МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
(тип кваліфікаційної роботи)
магістра
(освітній ступінь)

на тему «Порівняння впливу особливостей геометрії облойного рівчака на результат об'ємного штампування деталей авіаційної техніки»

ХАІ.104.163.23О.134.1801141 ПЗ

Виконав: здобувач(ка) 2 курсу групи № 163FRL
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
(код та найменування)
Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
(код та найменування)
Освітня програма «Технології виробництва та ремонту літальних апаратів»
(найменування)
Лю Ченьйю
(прізвище та ініціали здобувача (ки))
Керівник: Володимир БОРИСЕВИЧ
(ім'я та прізвище)
Рецензент: Юрій ЧОРНИЙ
(ім'я та прізвище)

Харків – 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
(код та найменування)

Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
(код та найменування)

Освітня програма «Технології виробництва та ремонту літальних апаратів»
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Катерина МАЙОРОВА
(підпис) (ім'я та прізвище)
«____» _____ 20___ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лю Ченьйю
(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної «Порівняння впливу особливостей геометрії облойного рівчака на результат об'ємного штампування деталей авіаційної техніки»
керівник кваліфікаційної роботи Борисевич Володимир Володимирович, доцент
прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету № 2036-уч від «23» 11 2023 року

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи 15 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)
Конструкторський розділ: розроблення конструкції вузла (шпангоута) літака. Розробка конструкції вузла літака – нервюри крила. Технологічний розділ: Класифікація поковок. Класифікація процесів об'ємного деформування. Проєктування поковки та штампу. Економічний розділ: Розрахунок собівартості складання вузла за укрупненими показниками. Спеціальний розділ: Облой та визначення розмірів облойного рівчака

5. Перелік графічного матеріалу

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конструкторський розділ	Чумак А.С., доцент каф.103	20.11.2023	16.01.2024
Технологічний розділ	Борисевич В.В., доцент каф.104	20.11.2023	16.01.2024
Економічний розділ	Борисевич В.В., доцент каф.104	20.11.2023	16.01.2024
Спеціальний розділ	Борисевич В.В., доцент каф.104	20.11.2023	16.01.2024

Нормоконтроль _____ Володимир БОРИСЕВИЧ «16» 01 2024 р.
(підпис) (ім'я та прізвище)

7. Дата видачі завдання «___» _____ 20____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Конструкторський розділ	16.01.2024	
2	Технологічний розділ	16.01.2024	
3	Економічний розділ	16.01.2024	
4	Спеціальний розділ	16.01.2024	

Здобувач _____ Лю Ченьйю
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи
_____ Володимир БОРИСЕВИЧ
(підпис) (ім'я та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП…… 5
1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ……. 6
1.1 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА (ШПАНГОУТА) ЛІТАКА.. 7
1.1.1 Обґрунтування прийнятих рішень розрахунками…….. 8
1.1.2 Технічний опис та конструктивно-технологічний аналіз шпангоута переднього 12
1.1.3 Технічні умови на виготовлення вузла 13
1.2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА ЛІТАКА - НЕРВЮРИ КРИЛА…..……. 13
1.2.1 Обґрунтування прийнятих рішень розрахунками……... 15
1.2.2 Проектування поясів нервюри…….. 19
1.2.3 Проектування стінки нервюри…….. 20
1.2.4 Технічний опис і конструктивно-технологічний аналіз нервюри: роль і місце в літаку, що входять до добірок і деталей, які використовують конструкційні матеріали, види з'єднань…….. 21
1.2.5 Технічні умови на виготовлення нервюри……. 23
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ…… 25
2.1 КЛАСИФІКАЦІЯ ПОКОВОК 26
2.1.1 Класифікація молотових поковок……. 26
2.1.2 Класифікація поковок, що штампуються на КГШП…….. 28
2.1.3 Класифікація поковок, що штампуються на ГКМ……. 29
2.2 КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ОБ'ЄМНОГО ДЕФОРМУВАННЯ….. 30
2.2.1 Загальні відомості про розробку технологічних процесів об'ємного деформування авіаційних деталей…… 30
2.2.2 Гаряче об'ємне штампування……. 35
2.2.3 Гаряче об'ємне штампування на молотах……. 38
2.3 ПРОЄКТУВАННЯ ПОКОВКИ ТА ШТАМПУ……... 41
2.3.1 Аналіз вихідних даних…… 41
2.3.2 Аналіз матеріалу деталі…….. 42
2.3.3 Вибір технології отримання заготовки……. 43
2.3.4 Розробка креслення поковки……. 44
2.3.5 Розробка креслення штампу…….. 46
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ…… 56
3.1 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ СКЛАДАННЯ ВУЗЛА ЗА УКРУПНЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ…… 57
4 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ……. 61
4.1 ОБЛОЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ОБЛОЙНОГО РІВЧАКА..... 62
4.2 ОГЛЯД НАУКОВИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ….. 68
4.3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИБІР ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ……. 70
4.4 СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКТУ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ……. 71
4.5 МОДЕЛЮВАННЯ ГАРЯЧОЇ ОБ'ЄМНОЇ ШТАМПОВКИ…….. 78
ВИСНОВКИ……. 94
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... 95

ВСТУП

Авіаційна промисловість постійно розвивається, ставлячи перед собою виклик створення більш ефективних і надійних виробничих технологій. Одним із ключових напрямків в цьому відношенні є об'ємне штампування заготовок, що відкриває широкі перспективи для поліпшення виробничих процесів та забезпечення високої якості виготовлених деталей.

Застосування об'ємного штампування в авіаційній промисловості визначається не лише потребою у зменшенні ваги та витрат матеріалів, але й прагненням до підвищення міцності, довговічності та ефективності елементів авіаційних конструкцій. Ця технологія відіграє ключову роль у вирішенні важливих завдань, пов'язаних із створенням високотехнологічних і енергоефективних систем, що забезпечують високу продуктивність та мінімальний вплив на довкілля.

Дипломний проєкт передбачає аналіз заданої деталі, вибір методу отримання її заготовки, підбір обладнання та устаткування для об’ємного штампування.

Порівняння впливу особливостей геометрії облойного рівчака на результат об'ємного штампування деталей авіаційної техніки – важливе питання практичного застосування зазначеного методу. Для вирішення цієї задачі оптимальним є використання сучасних технологій моделювання. Дипломний проєкт передбачає застосування програмних засобів моделювання процесу об’ємного штампування.

1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

1.1 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА (ШПАНГОУТА) ЛІТАКА

Проектування агрегату літака – це процес розроблення конструкції з виконанням необхідних розрахунків і креслень.

Шпангоути складають поперечний набір силових елементів мотогондоли. Їх виконують у вигляді замкнутих рамних систем кільцевої та близької до неї форм. Навантаження, що діють у поперечних перерізах шпангоута, визначають методами будівельної механіки, і в цій роботі їх задають незалежно у зв'язку з навчальним сенсом проєкту.

За призначенням і конструктивним виконанням шпангоути поділяються на нормальні та посилені. У зв'язку з необхідністю зняття частини навантаження з сусідніх силових шпангоутів, шпангоут виконуємо посиленим, що передбачає його нерозрізненост під стрингери панелей мотогондоли. Шпангоут кріпиться до панелей за допомогою технологічних компенсаторів. У такому разі спрощуються складальні роботи і поверхня мотогондоли практично не спотворюється. У конструктивно-технологічному відношенні шпангоут є складовим і містить пресовані профілі та стінку, з'єднані заклепками. Нижнім поясом шпангоута є рама двигуна, що кріпиться до стінки болтами.

Конструкції вузлів і панелей повинні забезпечувати можливість максимальної механізації складально-клепальних робіт. Це можливо за таких умов:

1) Шпангоут має відкриті двосторонні підходи до місця клепки;

2) Розміри шпангоута відповідають характеристикам високопродуктивних пресів, свердлильного обладнання тощо;

3) Крок заклепок по контуру поясів постійний, діаметр і матеріал заклепок однаковий;

4) Елементи каркасів мають відкриті контури;

5) Матеріал деталей шпангоута є легкооброблюваним, оскільки алюмінієві сплави забезпечують полегшення виготовлення заготівельного оснащення і скорочують його кількість;

6) Елементи конструкції шпангоута є високоприйнятними, оскільки необхідні для їх виготовлення технологічні процеси раніше освоєні в промисловості.

