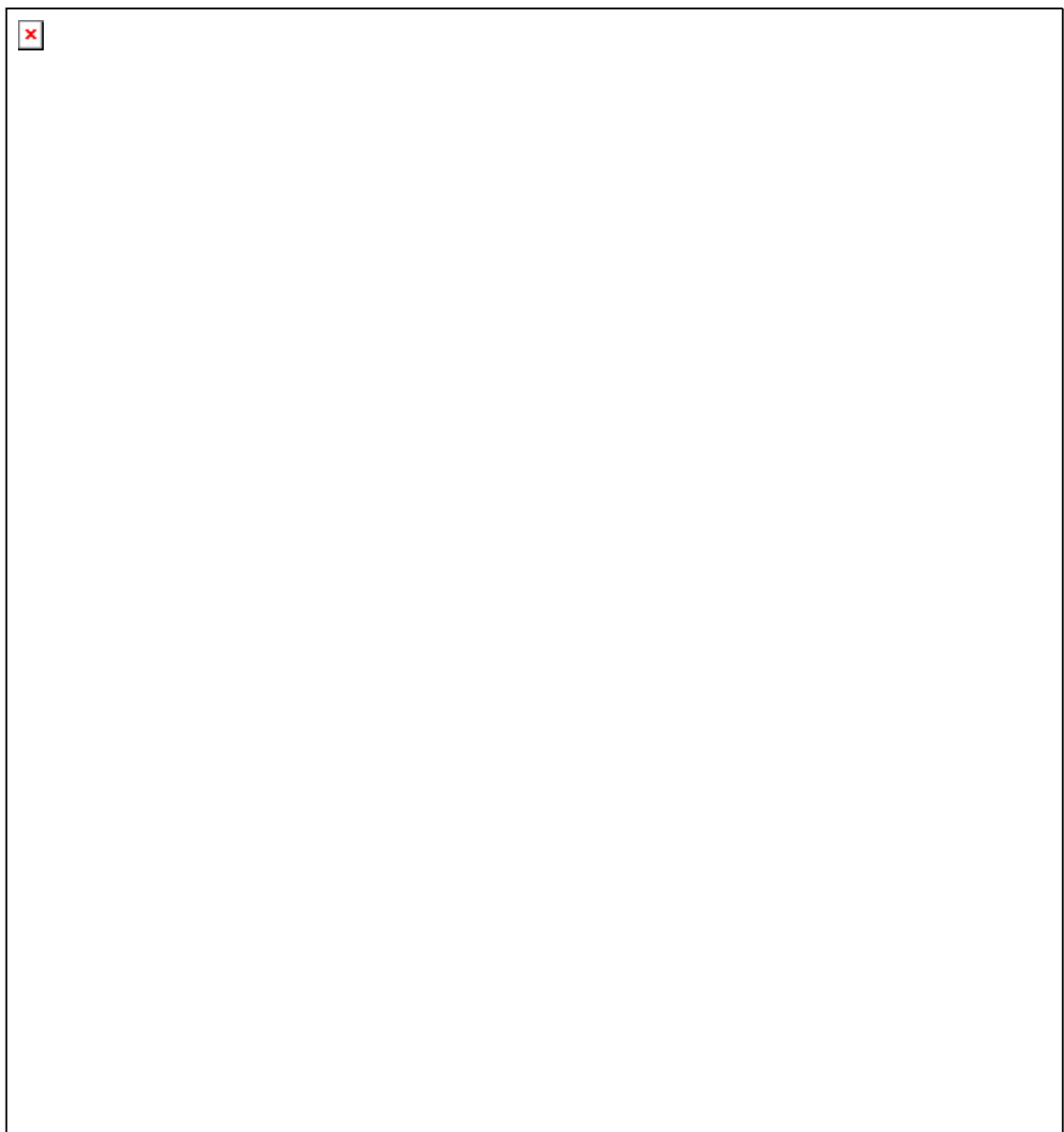


Рис. 3.11. Схема штампу.

Висновки. Чисельним моделювання було визначено температуру підігріву робочого інструменту що дозволить дотриматися штампувального інтервалу. Раціональна температура підігріву матриці, пуансону та виштовхувача знаходиться в межах 300-360 °С. Це дозволить отримувати необхідну геометрію виробу та пропрацювання структури матеріалу пластичною деформацією.

Визначено що збільшення коефіцієнта тертя призводить до неповного заповнення геометрії за рахунок гальмування зовнішніх шарів заготовки на матриці. При розробці технологічного процесу слід особливу увагу приділити змащенню яке буде забезпечувати необхідні умови штампування.

РОЗДІЛ IV

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПИРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до отриманих результатів було виготовлено експериментальний штамп для гарячого штампування модельної заготовки опорного катка БМ «Оплот». Фотографія штампів на гідравлічному пресі ДБ2436 приведена на рис.4.1.



Рис.4.1. Експериментальний штамп на гідравлічному пресі ДБ 2436 зусиллям 4 МН

Перед штампуванням, відповідно до розрахункових даних, пуансон 7, матрицю 3 і плиту 4 підігрівали газовим пальником до 360°C. Вихідну заготовку з нанесеним мастилом LOCTITE 8191 розігрівали в печі до 430°C і встановлювали в матрицю 3. При ході повзуна преса вниз відбувається формоутворення полого виробу. Експериментальне значення зусилля деформації 1298 кН визначали за показниками манометра преса. Розбіжність з розрахунковою величиною склало 8 %. Вихідна заготовка і виріб після гарячого штампування приведені на рис. 4.2 та 4.3 відповідно. На рис.4.2 показана фотографія вихідної заготовки. Вигляд на виріб з боку порожнини показано на рис. 4.3а. На рис. 4.3б приведений вигляд на виріб з боку донної частини.



Рис. 4.2. Вихідна заготовка

Вище було зазначено, що окрім форми і розмірів виробу, необхідно було отримати задані механічні властивості в стінці виробу. Після штампування була виконана термообробка виробу, суть якої полягала в загартування і штучному старінні (Т1). Для випробування на розтягування із стінки виробу були вирізані три стандартні зразки поперек волокон по товщині стінки диску (ОСТ 1.90073-85).

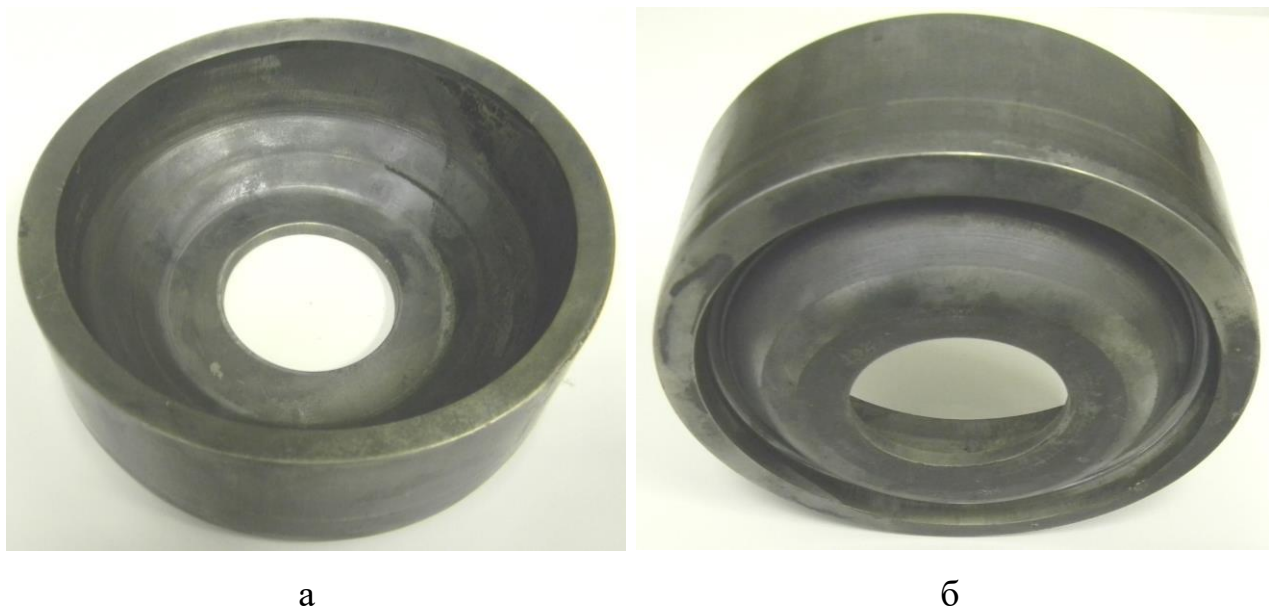


Рис.4.3.Отриманий виріб: а–вигляд на виріб з боку порожнини, б – вигляд на виріб з боку донної частини

На рис.4.4 показана схема вирізання стандартних зразків для проведення механічних випробувань.

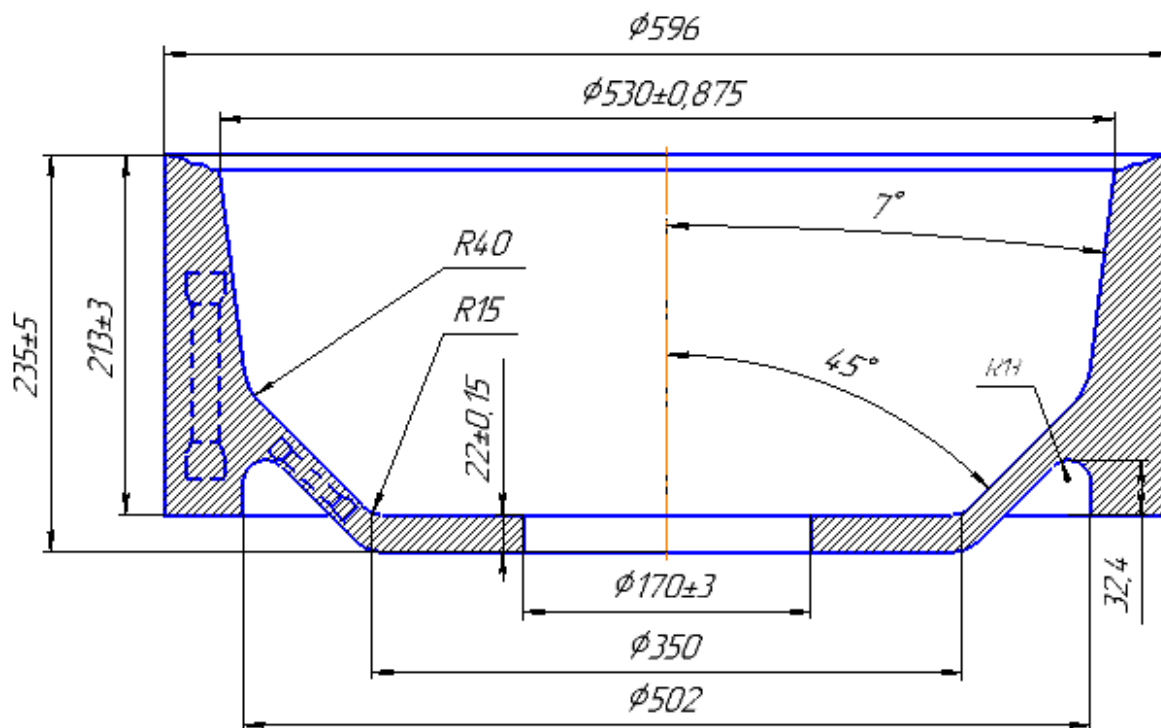


Рис.4.4 Схеми вирізання дослідних зразків

В результаті проведених механічних випробувань на лабораторному оснащенні - TIRA test 2300 отримані наступні дані: межа міцності $\sigma_{\epsilon} = 500, 510$ та 490 МПа, межа текучості $\sigma_{0,2} = 460, 470$ та 480 МПа, відносне подовження $\delta = 4, 4$ та $4,5\%$. Значення твердості на зразках складають: $153, 155$ та 150 НВ.

Механічні властивості відштампованого зразка Таблиця 4.1.

№ зразка	Механічні властивості			
	σ_{ϵ} , МПа (МПа)	$\sigma_{0,2}$, МПа (МПа)	δ , %	НВ
1	510	480	4,1	152
2	510	470	4,3	155
3	510	470	4,1	152
Вимоги відповідно до креслення	Не менш 480	Не менш 440	Не менш 4	Не менш 125

Висновки: моделюванням методом скінченних елементів встановлені параметри гарячого штампування поковки диска опорного катка БМ «Оплот» з попередньої виливки із сплаву В93пч із заданим опрацюванням структури металу пластичною деформацією для забезпечення механічних властивостей в стінці після термообробки. Моделюванням визначені форма і розміри вихідної заготовки, температура підігрівання деформуючого інструменту, зусилля штампування, зусилля виштовхування виробу з матриці, питомі зусилля на інструменті, зміна температури металу при формозміні, напружено-деформований стан заготовки, кінцеві форма і розміри виробу. За результатами розрахункового аналізу спроектований і виготовлений штамп для гарячого штампування і проведені експериментальні дослідження на гідравлічному пресі. Виконані випробування на розтягування стандартних зразків, які вирізані із стінки виробу після термообробки. Визначені умовна межа плинності, межа міцності, відносне подовження і твердість. Дані випробувань відповідають заданим значення механічних властивостей.

РОЗДІЛ V

Відповідно до отриманих теоретичних та експериментальних результатів на модельній заготовці було розроблено креслення вихідної заготовки для отримання катка БМ «Оплот» (рис. 5.1). Вихідні параметри процесу моделювання брались такі самі як для моделювання отримання модельної заготовки катка БМ «Оплот»

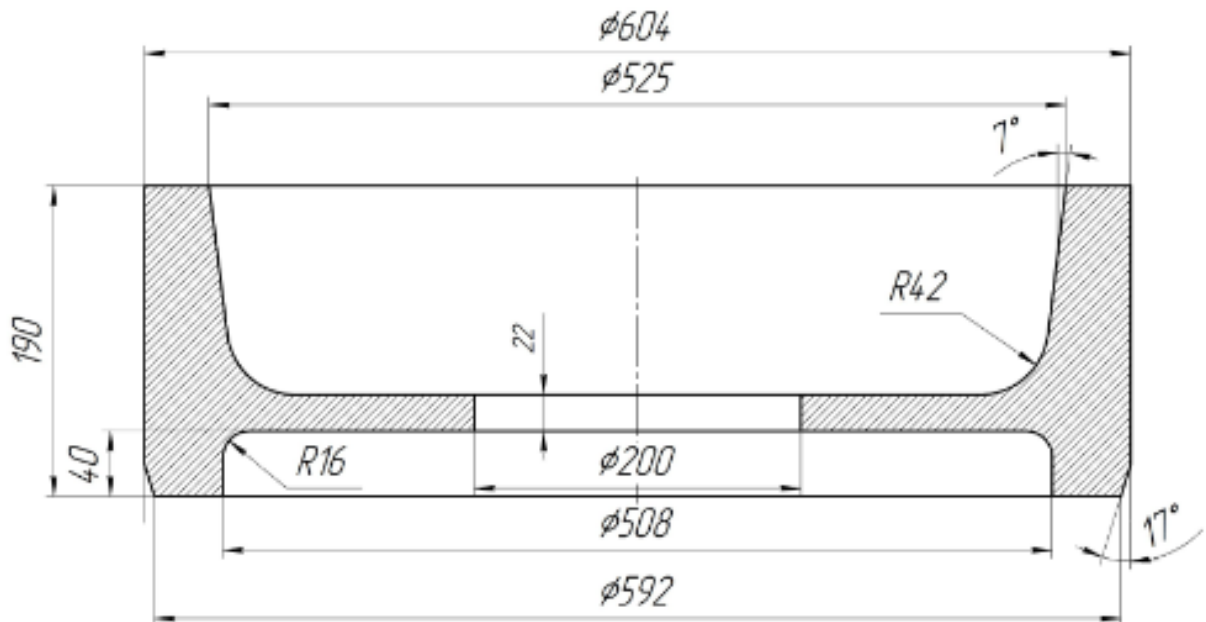


Рис. 5.1 Ескіз вихідної заготовки

В результаті моделювання були отримані такі результати. На рис. 5.2 наведено залежність технологічного зусилля гарячого штампування. На етапі штампування заготовки витягуванням із потоншенням зусилля спочатку зростає і досягає максимального значення 3500 кН при переміщенні пуансона 100 мм, а далі зусилля зменшується до 400 кН в кінці витягування. Потім зусилля деформації зростає, коли починається процес чеканки донної частини полого виробу, і досягає величини 4000 кН в кінці штампування при переміщенні пуансону 280 мм.

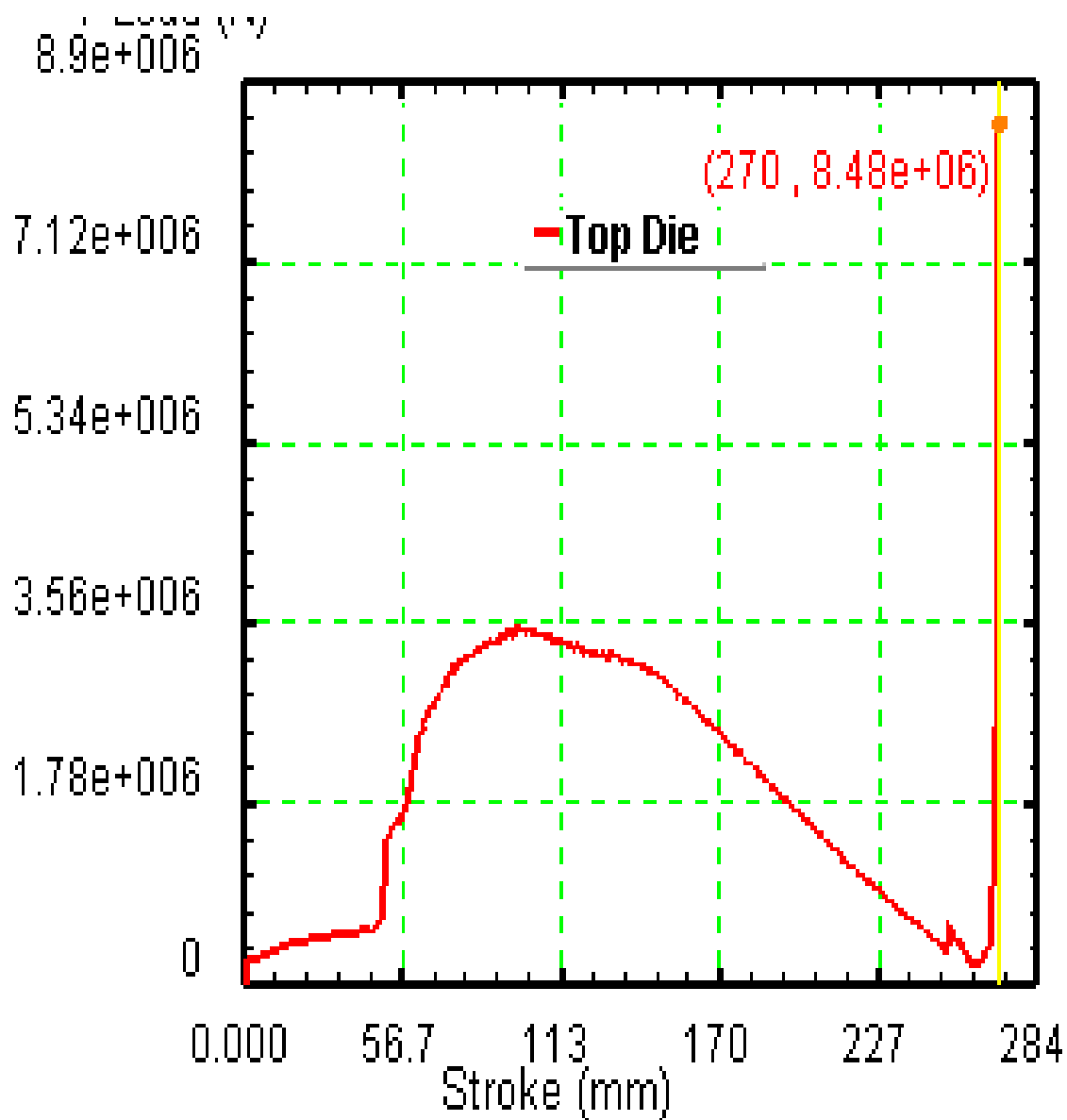


Рис. 5.2 Залежність зусилля гарячого штампування від переміщення

Отримана заготовка опорного катка БМ «Оплот» показана на рис. 5.3. Форма виробу не має зовнішніх дефектів, та повністю заповнює геометрію робочого інструменту.