1.1.1 Обґрунтування прийнятих рішень розрахунками

Для розрахунку використовуємо алгоритм вибору форм і розмірів елементів шпангоутів мінімальної маси з алюмінієвого сплаву Д16Т, який наведено в табл. 1.1 [1].

Вихідними даними для розрахунку є:

- згинальний момент М=13 кНм
- поперечна сила Q=11 кН
- діаметр мотогондоли Dм=0,7 м

Проведемо розрахунок:

1) Внутрішні зусилля в розрахунковому перерізі шпангоута $M_{шп} = 1{,}3 \cdot 10^6$ дан*мм; $Q_{шп} = 1{,}1 \cdot 10^3$ дан.

2) Приймаємо, що внутрішні та зовнішні полиці однакові. З конструктивних міркувань задаємо ширину полиці $b = 70$ мм.

3) Задаємо ряд значень висоти розрахункового перерізу шпангоута $h(мм)$

Таблиця 1.1

100	120	140	160	180	200

4) Обчислюємо відстань між центрами мас полиць розрахункового перерізу $h_{ЦМ} = 0{,}98h$ (мм).

Таблиця 1.2

98	117,6	137,2	156,8	176,4	196

1) Для каждого заданного значения $h_{ЦМ}$ вычисляем интенсивность нагрузки:

$$3\sqrt{\left(M_{ШП}/b^2 \cdot h_{ЦМ}\right)^2} \quad \left(\frac{дан}{мм^2}\right)^{2/3}$$

Таблиця 1.3

1,94	1,72	1,55	1,41	1,31	1,22

2) За графіком рис. 5.12 визначаємо руйнівну напругу полиці шпангоута в стиснутій зоні:

$$\sigma_p \quad \left(\frac{дан}{мм^2}\right)$$

Таблиця 1.4

27,5	25	22,5	21,5	19,5	19

7) За залежністю $F_{ПОЛ} = M_{ШП} \big/ h_{ЦМ} \cdot \tau_P$ знаходимо площу полиці $F_{ПОЛ}\left(мм^2\right)$

Таблиця 1.5

482,3	442,17	421,12	385,6	377,9	449

8) Обчислюємо інтенсивність поперечних сил $Q_{ШП}/h^2 \quad \left(\frac{дан}{мм^2}\right)$

Таблиця 1.6

0,11	0,076	0,056	0,042	0,033	0,027

9) За графіком рис. 2.15 знаходимо приведене дотичне напруження стінки $\tau_{ПРИВ}\left(\frac{дан}{мм^2}\right)$ при $J \big/ F^2 = 3$, $l \big/ h = 1$.

Таблиця 1.7

9	7	5	3,75	3	2,4

10) За співвідношенням $F_{CT} = Q_{ШП} / \tau_{ПРИВ}$ знаходимо площу стінки разом із приєднаною площею стояків F_{CT} $\left(мм^2\right)$:

Таблиця 1.8

122	157,1	220	293	366	458

11) За залежністю $F_{СЕЧ} = 2 \cdot F_{ПОЛ} + F_{CT}$ побудуємо площу розрахункового перерізу шпангоута $F_{СЕЧ}$ $\left(мм^2\right)$, де $F_{ПОЛ}$ - площа полиці шпангоута в розрахунковому перерізі з урахуванням рівності нижньої і верхньої полиці, що передбачається з їхнім однаковим навантаженням.

Таблиця 1.9

1086,6	1041,44	1062,24	1064,2	1121,8	1356

12) Побудуємо графік $F_{СЕЧ} = f(h)$ (см.рис1.1)

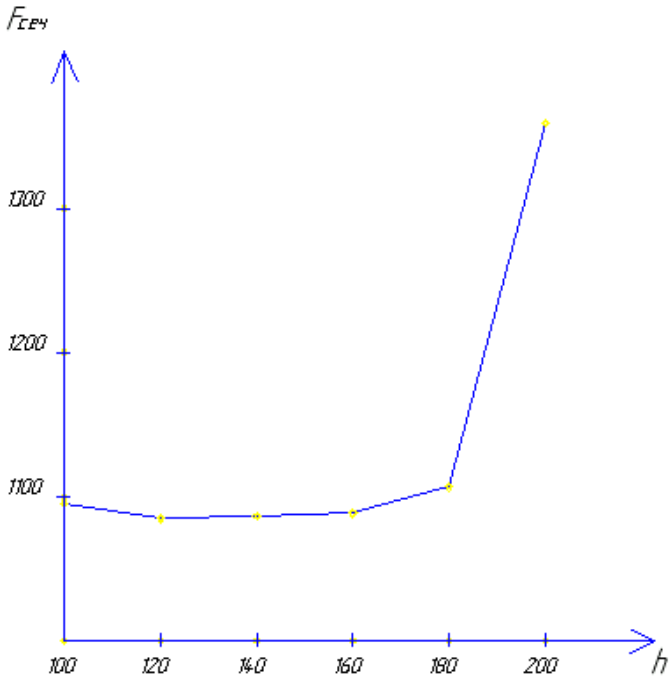

Рисунок 1.1 - Графік залежності $F_{СЕЧ}$ від h.

13) Знаходимо оптимальну висоту розрахункового перерізу шпангоута $h_{ОПТ}$ $(мм)$ відповідну мінімальній площі перерізу $F_{СЕЧ\ MIN}$ $\left(мм^2\right)$.

Тоді $F_{СЕЧ\ MIN} = 1020$ мм^2, $h_{ОРТ} = 130$ мм.

14) Для $h_{ОРТ} = 130$ мм визначаємо $\sigma_P = 24\ \frac{дан}{мм^2}$; $\tau_{ПРИВ} = 6\ \frac{дан}{мм^2}$.

За залежністю $\sigma_P = \frac{M_{ШП}}{h_{ЦМ} \cdot b \cdot \delta}$ визначаємо товщину полиці шпангоута.

Тоді $\delta = \frac{1{,}3 \cdot 10^6}{24 \cdot 70 \cdot 127{,}4} = 6{,}07$ мм.

15) За графіком рис. 2.15 приймаємо оптимальне значення $l/h = 1$ для $\tau_{ПРИВ} = 6\ \frac{дан}{мм^2}$, тоді $l = 130$ мм - крок стійок по середній осі стінки шпангоута.

16) За графіком рис. 2.14 знайдемо руйнівне дотичне напруження стінки, що руйнує $\tau_P = 6{,}87$ та по залежності $\delta_{СТ} = \frac{Q}{h^2} \cdot \frac{h}{\tau_P}$ знайдемо товщину стінки, що не втрачає стійкості $\delta_{СТ} = 1{,}23$ мм.

17) Округляємо отримане значення до найближчого більшого стандартного, тоді $\delta_{СТ} = 1{,}5$ мм.

18) За залежністю $F_C = \left(\frac{Q_{ШП}}{h \cdot \tau_{ПРИВ}} - \delta_{СТ} \right) \cdot l$ знаходимо площу підкріплювальних стояків:

$F_C = \left(\frac{1{,}1 \cdot 10^3}{130 \cdot 6} - 1{,}5 \right) = -0{,}089$ (мм^2). Оскільки площа підкріплених стояків негативна, то застосовувати в конструкції шпангоута їх не будемо.

19) Зробимо підбір перерізу поясів шпангоута. Висота стінки приймається $h_{СТ} = 121$ мм, тоді площа стінки $F_{СТ} = 121 \cdot 1.5 = 181.5$ мм^2.

Знаходимо площу полиці як різницю площ розрахункового перерізу шпангоута і стінки, зменшену вдвічі:

$F_{ПОЛ} = (1020 - 181{,}5)/2 = 419{,}25$ мм^2.