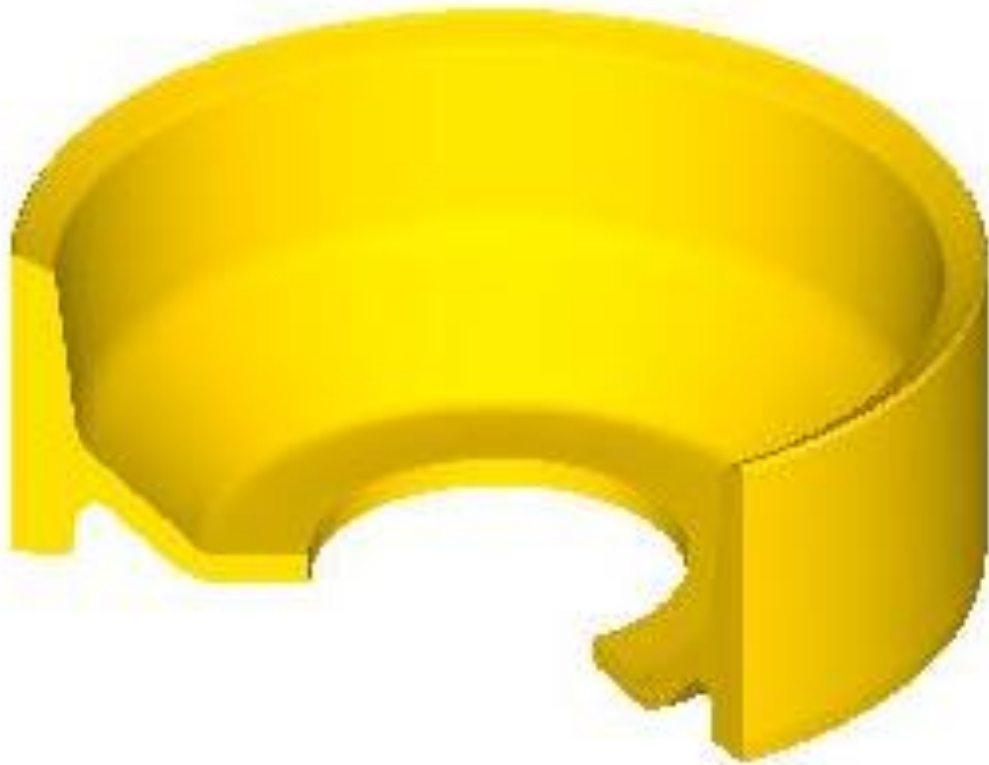
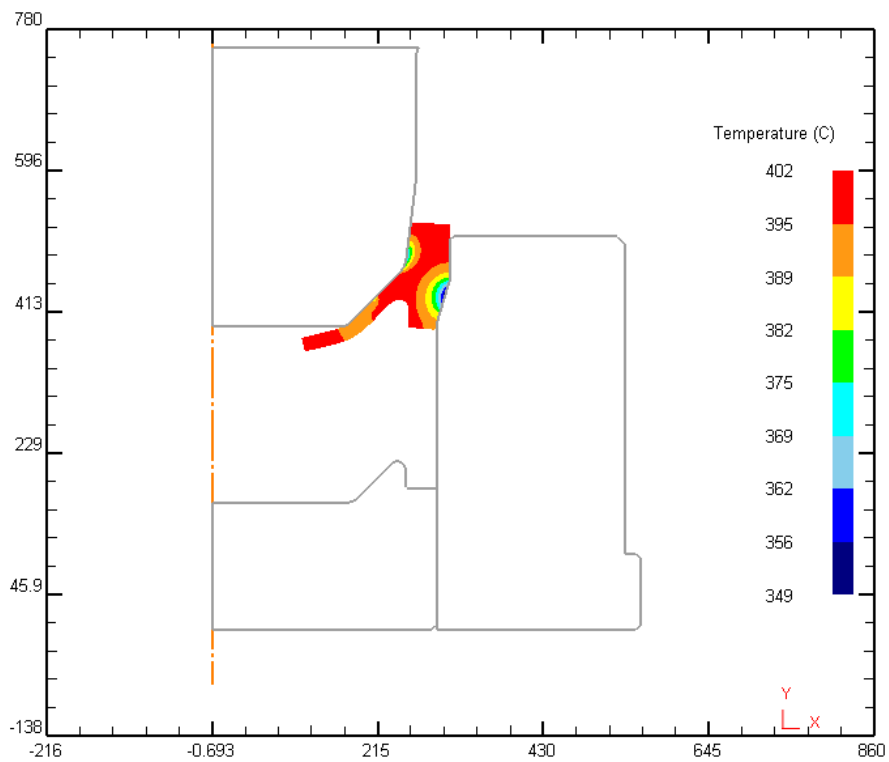
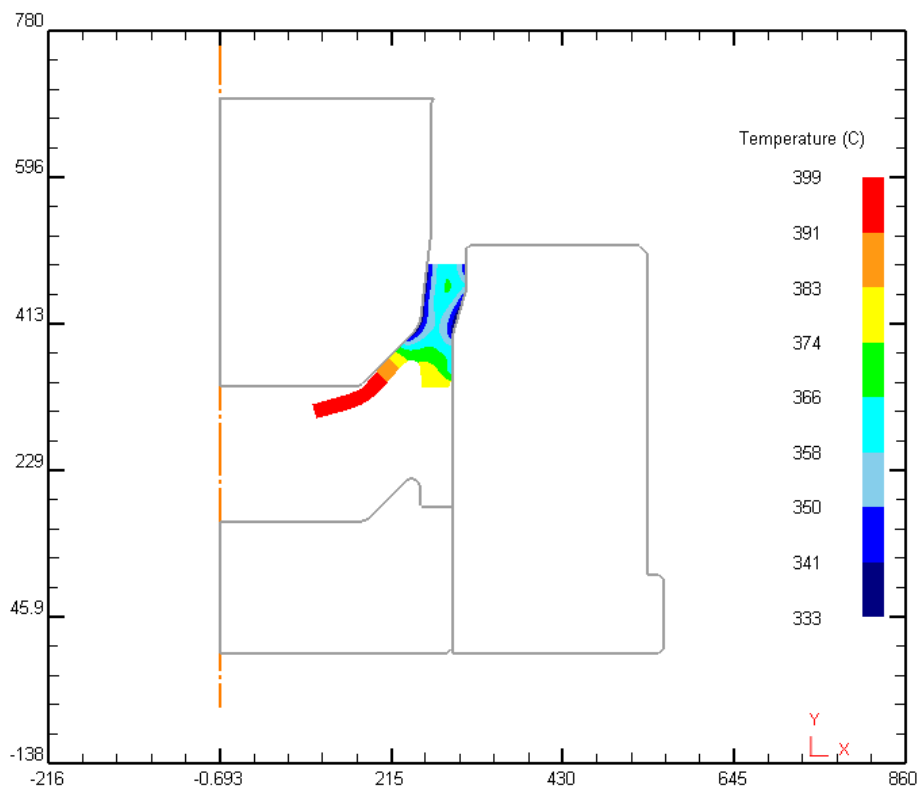


Рис. 5.3 Кінцева геометрія опорного катка

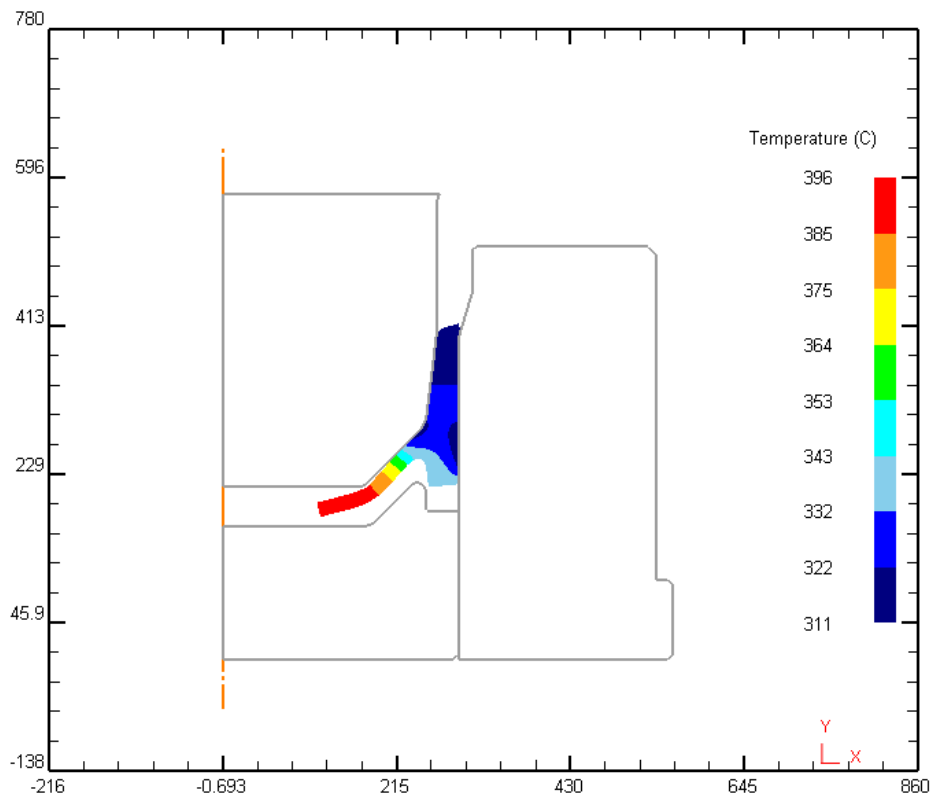
Розглянемо наступні результати контрольного чисельного моделювання отримання катка БМ «Оплот» в натурну величину. З рис. 5.3 видно, що при найнижчій температурі розігріву інструменту до температур 300°C , нагріву заготовки до температури 400°C та при коефіцієнті тертя $\mu = 0,15$ відбувається повне заповнення профілю катка з отриманням необхідних геометричних розмірів під подальшу механічну обробку з штампуванням в заданих температурних інтервалах для високоміцного алюмінієвого сплаву В93пч.