Для верхньої полиці вибираємо профіль із Д16Т ПР100. F=4.277 см^2; J_x=7.957 см^4; H=B=45мм; S=5мм; r=5мм; r_1=2.5мм. (см.рис1.2)

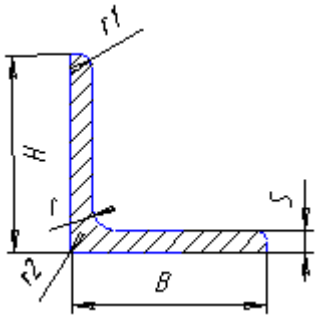

Рисунок 1.2 – Профіль верхнього пояса шпангоута

1.1.2 Технічний опис та конструктивно-технологічний аналіз шпангоута переднього

Посилений шпангоут розташований у носовій частині мотогондоли і призначений для надання форми мотогандолі та підкріплення панелей мотогандоли, що складається з обшивки і стрингерів.

За конструкцією шпангоут є збірним і складається з:

- стінки (ОТ-4);

- накладок;

- ободів "Z"-подібного, кутникового і "П"-подібного перерізу, зібраних у верхній пояс.

З'єднання деталі конструкції шпангоута болтове і заклепувальне. Заклепки анодовані та оксидовані.

1.1.3 Технічні умови на виготовлення вузла

1) Шорсткість оброблюваних поверхонь деталей БЧ становить 3,2.

2) Деталі БЧ виготовляти за шаблонами з плаза.

3) Незазначені граничні відхилення розмірів форми розташування поверхонь за ОСТ1 00022-80.

4) Деталі БЧ маркувати і таврувати за ПІ 63-90 "Х".

5) Клепати за ПІ 249-78.

6) Встановлення болтів за РТМ 1.4. 1941-89 на сирому ґрунті Гр.ЗП-0215 ТУ 6-10-1966-84. Відведення розкривати за Н12.

7) Покриття дет. поз.8: Ан.Окс.нхр./Грунт. ЕП-0215.400. ОСТ1 90055-85.

8) Покриття головок сталевих болтів, гайок, різьбових частин, що виступають, Емаль ЕП-140, темно-зелений, 473. ОСТ1 90055-85.

9) Виготовлення і контроль БЧ деталей з ОТ 4-1 за ПІ 1.4.1279-84, з Д16 - за ПІ 1.4.7977-89.

10) Деталь поз.15 дозволяється виготовляти з матеріалу: лист $\frac{БТ-ПН-1{,}0ГОСТ19904-90}{12Х18Н10ТМТУ14-1-2186-77}$..

11) * Розміри для довідок.

1.2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛА ЛІТАКА - НЕРВЮРИ КРИЛА

Проектування конструкції є частиною завдання проектування літака. Тому високі вимоги, що висуваються до досконалості літака за масою та аеродинамікою, повною мірою стосуються і окремих його елементів. Крило являє собою несучу поверхню літака, призначену для створення аеродинамічної

підйомної сили, необхідної для польоту і маневрів літака на всіх режимах, передбачених ТТТ.

Нервюри - елементи поперечного набору, маса якого становить 10-14%, у безстрингерних конструкціях 25% маси крила. За конструктивним виконанням, призначенням і характером сприйняття навантажень нервюри поділяють на два типи: нормальні та посилені (силові).

Нормальні нервюри зберігають задану форму профілю крила, знімають з панелі аеродинамічне навантаження і передають його на стінки лонжеронів і обшивку, слугують опорами для стрингерів і підкріплюють обшивку, підвищуючи їхні критичні напруження втрати стійкості в стиснутій зоні.

Конструктивно нормальні нервюри можуть бути балковими, ферменими та рамними. У балкових і рамних нервюрах згинальний момент сприймається поясами спільно з плоскою обшивкою, до якої кріпиться пояс.

Типові нормальні нервюри виконують балкові конструкції у вигляді суцільних стін із листового матеріалу. Згинальний момент, як правило, незначний, і полиці такої нервюри зазвичай виконуються відбортовкою стінок шляхом холодного штампування з листового алюмінієвого сплаву. Стінки нервюри за умовами міцності виявляються дуже тонкими, але за конструктивними міркуваннями вона має бути товщиною не менше ніж 0,6 мм - для полегшення зайвий матеріал прибирають виштамповками отворів у стінках. Для підвищення жорсткості краї отворів відбортовують. Спеціальні стояки або зиговка підвищують критичні напруження стінки при зміщенні.

З умов технологічності та полегшення складання в крилі з працюючою обшивкою нервюри зазвичай виконують із декількох частин (для дволонжеронного крила - носок; міжлонжеронна частина, хвостик). Внаслідок невеликих навантажень, що діють на нормальну нервюру, немає необхідності пов'язувати в єдине ціле пояси всіх її частин - конструкцію зв'язку поясів і передачу моментів, що згинають, у місці приєднання до лонжерона виконує обшивка. Поперечні сили носка, міжлонжеронної частини і хвостика

передаються на стінки лонжеронів крила через заклепки, приєднані до них стінки нервюр.

Посилені нервюри служать для сприйняття зосереджених сил і моментів від агрегатів, що кріпляться до крила (стійок шасі, двигунів, вузлів навішування елеронів та інших рухомих частин крила), і передавання їх на лонжерони та обшивку, а також для перерозподілу сил між панелями та стінками в місцях перелому осей поздовжнього набору, для трансформації Мк у пару сил в місцях роз'єму крила та на кордонах великих вирізів. Посилені нервюри одночасно виконують і роль нормальних нервюр.

У посилених нервюр великі площі поперечних перерізів, пояси з пресованих профілів, стінки глухі, підкріплені стійками. Стрингери на таких нервюрах перестикуються, не перерізуючи пояси нервюр. Іноді такі нервюри роблять із поковок, використовують і фермові конструкції.

Конструкція нервюри являє собою збірно-клепану конструкцію, що складається з верхнього і нижнього поясів, стінки, стійок і кніц.

Пояси і стійки виконуються зі стандартних профілів, стінка - з листового матеріалу.

1.2.1 Обґрунтування прийнятих рішень розрахунками

Розрахункову схему силової нервюри уявляють як балку пружно оперту на стінки лонжеронів і обшивку. Її навантаженнями є реакції стінок лонжеронів від вигину крила та обшивки крила і стінок лонжерона від крутки, а також зосереджена сила Р, що діє від закрилка, один із вузлів навішування якого кріпиться до внутрішнього кронштейна цієї нервюри. У загальному разі завдання визначення цих зусиль статично невизначене.

З метою полегшення розрахунків форму нервюри спрощуємо і наближено замінюємо трапецією, одна зі сторін якої має нахил під кутом . Реакції взаємодії

стінок лонжеронів і силових нервюр із зосередженим навантаженням знайдемо зі співвідношень:

$$Q_{10} = P - Q_{20}; \qquad Q_{20} = \frac{P}{1 + \frac{F_1 \cdot h_1^2}{F_2 \cdot h_2^2}}; \qquad (1.1)$$

де Q_{10}, Q_{20}, [кН] - реакції взаємодії стінок лонжеронів;

h_1, h_2 , [мм] - відстань між центрами мас полиць лонжеронів;

Р [кН] - рівнодіюча нервюри від зусилля, що діє на внутрішній кронштейн.

Силу Рз, що діє на закрилки, можна знайти за формулою:

$$P_з = c_R f f_o q S \qquad (1.2)$$

де c_R=5,5 - аеродинамічний коефіцієнт, узятий за НЛГС 3;

q [Н/м2] - швидкісний напір; [м2]- площа закрилка;

f =2 - коефіцієнт безпеки;

f =1,25 - додатковий коефіцієнт безпеки для особливо відповідальних деталей.

Швидкісний напір дорівнює:

$$q = \frac{\rho V^2}{2} \qquad (1.3)$$

де ρ=1.225 кг/м3 - густина повітря на землі;

V =300 км/год - швидкість польоту літака біля землі.