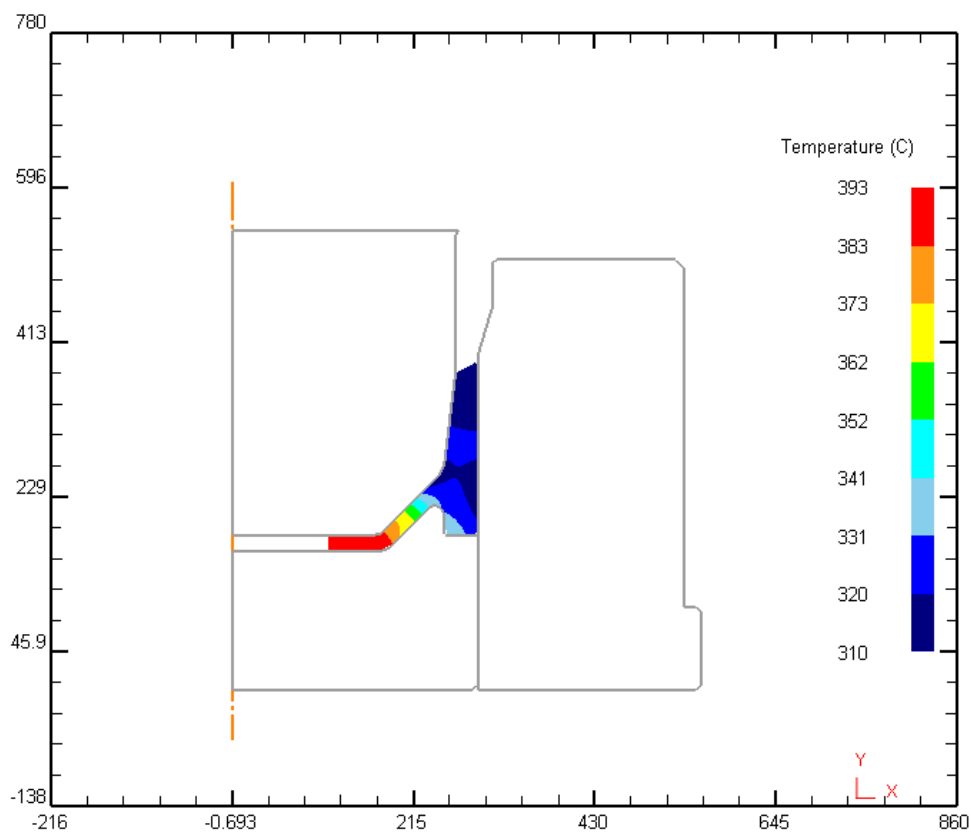
Переміщення
пуансону
60мм



Переміщення
пуансону
120мм

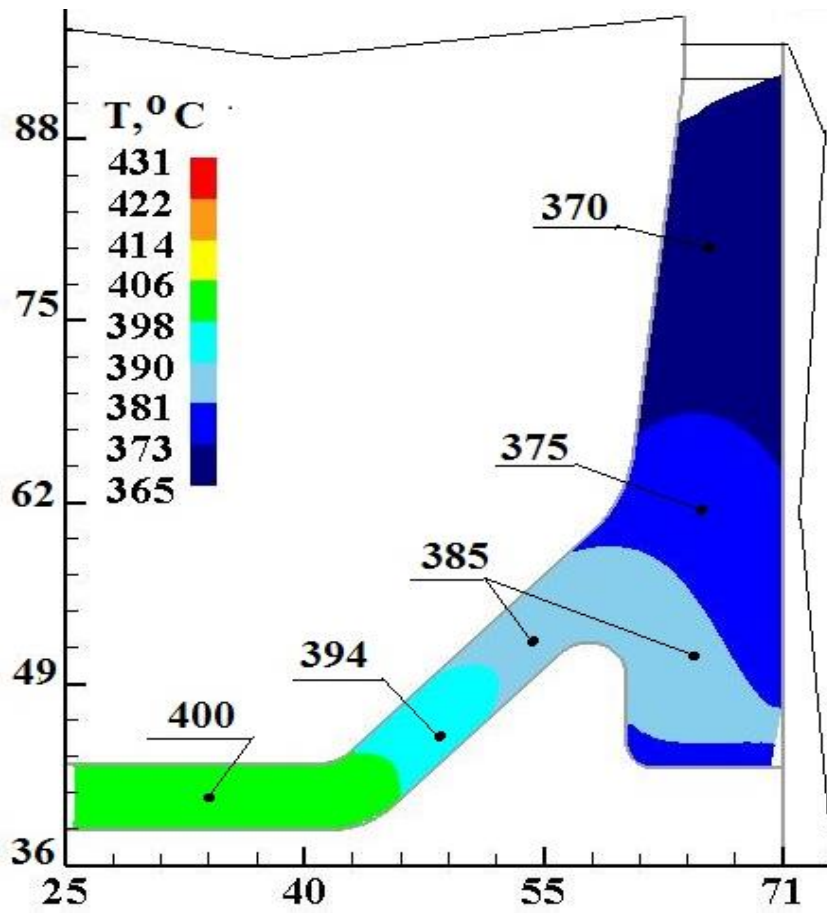


Переміщення
пуансону
240мм

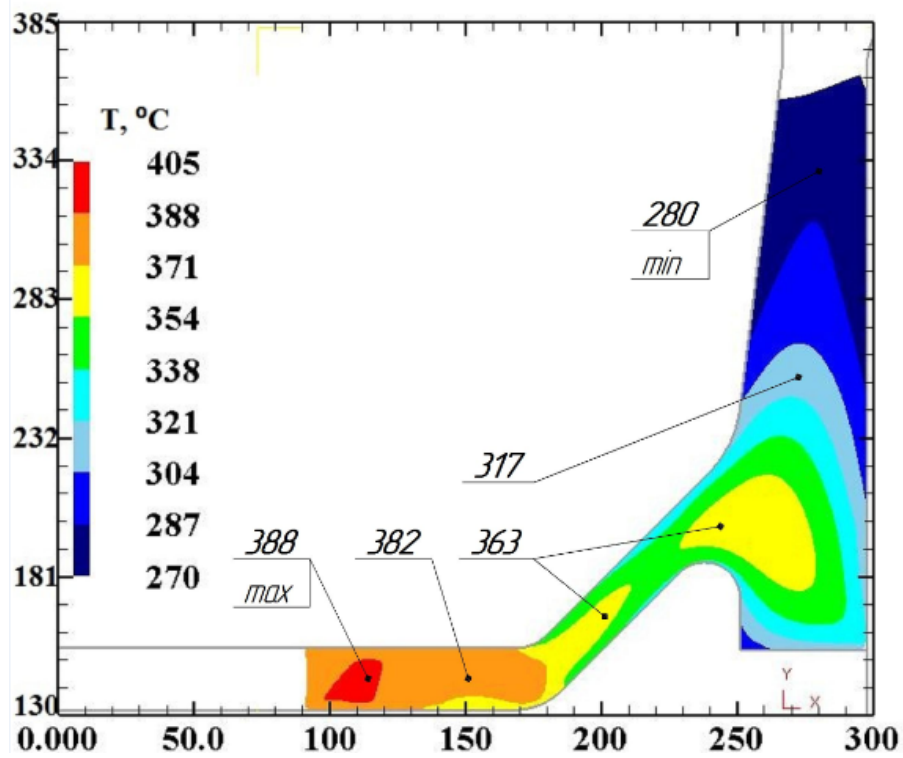


Кінцеве
положення
пуансону

Рис. 5.4 Розподіл температури по об'єму заготовки на різних етапах гарячого штампування



а

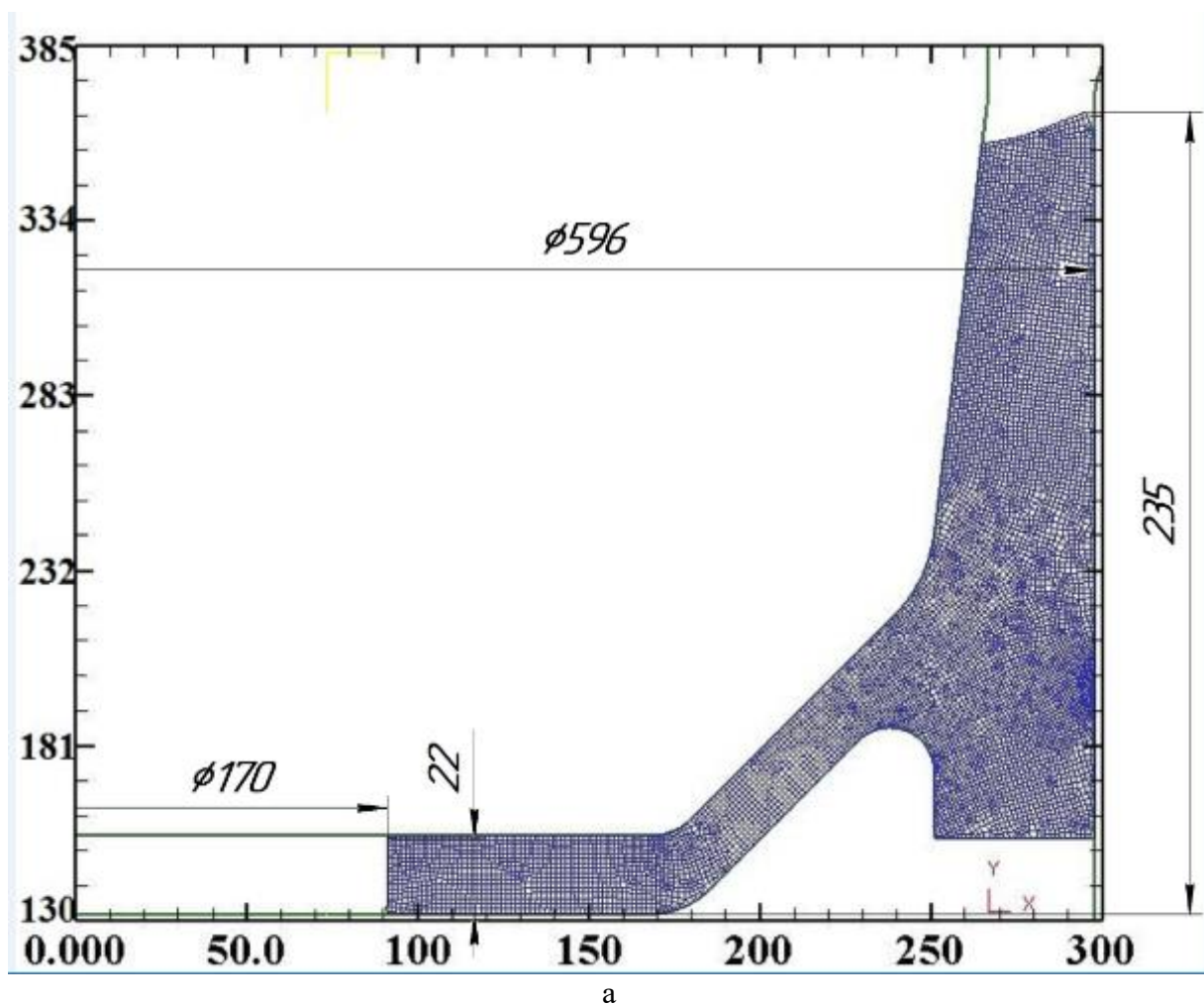


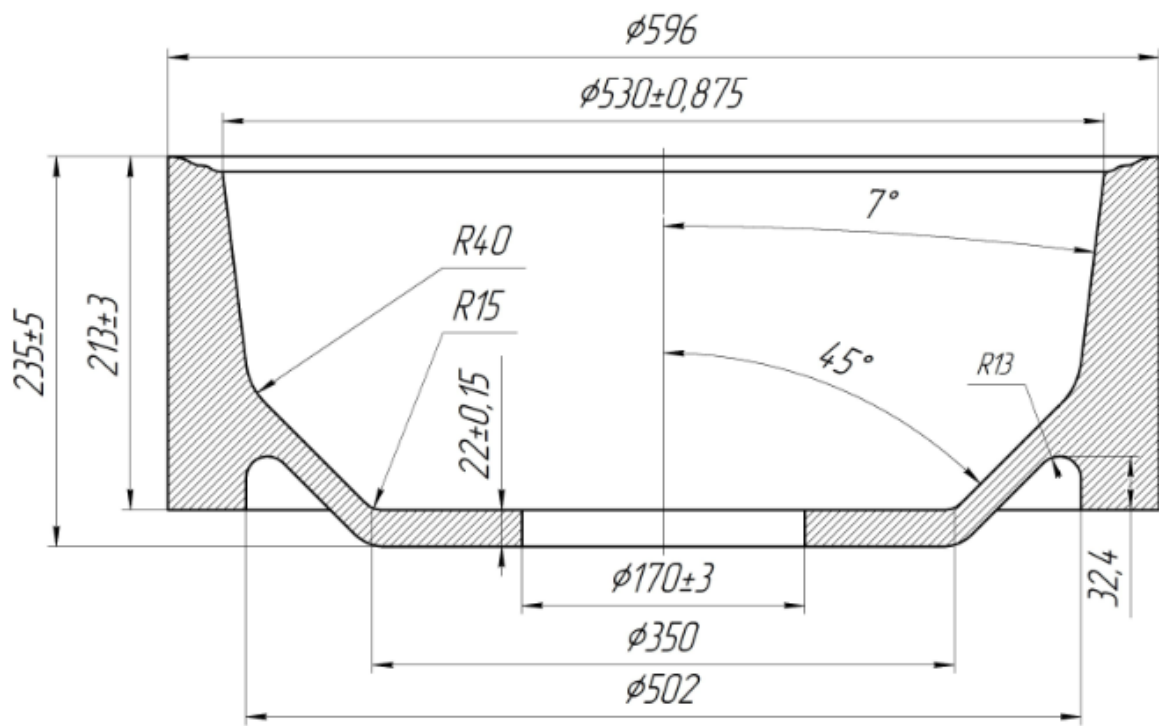
б

Рис. 5.5 Розрахунковий розподіл температури по об'єму заготовки (а- модельна заготовка, б- заготовка в натуральну величину)

Виходячи з отриманого розподілу треба сказати, що при збільшенні температури розігріву інструменту до 360 °С та зменшенні часу на установку заготовки, що в свою чергу призведе до збільшення початкової температури нагріву заготовки ми гарантовано дотримуємося штампувального інтервалу для високоміцного алюмінієвого сплаву В93пч. Температурний розподіл для цього випадку наведено на рис. 5.4. Як можливе корегування в процесі штампування рекомендується збільшення швидкості деформування або збільшити температуру підігріву пуансона та матриці на 20-50°С.

Заповнення геометрії виробу наведено на рис. 5.6.





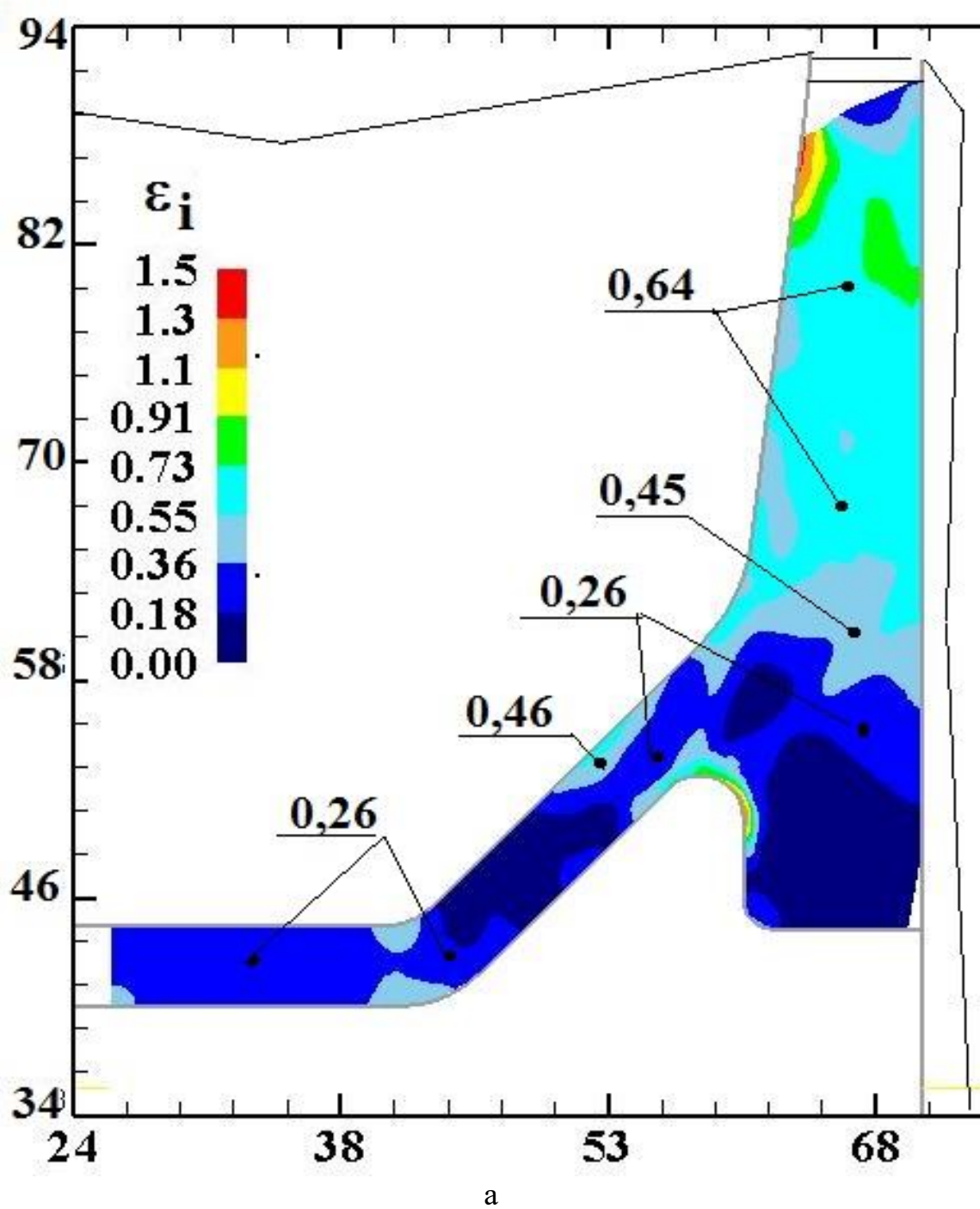
б

Рис. 5.7. Отриманий каток :а- заповнення в штампі, б- розміри отриманої заготовки

З розмірів виробу що було отримано чисельним моделюванням видно, що при запропонованих параметрах процесу гарячого штампування розміри отриманого виробу повністю відповідають кресленню деталі з подальшою механічною обробкою.

Для порівняння можливості пропрацювання пластичною деформацією необхідного об'єму заготовки наведемо розподіл інтенсивності деформації по об'єму заготовки та порівняємо його з вже перевірними даними чисельних експериментів на модельній заготовці.

Розподіл інтенсивності деформацій в об'ємі заготовки представлено на рис. 5.9. За рахунок удосконалення розмірів та форми вихідної заготовки вдалося покращити пропрацювання структури металу в зоні конічного ободку. Що дасть можливість покращити фізико-механічні властивості кінцевого виробу.



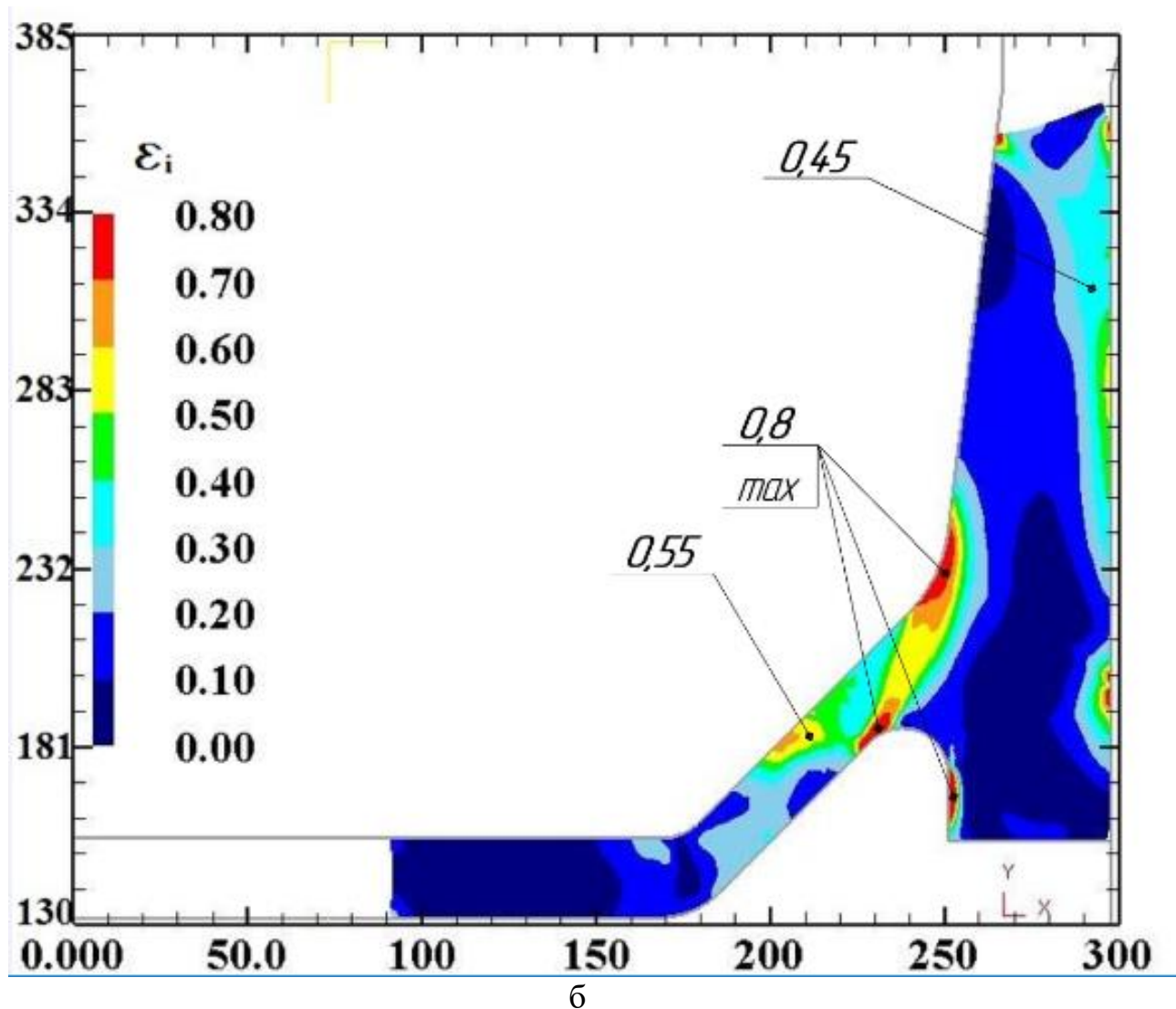
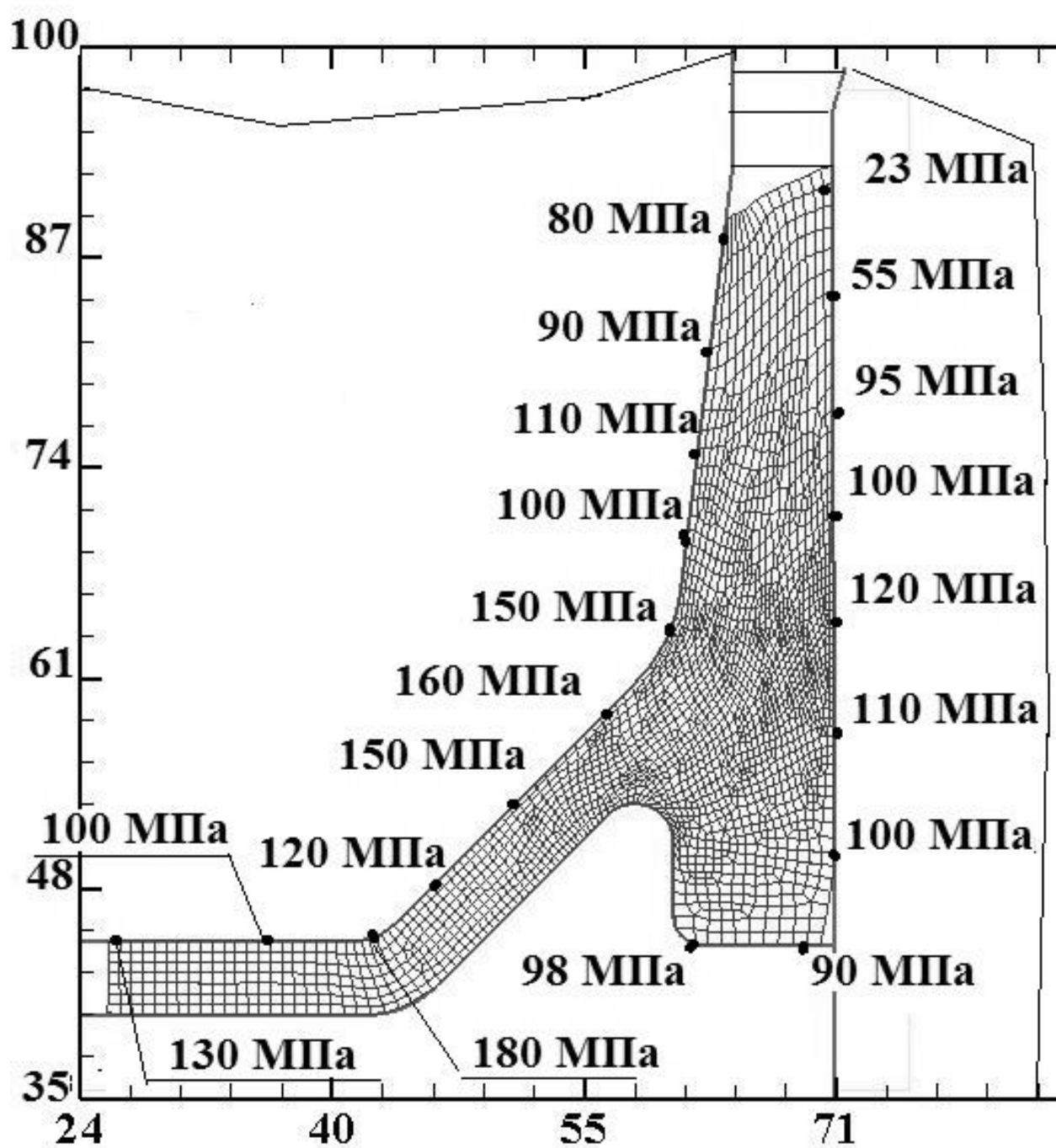


Рис. 5.8. Розрахунковий розподіл інтенсивності деформацій ε_i в об'ємі виробу після штампування. Розміри по осях приведені в міліметрах (а- модельна заготовка, б- заготовка в натуральну величину)

На рис 5.9 представлено розподіл нормальних напружень на робочому інструменті (пуансоні, матриці та виштовхувачі). Використовуючи рекомендації [17] виконаємо розрахунки з проектування робочого інструменту та штампу в цілому. За ціми даними було спроектовано бандажовану матрицю та оцінено можливість отримання кінцевого виробу на пресі зусиллям 4МН.