Підставивши значення: швидкості 81 м/с і густини біля землі, отримаємо значення швидкісного напору:

$$q = \frac{1{,}2250 \cdot (81)^2}{2} = 4018{,}6 \ (Н/м^2)$$

Сила, що діє на закрилок із формули (1.2), дорівнює:

$$P_з = 5{,}5 \cdot 2 \cdot 1{,}25 \cdot 4018{,}6 \cdot 4{,}2 = 232{,}1 \ (кН)$$

Оскільки закрилок кріпиться до лонжерона двома вузлами навішування за допомогою кронштейнів, то його розрахункова схема являє собою балку на двох опорах. Погонна сила $P_з / \ell$, що діє на закрилок, розподілена симетрично

по довжині назад, реакція на цих кронштейнах дорівнює 116,05 кН. Знаючи величину реакцій в опорах, визначимо величину поперечної сили, що діє на стінки заднього і переднього лонжеронів:

$$Q_{20} = \frac{116050}{1 + \frac{0{,}000876 \cdot 0{,}380^2}{0{,}000918 \cdot 0{,}406^2}} = 63{,}21(кН)$$

$$Q_{10} = 116{,}05 - 63{,}21 = 52{,}84\,(кН);$$

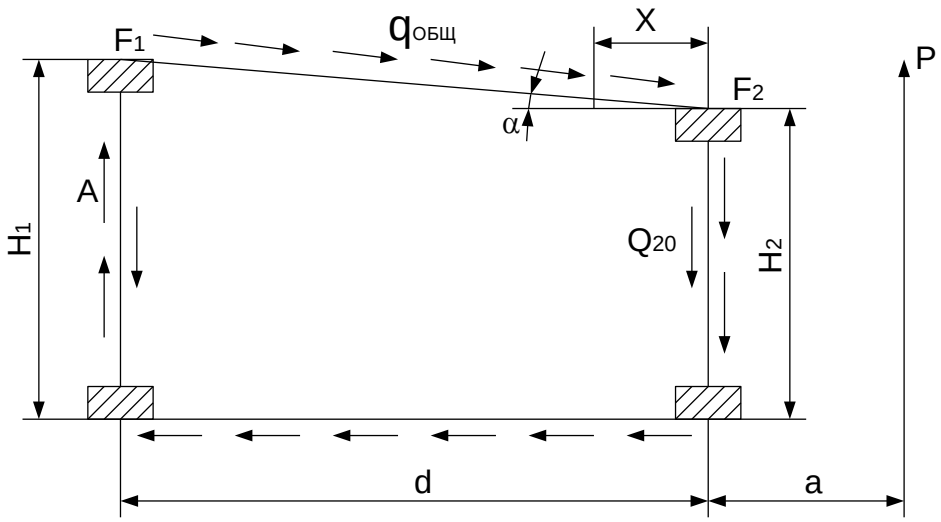

Рисунок 1.3 – Розрахункова схема

Реакцію обшивки крила визначаємо як погонне навантаження. Реакції , і виявляються також з урахуванням поняття про центр жорсткості та поперечний переріз крила. Положення центру жорсткості можна визначити за співвідношенням:

$$X_{Ц.Ж.} = \frac{F_2 \cdot h_2^2 \cdot d}{F_1 \cdot h_1^2 + F_2 \cdot h_2^2}; \qquad (1.4)$$

де d - відстань між лонжеронами;

$$X_{Ц.Ж.} = \frac{0{,}000918 \cdot 0{,}404^2 \cdot 1{,}26}{0{,}000876 \cdot 0{,}376^2 + 0{,}000918 \cdot 0{,}404^2} \approx 0{,}689\ (м)$$

Крутний момент урівноважується потоком дотичних зусиль, який визначається за залежністю:

$$q_{ОБШ} = \frac{P(a + X_{Ц.Ж.})}{(H_1 + H_2) \cdot d} \qquad (1.5)$$

де a - відстань від до другого лонжерона;

$X_{Ц.Ж.}$ - координата центру жорсткості;

Н1, Н2 - висота нервюри біля першого і другого лонжеронів;

$$q_{ОБШ} = \frac{116050 \cdot (0{,}195 + 0{,}689)}{(0{,}404 + 0{,}376) \cdot 1{,}26} = 104384\,(Н/м)$$

Подальше завдання полягає в побудові епюр згинальних моментів і поперечних сил. Під час побудови епюр використовуємо формули:

$$Q_X = P - Q_2 - q_{ОБШ} x tg\alpha \qquad (1.6)$$

$$M_X = P(a + x) - Q_2 x - q_{ОБШ} x(H_2 + x tg\alpha) \qquad (1.7)$$

Епюри представлені на рисунку 1.4.

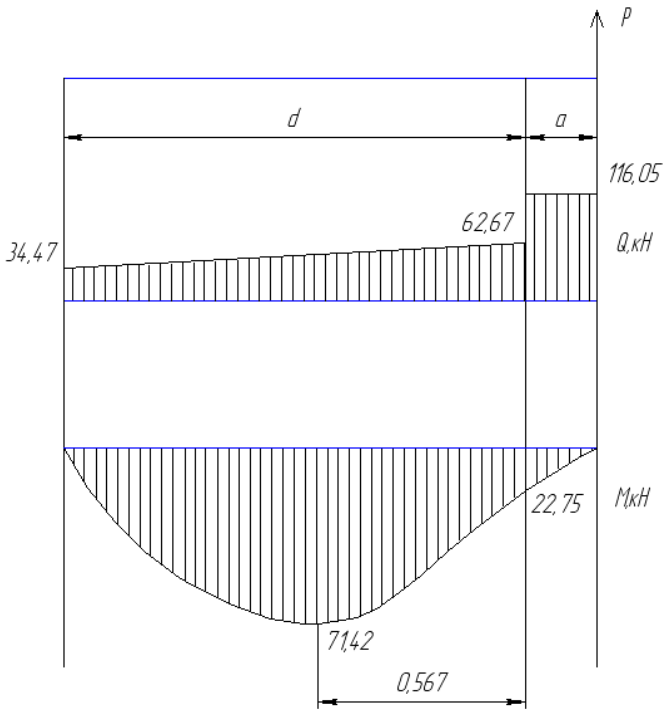

Рисунок 1.4 – Епюри

Аналізуючи епюру, робимо висновок, що максимальна поперечна сила, що діє на лонжерон і на нервюру, дорівнює 116,05 кН, а максимальний момент становить 71,42 кНм у перерізі х = 0,567 м.

1.2.2 Проектування поясів нервюри

Розрахунковим для вибору поясів нервюри є перетин із максимальним зусиллям, що діє в поясі.

З метою скорочення обсягу обчислювальної роботи конусністю нервюри в розрахунковому перерізі нехтуємо.

Площу пояса нервюри в розтягнутій зоні знайдемо за співвідношенням:

$$F_P = \frac{N}{\sigma_b} = \frac{M_X}{0{,}98 \cdot H_X \cdot \sigma_b} \qquad (1.8)$$

де H_x [*м*] – полная высота нервюры в расчетном сечении.

Расчет проведем для алюминиевого материала Д16АТ:

$$F_p = \frac{71420}{0{,}98 \cdot 0{,}455 \cdot 440 \cdot 10^6} = 3{,}6\ (см^2)$$

Площу пояса нервюри в стиснутій зоні знайдемо за залежністю:

$$F_{СЖ} = \frac{N}{\sigma_{РАЗР}} = \frac{M_X}{0{,}98 \cdot H_X \cdot \sigma_{РАЗР}}; \qquad (1.9)$$

$$F_{сж} = \frac{71420}{0{,}98 \cdot 0{,}455 \cdot 380 \cdot 10^6} = 4{,}2\ (см^2).$$

За отриманого значення підберемо найближчу велику величину площі профілю відповідної форми із сортаменту пресованих профілів. Приймаємо профіль - тавр ПК 301-49 (рисунок 1.5).