a

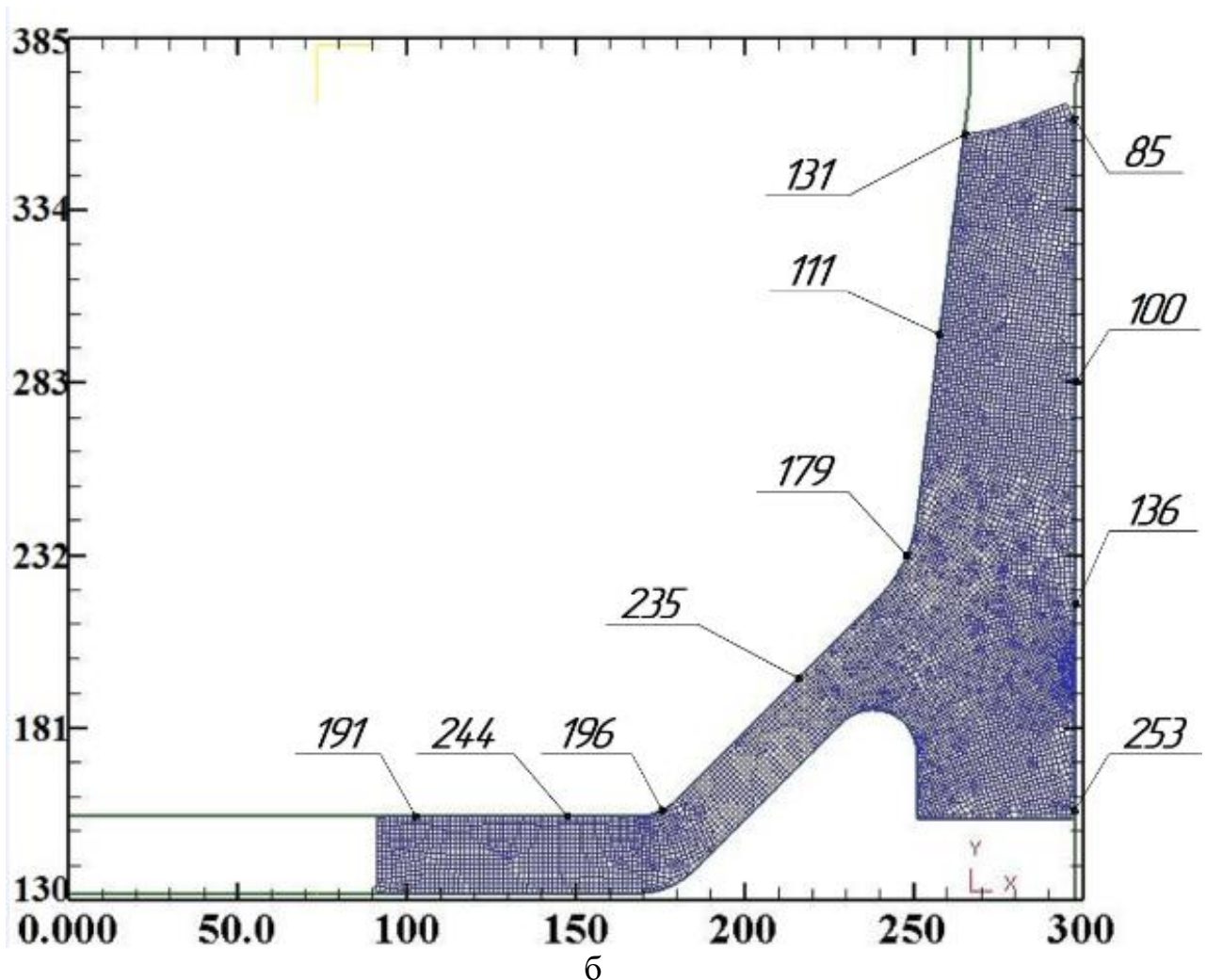


Рис. 5.9. Розрахунковий розподіл нормальних напружень на поверхнях деформуючого інструменту, які виникають при максимальному зусиллі штампування. Розміри по осях приведені в міліметрах (а- модельна заготовка, б- заготовка в натуральну величину)

За результатами моделювання спроектовано штампове оснащення з застосуванням електричного нагріву елементів штампу для гарячого штампування. Конструкція штампу для застосування на гідравлічному пресі ДБ 2436 зусиллям 4 МН приведено на рис. 5.10. Штамп складається з нижньої плити 4 прямокутної форми і пазами для кріплення на столі преса, в якій встановлений штовхальник 9.

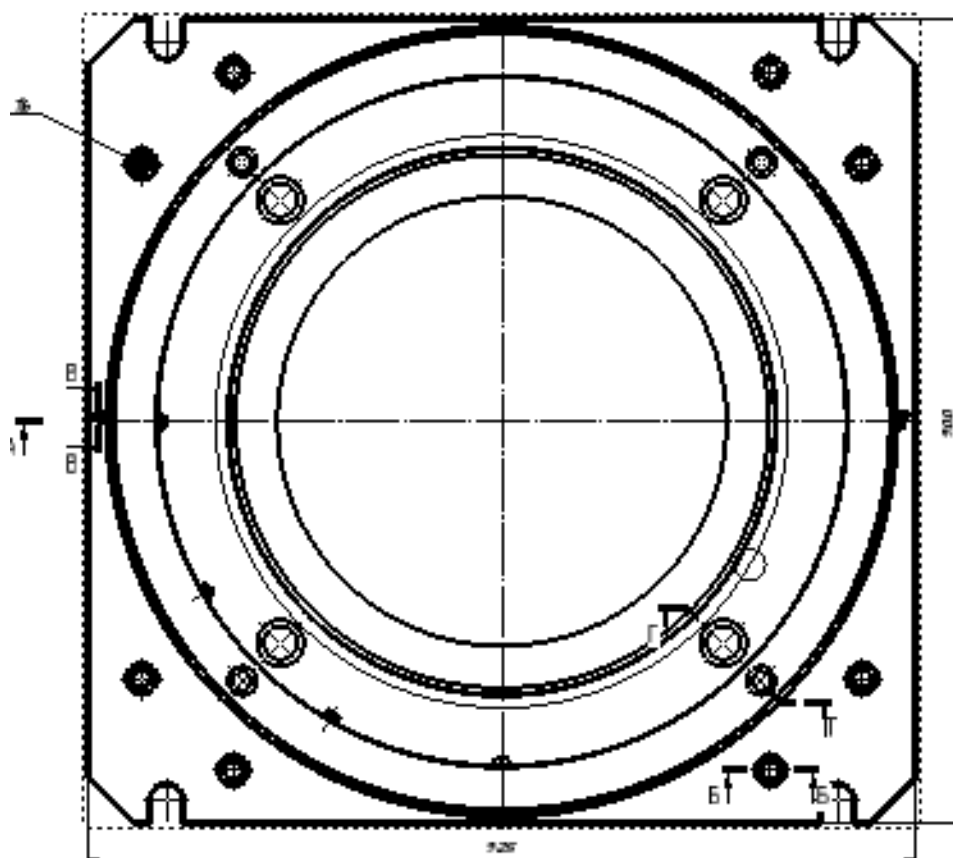
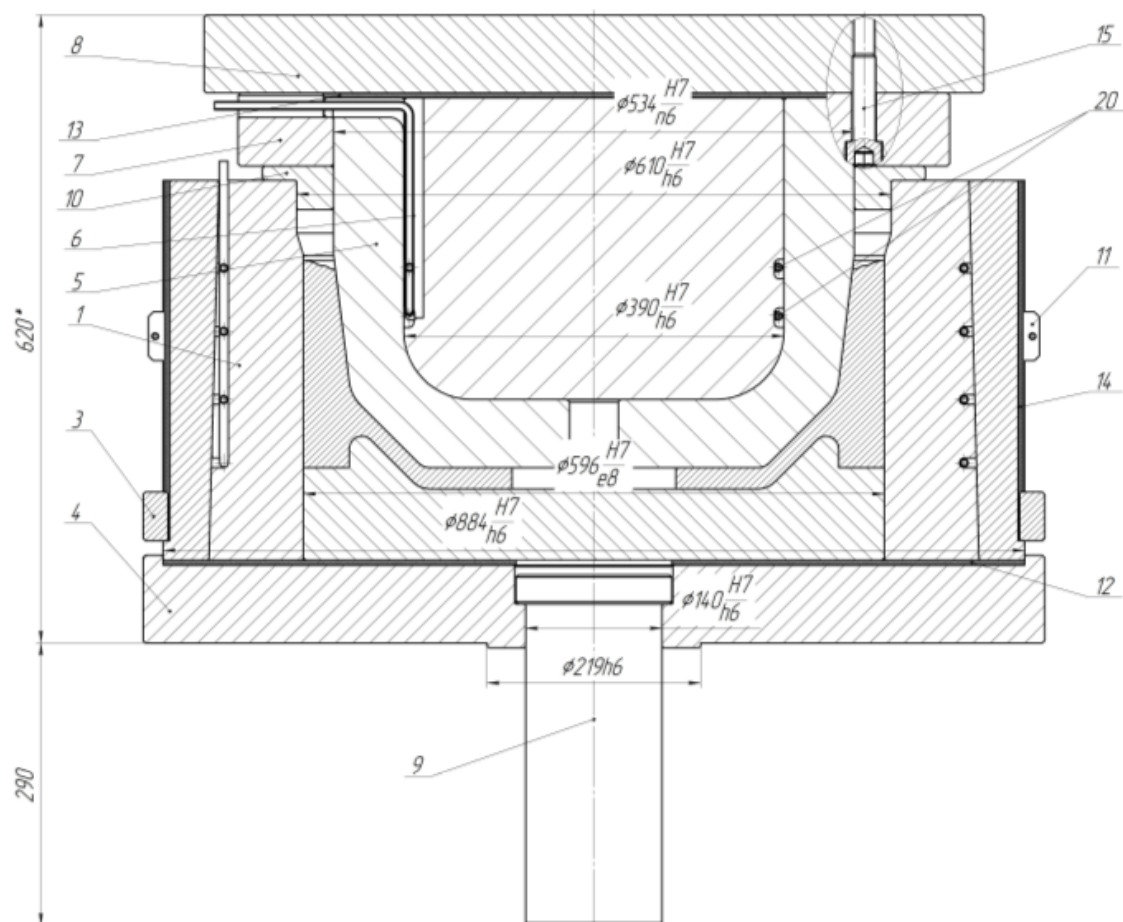


Рис. 5.10. Схема конструкції штапу

На нижній плиті 4 розміщена бандажована матриця 1 з нагрівальними елементами 6 яка обмотана термоізолюючим матеріалом 13, що утримується кожухом 14. Матриця 1 зафіксована кільцем 3 і болтами кріпиться до нижньої плити, при цьому між матрицею та нижньою плитою підкладається термоізолюючий матеріал 12. Пуансон 5 розміщений в пуансонотримачі 7 виконаний з двох частин та оснащений електронагрівачами 6 кріпиться до круглої верхньої плити 8 за допомогою болтів 15. Між пуансоном та верхньою плитою підкладається термоізолюючий матеріал 13.

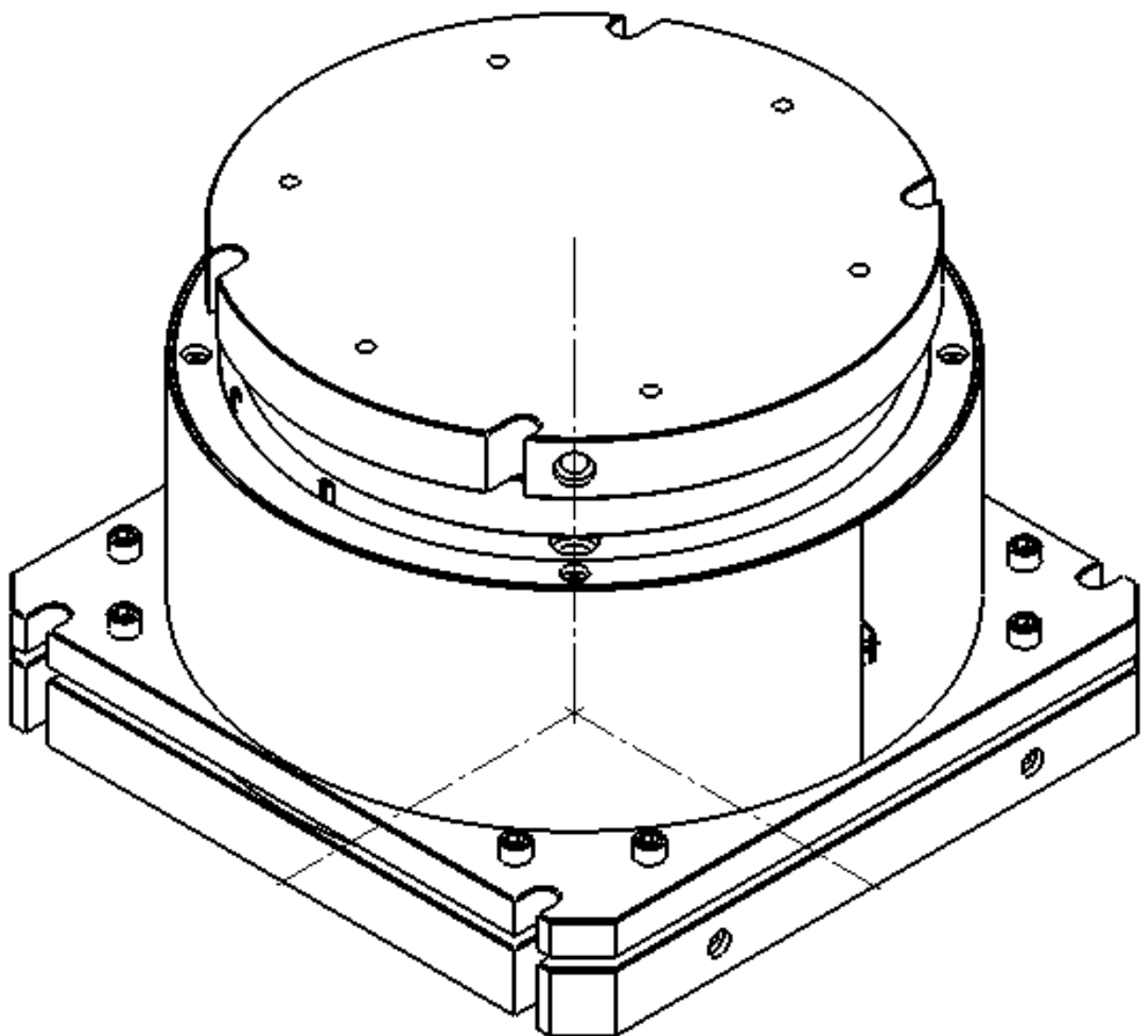


Рис. 5.11. Загальний вигляд штампу

На рис. 5.12 наведено матричний блок разом з нагрівачами. Оснащення електронагрівачами (тен гнучкий Електрон-Т 350см 3кВт 8,5мм) потужністю від 3кВт до 4.5 кВт дозволить нагрівати матрицю до температур від 300 °С до 360 °С. Для зменшення теплових втрат використовується термоізолюючий матеріал Паронит (ПОН 5мм ГОСТ 481-80).

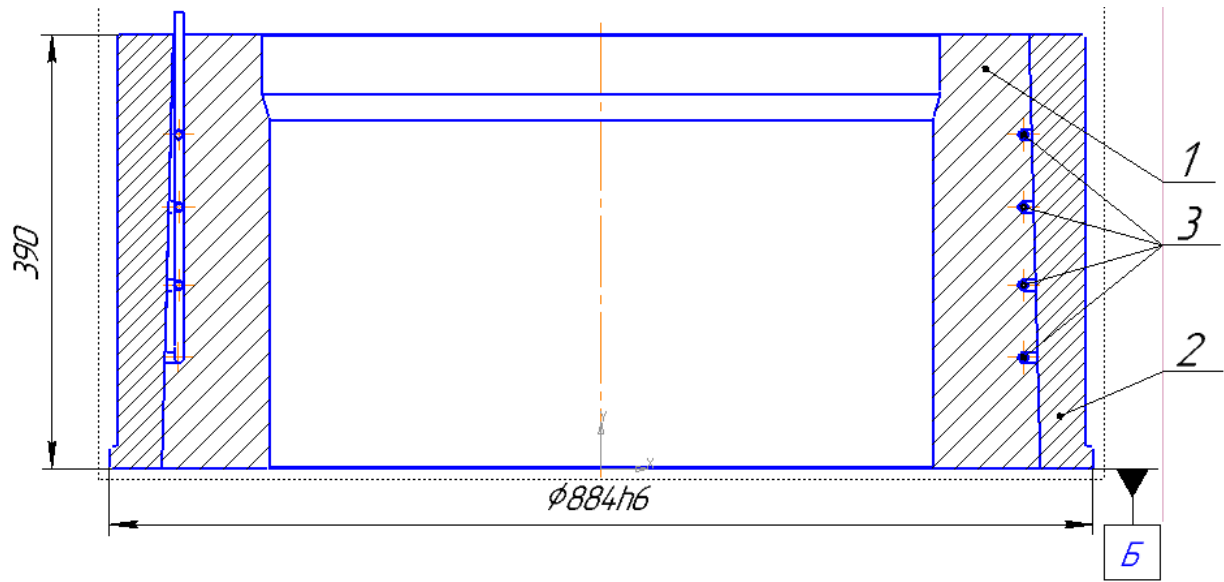


Рис. 5.12 Матричний блок

Враховуючи необхідність підігріву пуансону його виконуємо теж збірним. На рис. 5.13 наведена конструкція пуансону.

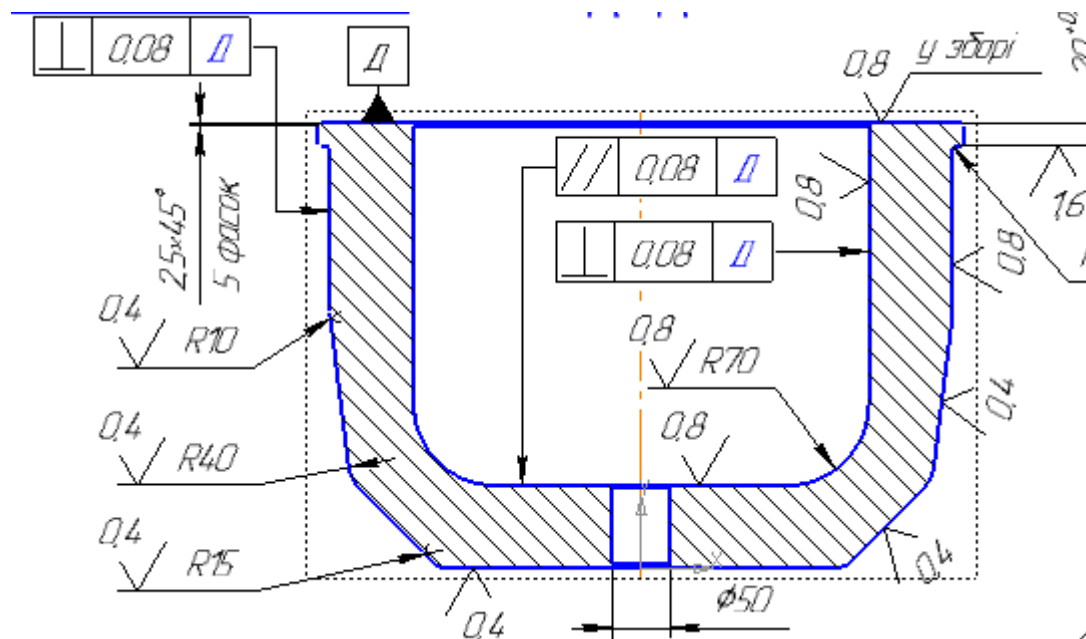


Рис. 5.13 Конструкція пуансону

Також були розроблені інші елементи штампової конструкції, що дозволить отримувати заготовку опорного катка БМ «Оплот» в натурну величину на гідравлічному обладнанні зусиллям 4МН та більше.

При гарячому штампуванні на гідравлічних пресах необхідно враховувати наступне:

1. Оскільки швидкість деформування на гідропресах мала 15 (мм/с), нагрітий метал значно довше контактує зі штампом і в разі штампування чорних металів може значно розігрівати штамп. Щоб запобігти його деформації, передбачають охолодження таких штампів водою: через спеціальні отвори в штампі прокачують холодну воду.
2. У разі штампування викову з кольорових сплавів, які мають значно меншу теплоємність і досить вузький допустимий інтервал температур штампування, є небезпека їх швидкого охолодження від контакту зі штампом і виходу за межі температурного інтервалу. В цих випадках штамп підігрівують вбудованими в штамп електропідігрівачами.
3. Питомий опір деформації при штампуванні може бути настільки високим, що під дією робочих зусиль деякі елементи штампую можуть пружно деформуватися. В цих випадках під час проектування штампую потрібно корегувати форму і розміри елементів ручая з урахуванням можливої пружної деформації штампую

При проектуванні технологічного процесу враховуючи розташування технологічного обладнання слід дотримуватись наступних рекомендацій при розрахунках температурного інтервалу штампування.

Знаючи матеріал викову, за таблицями визначають допустимий інтервал температур кування – це діапазон температур, при яких матеріал має достатньо високу пластичність і низький опір деформації, що забезпечує

виготовлення якісного викову. Для розрахунку технологічного інтервалу нормують технологічний процес кування конкретного викову: розраховують, скільки часу потрібно, щоб вийняти заготовку з печі, транспортувати до молота чи преса і виконати всі технологічні операції – Ч. Виходячи з формули Доброхотова $Ч = 0,006\Delta T^{\circ} Нпр$, , визначають на скільки градусів охолоне заготовка і виков за цей час: $\Delta T^{\circ} = Ч/0,006 Нпр$, де Нпр - приведена товщина викову: $Нпр = V_{вик}/F_{вик}$. – об'єм викову, поділений на площу проекції його на роз'єм штампів. Знаючи абсолютну величину технологічного інтервалу, визначають його межі – при якій температурі починають кувати і при якій закінчують. Як правило, технологічний інтервал менше допустимого, і саме технолог має призначити температуру нагрівання, початку кування і закінчення, виходячи з наявного устаткування і керуючись потребою мінімально можливої собівартості виготовлення викову. Якщо ж розрахункова величина технологічного інтервалу більше допустимого (при куванні це буває, при штампуванні, практично, ніколи), то потрібно передбачити підігрівання викову під час кування (а, може, навіть і двох).

Для змащення необхідно враховувати наступні рекомендації.