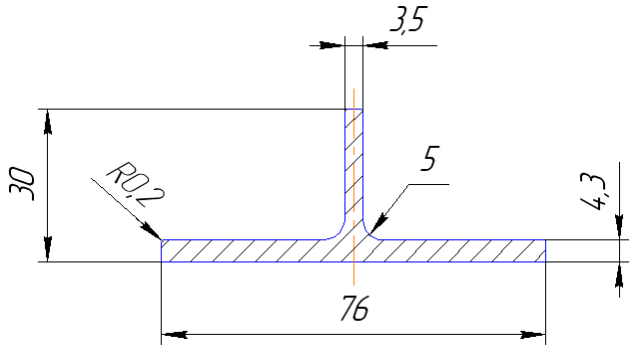

Рисунок – Профіль тавр ПК 301-49

1.2.3 Проектування стінки нервюри

Стінка нервюри сприймає потік дотичних сил. Товщину стінки, що не втрачає стійкості, визначимо за співвідношенням

$$\delta_{CT} = \frac{Q}{h \cdot \tau_{РАЗР}}; \qquad (1.10)$$

де Q - сила перерізу в розрахунковому перерізі нервюри;

h - висота стінки в розрахунковому перерізі, яку наближено можна прийняти $h = H - 2\delta$

(δ - товщина полиці нервюри);

$\tau_{РАЗР}$ - руйнуюче дотичне напруження стінки;

$$h = 0{,}455 - 2 \cdot 0{,}0035 = 0{,}448\ (м)$$

Використовуючи графік (рис. 2.14) навчального посібника з лабораторного практикуму [1] визначаємо відношення l / h:

$$l / h = 0{,}2;$$

З цього співвідношення визначимо:

де l - відстань між стійками нервюри;

$$l = 0{,}448 \cdot 0{,}2 = 0{,}09\ (м);$$

Визначимо співвідношення Q / h^2:

$$Q / h^2 = \frac{62670}{0{,}448^2} = 3{,}12 \cdot 10^5\ (Н / м^2);$$

Використовуючи той самий графік (рис.2.14, стор.33 навчального посібника [1]), знайдемо значення: 100МПа для Д16Т і підставимо у співвідношення (1.10), знайдемо товщину стінки:

$$\delta_{ст}^{Д16} = \frac{62670}{0{,}448 \cdot 100 \cdot 10^6} = 1{,}4\ (мм)$$

Отримані значення товщини стінки округляємо до стандартних товщин:

$$\delta_{ст}^{Д16} = 1{,}5\ (мм)$$

Обчислимо площу підкріплювальних стійок за допомогою значення з графіка (рис.2.15 [1]) відповідно до залежності:

$$F_{CT} = \left(\frac{Q}{h \cdot \tau_{ПРИВ}} - \delta_{CT} \right) \cdot l \; ; \quad (1.11)$$

$$F_{CT}^{Д16} = \left(\frac{62670}{0{,}451 \cdot 70 \cdot 10^6} - 0{,}00139 \right) \cdot 0{,}09 = 0{,}54 \, (см^2)$$

За сортаментом підбираємо найближчий профіль ПР102 - 3 (рис.1.4), його Fст=0,651 см2.

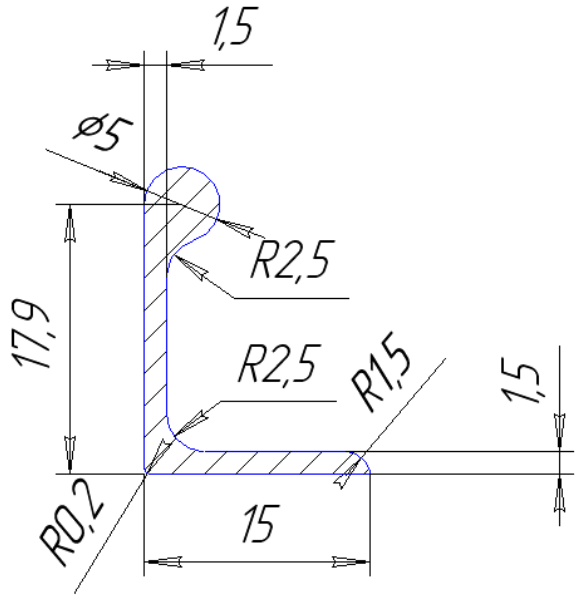

Рисунок 1.6 – Профіль ПР102 – 3

1.2.4 Технічний опис і конструктивно-технологічний аналіз нервюри: роль і місце в літаку, що входять до добірок і деталей, які використовують конструкційні матеріали, види з'єднань

Нервюра є одним з елементів крила, призначена для збереження заданої форми профілю крила, зняття з панелі аеродинамічного навантаження і передавання його на стінки лонжеронів і обшивку. Підкріплюючи обшивку і

стрингери, нервюри підвищують їхні критичні напруження втрати стійкості в стиснутій зоні.

Конструкція розроблюваної нервюри має збірно-клепану конструкцію, складається з верхнього і нижнього поясів, стінки, стійок, кніц. Пояси і стійки виконуються зі стандартних профілів, стінка - з листового матеріалу.

Правильний вибір матеріалу елементів конструкції може істотно поліпшити вагові та льотно-тактичні характеристики літака, а також знизити матеріальні витрати на його виробництво та експлуатацію. Під час вибору матеріалу враховуються його механічні властивості (межа міцності, плинності, опору втоми, модуль пружності, зносостійкість, в'язкість тощо), щільність, вартість і дефіцитність сировини, ступінь освоєння у виробництві, технологічні властивості (пластичність, зварюваність, лиття, оброблюваність різанням), які визначають можливість застосування найпродуктивніших процесів - штампування, пресування, лиття, зварювання тощо. Однак найбільшу увагу під час вибору матеріалу приділяють задоволенню вимог забезпечення необхідної міцності та жорсткості конструкції за найменшої маси, найбільшої питомої міцності та забезпечення вагової вигідності або вагової ефективності матеріалу. У даній конструкції використовуються алюмінієві сплави (Д16Т, Д16АМ), оскільки алюмінієві сплави вирізняються високим, порівнянним з легованими сталями, опором втоми і хорошими технологічними характеристиками, що дає змогу застосовувати під час обробки штампування, прокатки, кування та різання, а для деяких з них - зварювання; мають низьку густину і високу питому міцність за відносної дешевизни цих матеріалів.

Для з'єднання деталей вузла (нервюри) застосовують стандартні кріпильні вироби - заклепки. Заклепувальні з'єднання є найбільш вивченими на цей момент і їхні міцності та ресурсні характеристики цілком прийнятні для конструкції рядової нервюри. Заклепувальні з'єднання використовують під час складання вузлів і панелей, що виготовляються з алюмінієвих листів і профілів, магнієвих і титанових сплавів. Клепка як метод з'єднання для цих матеріалів

виправдовується тим, що вона забезпечує найбільшу витривалість порівняно зі зварюванням і склеюванням. Заклепувальні з'єднання виконуються у вигляді міцних швів, призначених для передавання зусиль з одного елемента на інший, і щільноміцних швів, які поряд із передаванням зусиль забезпечують герметичність шва.

Заклепки, що застосовуються в літакобудуванні, нормалізовані і мають певний шифр, що вказує марку матеріалу, форму заставної головки, діаметр і довжину стрижня. У клепаних з'єднаннях обшивки з каркасом зазвичай застосовуються заклепки з потайними головками.

Наведемо технічний опис конструкції нервюри.

Пояси нервюр виконані зі стандартних профілів таврового перерізу, які в місцях проходження стрингерів профрезеровані, а в зоні між стрингерами є компенсатори. Гнуття профілів здійснюється на верстатах із розтягуванням.

Стінку нервюри виконано зі стандартного аркуша матеріалу товщиною 1,5 мм, за допомогою штампування гумою.

Стійки виконані зі стандартного профілю ПР 102-3.

Кріплення нервюри до обшивки і стрингерів здійснюється через компенсатори. Кріплення стінки нервюри і стінки лонжерона здійснюється за допомогою стандартної стійки таврового профілю.

Поєднання цих елементів здійснюється стандартними заклепками типу 3,5-9,5-Ан.Окс - СОСТ 134040-79; 4-10-Ан.Окс.- СОСТ 134040-79; 3-6-Ан.Окс.-СОСТ 134040-79.

1.2.5 Технічні умови на виготовлення нервюри

Виготовлення агрегату (вузла) має відповідати вимогам технічних умов і кресленням за розмірами і марками матеріалів, нормами, механічною і термічною обробкою, покриттям.

Сформулюємо ТУ:

1. Деталі БК виготовляти за шаблонами з плаза.

2. Незазначені граничні відхилення розмірів, форми і розташування поверхонь за ОСТ1 00022-80.

3 Шорсткість оброблюваних поверхонь деталей БК - Rz 40.

4. Клепати за інструкцією ПІ 249-78.

5. Герметизація за інструкцією 72ПИ-25-84 "Х".

6. Покриття для деталей БК Ан.Окс.Хр./Гр.ЕП - 0215.400. ОСТ 190055-85. Лакофарбові покриття за ОПІ-348-98 "Х"

7. Металізація за ТІ 36-8-83 "Х".

8. Маркувати і таврувати за ПІ-63-90 "Х"

9. Верхній і нижній пояси еквідистантні теоретичному контуру.

10. Робоче середовище - паливо.

11. Деталі з Д16АМ розжарювати і природно старити. група контролю термообробки 5 за ОСТ 10002-78 "Х"

12 Мінімальний зазор між компенсаторами і стрингерами клепаних панелей - 1 мм, між компенсаторами і стінгерами фрезерованих панелей - 0,5 мм.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 КЛАСИФІКАЦІЯ ПОКОВОК

Штампованою поковкою називають виріб або заготовку, що отримано пластичним деформуванням за допомогою штампу при обробці металу тиском. Форма поковки – просторова фігура, визначена номінальними лінійними та кутовими розмірами.

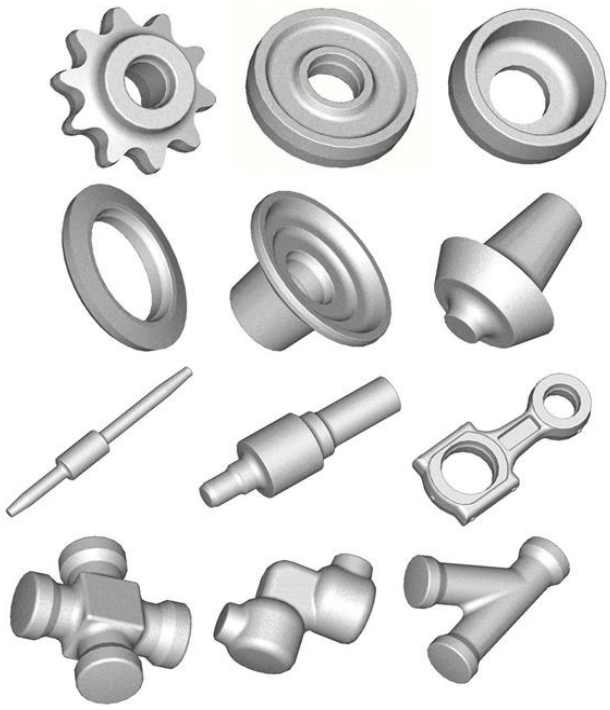

Рисунок 2.1 – Форми поковок, що виготовляються об’ємною штамповкою

2.1.1 Класифікація молотових поковок

Поковки, що отримуються штамповкою на молотах, поділяються на 2 групи.

Першу групу (рисунок 2.2) складають поковки, що штампуються перпендикулярно до осі заготовки. Зазвичай ці поковки подовженої форми, що характеризуються значною величиною відношення довжини середньої ширини в плані.

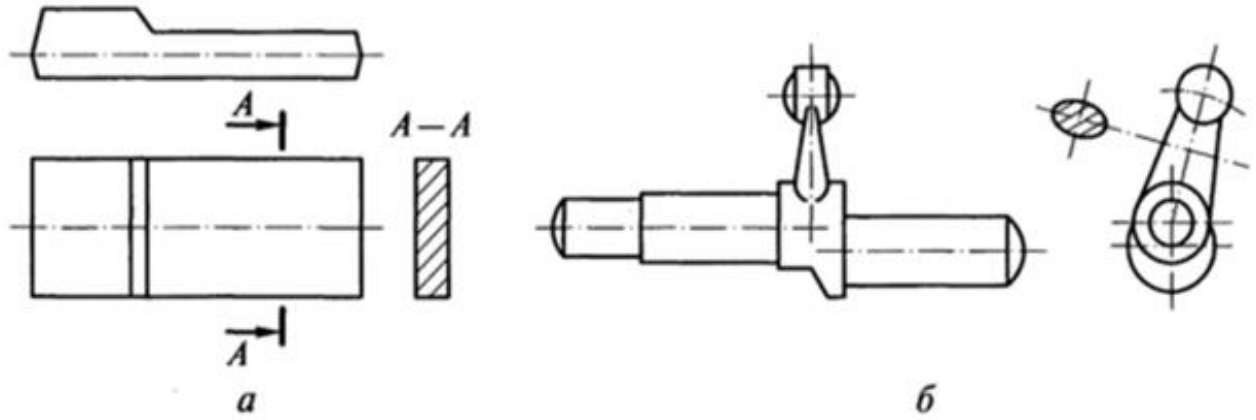

Рисунок 2.2 – Молотові поковки 1 групи

До другої групи (рисунок 2.3) входять поковки, що штампуються вздовж осі заготовки. Це поковки круглі і квадратні в плані або близькі до цих форм з двома приблизно рівними розмірами в плані у взаємно-перпендикулярних напрямках, або поковки з основними елементами у вигляді кола або квадрата, що мають відростки.

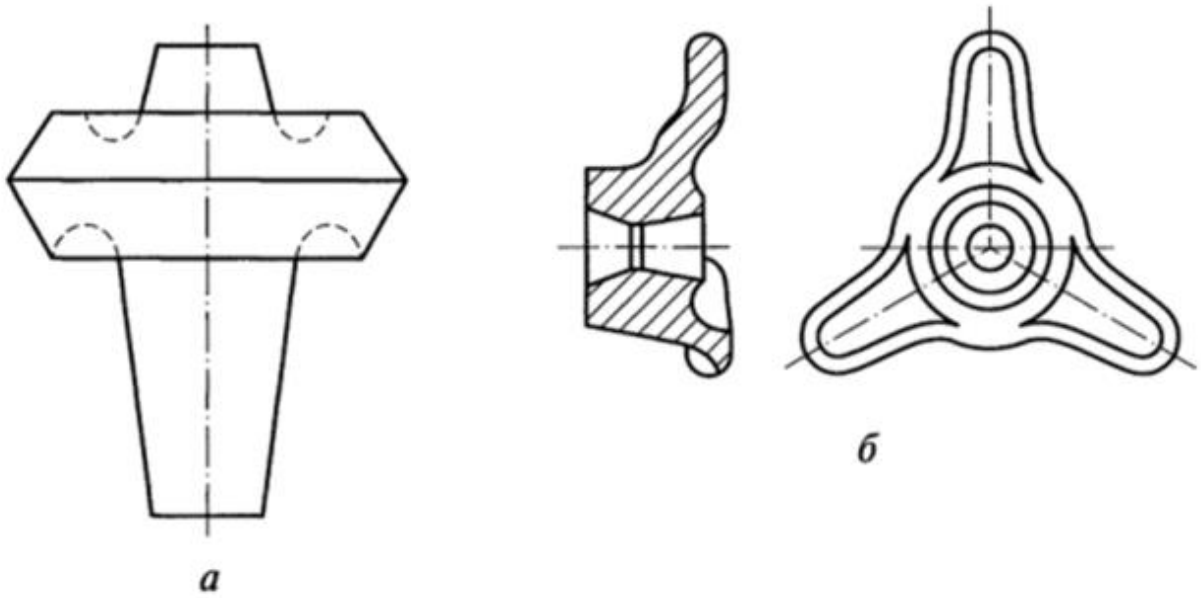

Рисунок 2.3 – Молотові поковки 2 групи

2.1.2 Класифікація поковок, що штампуються на КГШП

Поковки, що отримуються штамповкою на КГШМ, поділяються на 5 груп.

Група 1 - осесиметричні поковки, що виготовляються осадом у торець або осадом з одночасним видавлюванням;

Група II - поковки подовженої форми, що мають невелику різницю у площах поперечних перерізів;

Група III - поковки подовженої форми з великою різницею в площах поперечних перерізів;

Група IV - поковки із вигнутою віссю;

Група V - поковки, які виготовляють видавлюванням.