Майже всі високотемпературні мастила, які використовуються в промисловості для операцій кування, засновані на графіті. Інші можливі матеріали використовуються набагато менше або тільки в експериментах. Дисульфід молібдену окислюється на повітрі при більш низьких температурах, ніж графіт, і його слід розглядати як середньо температурні мастило; дисульфід молібдену можна використовувати і в високотемпературних операціях, якщо час контакту з гарячим металом мало, як наприклад при ударної куванні алюмінієвої бронзи і титану, де кінцеві температури кування досягають $800^{\circ} C$. Він знайшов також застосування при куванні крипостійких сталей і сплавів типу німонік при температурі близько $1100^{\circ} C$. У зв'язку з відносно високою вартістю дисульфід молібдену часто використовують в суміші з графітом. Скло служить хорошою мастилом

для гарячого пресування, і були спроби використовувати його для гарячого кування сталей, нікелевих і титанових сплавів. Використання скла має деякі недоліки, і по можливості використовують інші мастила. Склографітне суміші використовували в експериментах. Осадження плівок міді на титан, а також срібла а й чистого нікелю на високоміцні нікелеві сплави представляє великий інтерес; в даному випадку основною метою є запобігання окислення заготовки, а мастильна дія грає другорядну роль. Бура, що наноситься на заготовки для поковок з нержавіючої сталі, в першу чергу використовується для захисту металевої поверхні від нагрівання, її дія як мастило другорядне. Інертні матеріали, як наприклад вермикуліт, слюда, тальк, свинцеві білила і порошок окису алюмінію, іноді використовують при куванні в закритих штампах для зменшення термічних ударів в штампі і попередження різкого охолодження заготовки. Якщо інертний матеріал при температурі обробки менш міцний і більш пластичний, ніж оброблюваний метал, він може служити мастилом. Звичайні кувальні мастила, що містять в якості основного компонента графіт, значно відрізняються за складом і методу використання. Зазвичай мастило наносять одним з двох способів: попередня обробка штампів при першому використанні або нанесення мастила на порожнину штампа перед кожною операцією кування. Попередня обробка полягає в очищенні і нагріванні нових штампів, обприскуванні їх колоїдної суспензією графіту, доведенні рідини-носія до випаровування і потім доведення штампа до отримання блискучої поверхні. Для попередньої обробки штампів використовують також дисульфід молібдену. Твердо-плівкові мастила, які використовуються для попередньої обробки інструменту, міцно пристають до поверхні металу, що обумовлює їх більш важке видалення і забезпечує гарний опір деталі окислення. Коли мастило правильно наносять перед кожною операцією кування, вона служить для відновлення і збереження пов'язаної сухої плівки. Важливою характеристикою кувальної мастила, є тип і концентрація графіту, середовище, в якому він зважений, і наповнювачі або

інші вводяться присадки. Якщо потрібні поковки найвищої точності, то використовується високоякісний колоїдальний графіт. Малі розміри частинок менш важливі, ніж низький вміст золи. Напівколоїдальний і лускатий графіт, будучи більш дешевими, мають дуже велике застосування, хоча більш високий вміст золи в них може викликати швидкий знос штампа. Серія експериментів з кування показала, що напівколоїдальний графіт більш ефективний для зменшення тертя, ніж колоїдальний графіт. Кількість графіту в мастилі може змінюватися в досить широких межах. У більш важко навантажених операціях кування концентрацію графіту в мастилі необхідно збільшувати. Вибір речовини-носія, в якому диспергуванні мастило, залежить від температури штампа під час нанесення мастила і від методу нанесення. Є оптимальний інтервал температур нагрівання металу для успішного проведення операції кування, що залежить від матеріалу штампа і особливостей самого процесу. Штампові стали володіють різною стійкістю до дії термічних ударів. При відповідній штампового стали і низькій температурі нагріву штампа (менше 200°C) вода є кращим носієм змащувальної речовини. Вода служить ефективною охолоджуючою середовищем і не дає небажаних залишків при випаровуванні. Якщо потрібно підтримувати температуру штампа більше 200°C , то в якості речовини-носія необхідно застосовувати інші середовища з найкращою покриває здатністю. Це залежить від того, що при цих температурах вода згортається в краплі і відскакує від поверхні штампа. Спирт, легкі мінеральні масла, важкі циліндрові масла і жири можуть бути використані при більш високих температурах штампа. Масла згорають, залишаючи вуглецевий шар, який може мати деяку цінність як розділяє середу. Сумнівно, однак, щоб цей шар істотно зменшував тертя. Товсті вуглецеві відкладення повинні віддалятися з штампа для збереження правильних розмірів і форми виробу. Чим вище консистенція мастила, тим більше «кількість диму і кіптяви виникає при нанесенні змащення і тим більше неприємна ця операція. Нанесення мастила

спреєрного пристроєм завойовує все більше визнання. При використанні спреєр високого тиску [до 7 Мн / м} (70 ат) \ с поверхні штампа видуваються всі залишки змащення від попередньої операції і наноситься рівномірний шар нової мастила. Спреєрного нанесення мастила дозволяє використовувати більш легке речовина-носії (наприклад, мастила на водній основі використовуються при температурі штампа до 550 ° С). Кількість наноситься мастила можна більш точно регулювати. Графітові дисперсії, що використовуються для високотемпературних мастил, містять різні присадки. Легкі суспензії містять диспергируючий агент, який зменшує осідання графіту, що збільшує його вміст у мастилі. Дисульфід молібдену можна додавати до графітової дисперсії в мастилах, що застосовуються в операціях з високими питомими тисками. Слід, нарешті, вказати на застосування термореактивних смол для високотемпературних кувальних мастил. Вони полімеризуються на гарячому штампі і утворюють шар, що містить графіт і дисульфід молібдену; вони служать також утеплювачем штампа. Один з перших методів нанесення мастильної плівки на гарячий штамп за допомогою твердого сполучного речовини припускав застосування суміші дисульфиду молібдену і кукурудзяного сиропу. Такі зв'язують плівки більш підходять для середньо температурних мастил, що використовуються при гарячій обробці алюмінієвих або магнієвих сплавів. Однак до теперішнього часу немає достовірної інформації щодо доцільності застосування смол в якості речовини-носія.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Моделюванням методом скінченних елементів встановлені параметри гарячого штампування поковки диска опорного катка БМ «Оплот» з попередньої виливки із сплаву В93пч із заданим опрацюванням структури металу пластичною деформацією для забезпечення механічних властивостей в стінці після термообробки. Моделюванням визначені форма і розміри вихідної заготовки, температура підігрівання деформуючого інструменту, зусилля штампування, зусилля виштовхування виробу з матриці, питомі зусилля на інструменті, зміна температури металу при формозміні, напружено-деформований стан заготовки, кінцеві форма і розміри виробу. За результатами розрахункового аналізу спроектований і виготовлений штамп для гарячого штампування і проведені експериментальні дослідження на гідравлічному пресі. Виконані випробування на розтягування стандартних зразків, які вирізані із стінки виробу після термообробки. Визначені умовна межа плинності, межа міцності, відносне подовження і твердість. Дані випробувань відповідають заданим значенням механічних властивостей.

За результатами проведених чисельних та натурних експериментів було визначено оптимальну форму вихідної заготовки для отримання кінцевого виробу опорного катка БМ «Оплот» гарячим штампуванням на гідравлічному пресі ДБ 2436 зусиллям 4МН. Розроблено та спроектоване штампове оснащення з застосуванням електричного підігріву що значно спрощує підготовку виробництва, скорочує час штампування та дає можливість підвищити якість умов праці робітників та корегування умов штампування для отримання кінцевого виробу необхідної якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. http://btvt.narod.ru/4/t-64_t-72.htm
2. Корнеев Н.И. Ковка и штамповка цветных металлов. Справочник / Н.И. Корнеев, Аржаков В.Н., Бармашенко Б.Г. и др. – М: Машиностроение, 1971 – 232 с.
3. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т/ / Ред. Совет: Е.И. Семенов (предс.), Ганаго О.А., Живов Л.И. и др. –М.: Машиностроение, 1986, т.2. Горячая объемная штамповка / Под ред. Е.И. Семенова. 1986. – 592 с.
4. Данченко В.Н. Производство профилей из алюминиевых сплавов / В.Н. Данченко, А.А. Миленин, А.Н. Головкин – Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 448 с.
5. Данченко В.Н. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы. / В.Н. Данченко, А.А. Миленин, В.И. Кузьменко, В.А. Гринкевич – Днепропетровск: Системные технологии, 2008. – 448 с.
6. Скрябин С.А. Влияние внеконтактных зон на уширение при вальцовке цилиндрических заготовок в гладких валках / С.А. Скрябин, В.Л. Калюжный, Д.С. Чайка // Вестник донбасской государственной машиностроительной академии. – Краматорск: ДГМА, 2008. – С. 147-161.
7. С.А. Снитко. Конечно-элементное моделирование многопереходного моделирования при производстве железнодорожных колес / С.А. Снитко, В.Л. Калюжный, // Вестник НТУУ «КПИ», Машиностроение. – К: НТУУ «КПИ», 2011, №11. – С. 106-112.
8. Алиева Л.И. Анализ процесса последовательного радиально-прямого выдавливания методом кинематических модулей / Алиева Л.И., Чучин О. В. // Научный вестник ДГМА №3, 2015.- с. 5-21.

9. Валиев, Р.З. Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации / Р.З. Валиев // Российские нанотехнологии. 2006. Том 1. №1-2. - С. 208-216.
10. Сегал, В.М. Процессы обработки металлов интенсивной пластической деформацией / В.М. Сегал // Металлы. 2006. №5.
11. Милевская Т.В. Деформационное поведение высокопрочных алюминиевых сплавов в условиях горячей деформации // Милевская Т.В., Рушиц С.В., Ткаченко Е.А., Антонов С.М. // Авиационные материалы и технологии №2 2015г. с.- 3-9.
12. Chen Yong-lai et al. Hot deformation behavior of Al–Cu–Li–Mg–Zr alloy containing Zn and Mn // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2007. V. 17. P. 271–275.
13. Ремнев К.С. Вытяжка с утонением стенки анизотропного упрочняющегося материала / К.С. Ремнев, Фам Дык // Тхиен, Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. Вып. 6. Ч. 2
14. Агеев Н. П. Исследование неравномерности распределения степени деформации и механических свойств по сечению полых деталей, штампуемых способом вытяжки с утонением / Н. П. Агеев, Е. В. Затеруха // Металлообработка №3(81) 2014
15. Yohei Abe. Improvement of Formability in Ironing of Stainless Steel Drawn Cups Using Low Friction Cermet Dies / Yohei Abe, Tomohiro Fujita, Ken-ichiro Mori, Kozo Osakada, Takashi Shiba Witthaya // Daodon Procedia Engineering Volume 81, 2014, Pages 1896-1901.
16. Himzo Đukić.1 Limit values of maximal logarithmics strain in multi-stage cold forming operations. / Himzo Đukić.1, Mirna Nožić // Journal for Technology of Plasticity, Vol. 40 (2015), Number 1
17. **Zhbankov I. G., Perig A. V., Aliieva L. I.** New schemes of forging plates, shafts and discs // Int. J. of Advanced Manufacturing

- Technology, 2015. – Vol. 82. – pp. 287- 301. – Access : DOI : 10.1007/s00170-015-7377-7.
18. **Zhbankov I. G., Perig A. V., Aliieva L. I.** Calculation of recovery plasticity in multistage hot forging under isothermal conditions // Springer Plus – 2016. – 5:1881. DOI: 10.1186/s40064-016-3570-x.
 19. **Aliev I., Zhbankov Y., Martynov S.** Forging of shafts, discs and rings from blanks with inhomogeneous temperature field // Journal of chemical technology and metallurgy – Volume 51. – Issue 4. – Temirtau, Kazakhstan, 2015. – P. 393-400.
 20. **Markov O. E.** Forging of Large Pieces by Tapered Faces. Steel in Translation, (2012). 42 (12), 808–810. <http://dx.doi.org/10.3103/S0967091212120054>
 21. <http://mpm-rp.kpi.ua/metodichki/tehnologiya-garyachogo-shtampuvannya-ta-konstruyuvannya-shtampiv/>
 22. <http://mpm-rp.kpi.ua/metodichki/tehnologiya-nagrivu-ta-nagrivalne-obladnannya/>
 23. <http://mpm-rp.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/04/V.Ivashhenko.-TGSHKSH.-kurs-lektsiy.-2014-1.pdf>
 24. <http://mpm-rp.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/04/V.Ivashhenko.-TGSHKSH.-kurs-lektsiy.-2014-2.pdf>
 25. <http://mpm-rp.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/04/V.Ivashhenko.-TGSHKSH.-kurs-lektsiy.-2014-3.pdf>

ДОДАТКИ