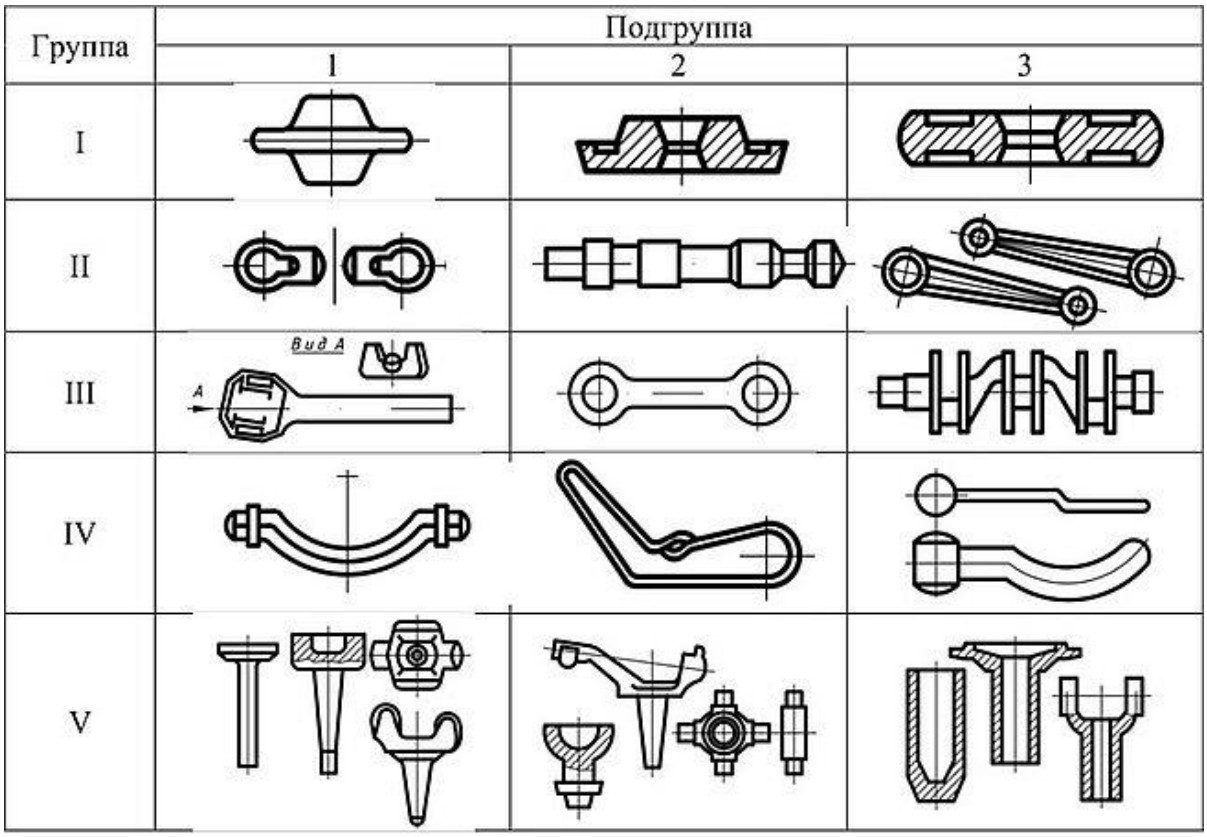

Рисунок 2.4 – Класифікація поковок, що штампуються на КГШП

2.1.3 Класифікація поковок, що штампуються на ГКМ

Поковки, що отримуються штамповкою на ГКМ, поділяються на 6 груп.

Група I: Поковка типу стрижня з потовщенням;

Група II: Поковки типу кілець та втулок;

Група III: Поковки із порожнинами (глухими отворами);

Група IV: Поковки, що штампуються із труб;

Група V: Поковки різноманітні за конфігурацією;

Група VI: Поковка різноманітної форми, для яких перед обробкою на ГКМ потрібно отримання базових поверхонь.

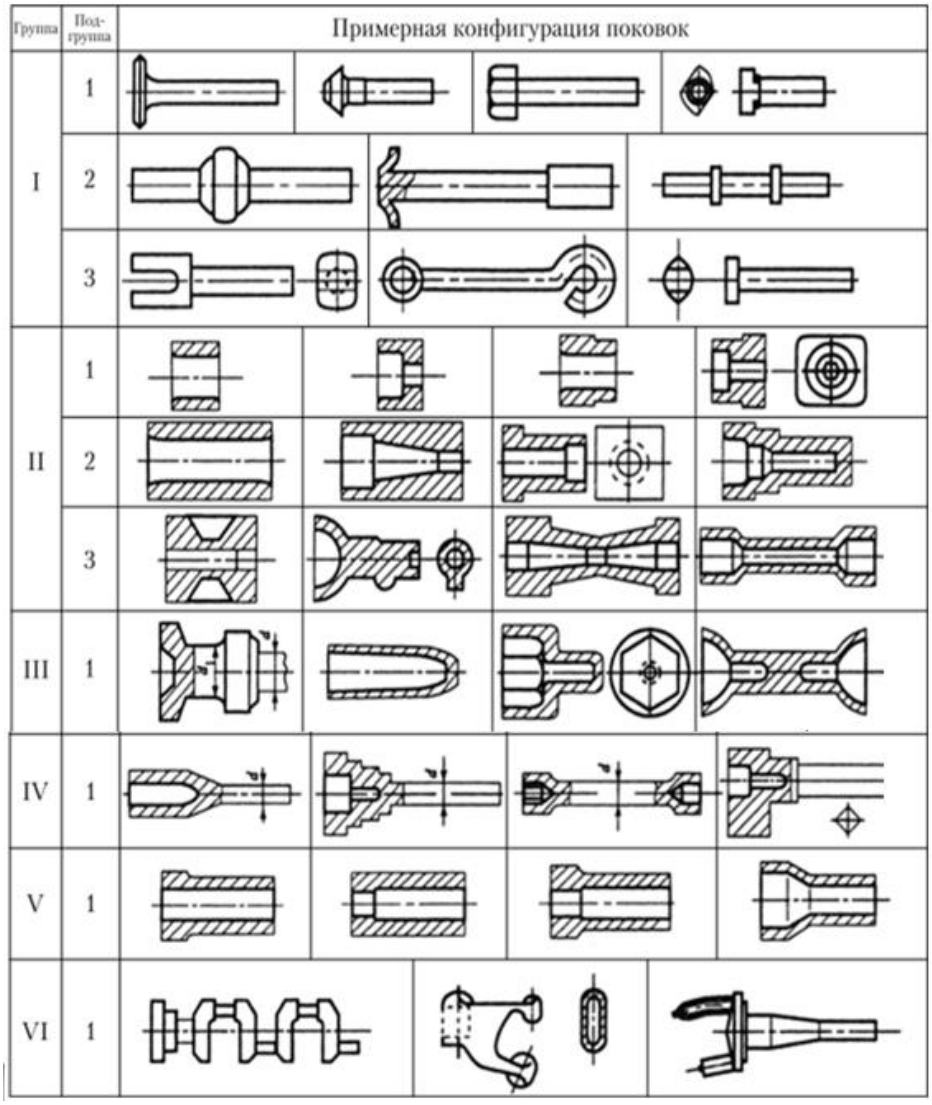

Рисунок 2.5 – Класифікація поковок, що штампуються на ГКМ

2.2 КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ОБ'ЄМНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

2.2.1 Загальні відомості про розробку технологічних процесів об'ємного деформування авіаційних деталей

Використання методів об'ємної деформації при виготовленні складних деталей авіаційної і космічної промисловості дозволяє використовувати переваги методу при отриманні деталей високої якості досягши значної формозміни із заготівок простої форми при відносно малих зусиллях формозміни при підвищенні пластичності і зниженні опору деформації в 12…30 разів.

Метод застосування поковок, структура яких поліпшена за рахунок великих пластичних деформацій (волоконна структура), а форма і розміри близькі до відповідних розмірів деталі, дозволяє одержувати значні експлуатаційні і виробничі переваги.

Основні з них наступні:

– досягаються показники міцності і надійності (витривалості) максимальні для даного металу;

– різко скорочуються відходи часто дорогих і дефіцитних металів;

– знижується трудомісткість виготовлення виробів, підвищується продуктивність праці.

Проте високі експлуатаційні і технологічні результати можна отримати тільки при строго обґрунтованому виборі способу гарячої об'ємної обробки, призначенні форми поковки і розмірів початкової заготівки для її виготовлення, визначенні оптимальних операцій і режимів технологічного процесу. На рисунку 2.6 зображені основні способи об'ємної деформації, що використовуються в авіаційній промисловості.

Рисунок 2.6 – Основні способи об'ємної деформації в авіаційній промисловості

Ці способи обробки здійснюються на різному штампувальному устаткуванні з використовуванням в основному спеціального інструменту – штампів.

По виду вихідного матеріалу і термічному режиму штампування підрозділяють на об'ємну (гарячу і холодну), здійснювану переважно з металу, і листову (гарячу і холодну), здійснювану з листового прокату. Точність розмірів штампованих поковок і шорсткість їх поверхні можуть бути такими, що подальшій обробці на металорізальних верстатах піддають лише частину цієї поверхні або ця обробка не потрібна зовсім. Це особливо характерно для холодного об'ємного і листового штампування.

Штампування виконують головним чином в ковальсько-штампувальному виробництві на металургійних заводах, а також на різних металообробних і машинобудівних заводах.

Гаряче об'ємне штампування здійснюють в ковальських цехах, а також в ковальських відділеннях (майстернях) інструментальних, ремонтних і інших цехів. Холодне об'ємне штампування здійснюють переважно в холодно-висадочних цехах (або відділеннях). Листове штампування здійснюють переважно в пресових цехах (або відділеннях).

На деяких заводах організовані з'єднані цехи, в яких виконують і кування, і різні види штампування. Штампування застосовують при серійному і масовому виробництві.

Розміщення заготовчих цехів в безпосередній близькості від механічних і складальних цехів того або іншого заводу має свої організаційні і інші переваги. Проте в більшості випадків окремі спеціалізовані ковальські цехи або заводи, що працюють в системі кооперації машинобудівних заводів, виявляються здатними організувати значно досконаліше виробництво поковок, ніж цехи, що входять до складу того або іншого заводу.

Основні операції в ковальському виробництві підрозділяють на три групи: заготовчі, власне кувальні і штампувальні, завершальні і обробні операції.

До заготовчих операцій відносяться: підготовка злитків до кування, або штампування і оброблення їх на мірні заготівки під штампування.

До кувальних і штампувальних операцій відносяться всі операції, ведучі до істотної зміни форми оброблюваного злитка або заготівки. До їх числа входять всі операції кування і об'ємного штампування, виконувані на молотах і пресовому устаткуванні, а також вальцювання, накатка і інші операції, здійснювані на спеціалізованому устаткуванні, наприклад на кувальних вальцях.

В число завершальних операцій входить раніше всього обрізка заусеньця, що утворюється у поковок при деяких способах штампування, прошивка і пробивка отворів в штампованих поковках.

Число обробних операцій входить правка поковок різними способами і різні види калібрування штампованих поковок, що застосовуються звичайно для підвищення точності їх розмірів і отримання поверхні більш високого класу шорсткості.

До числа завершальних операцій відноситься також термічна обробка поковок, а до числа обробних - очищення їх від окалини.

Послідовність застосування всіх цих операцій виконуваних в ковальському виробництві, показана на рисунку 2.7. Менш поширені варіанти маршрутів вказані штриховими лініями, рідко вживані – не вказані.

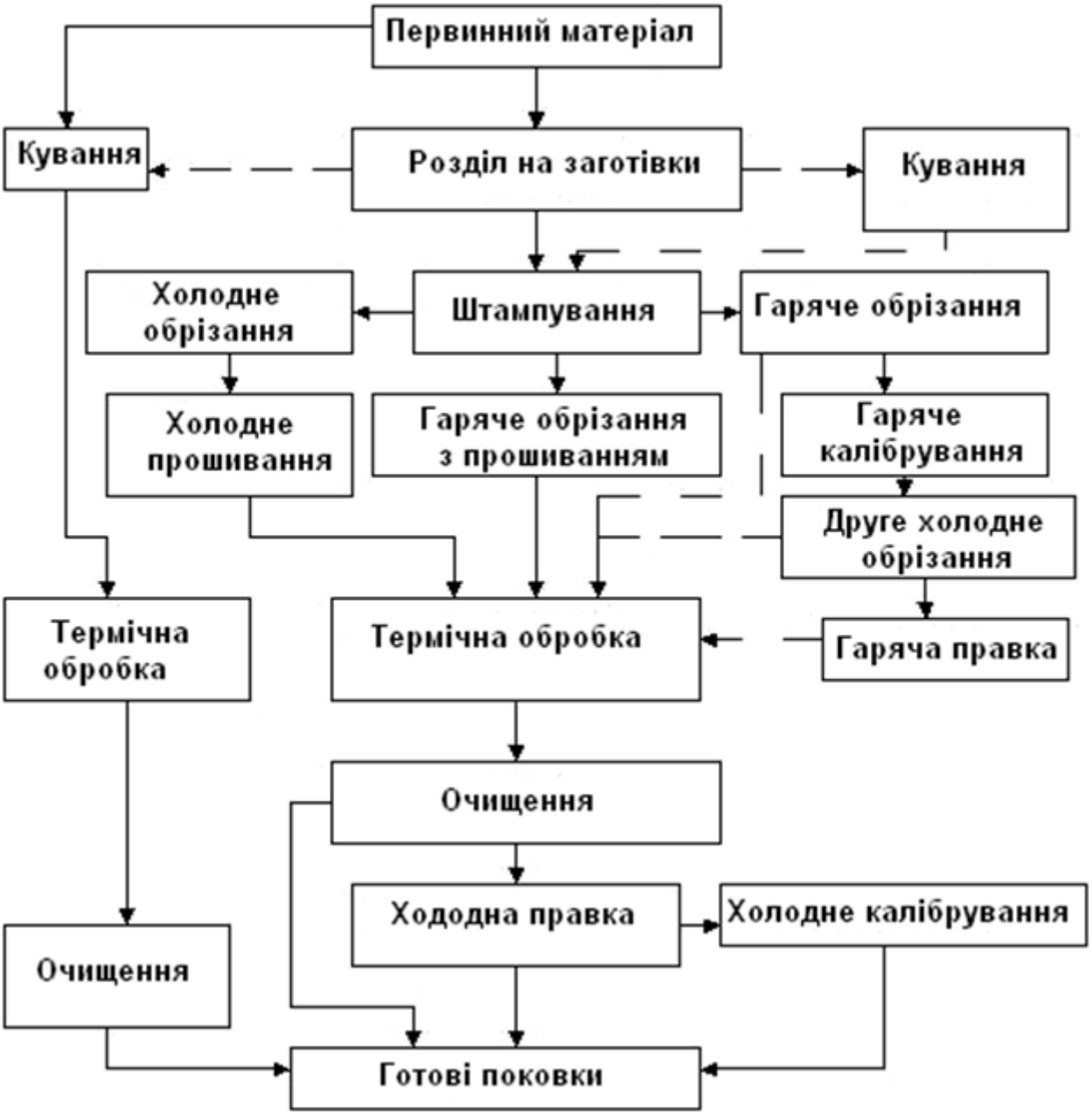

Рисунок 2.7 – Типові технологічні маршрути в ковальському виробництві

При проектуванні раціональної технології необхідно використовувати знання і досвід експертів як в області конструкторської, так і технологічної

підготовки виробництва. Ці знання повинні бути відповідним чином формалізовані для використовування сучасними засобами ПЕВМ.

Такий підхід необхідний перш за все до використовування знань про загальні принципи проектування для розробки технологічних процесів як конструкторам, так і технологам, що спеціалізуються в різних областях авіабудування.

Першим – оскільки експлуатаційні і міцнісні характеристики деталі істотно залежать від мікро- та макроструктури металу, визначуваних багато в чому способом виготовлення деталі і конкретною технологічною схемою. Другим – оскільки від технологічних процесів виготовлення поковки залежить величина і розташування припусків поковок на подальшу обробку, фізико-хімічні властивості, що визначають необхідність, вигляд і режим подальшої обробки.

Початковими даними для розробки раціональної технології є: креслення деталі з вказаними базами механічної обробки і допусками на розміри, відхилення форми, а також шорсткість поверхонь, тип виробництва (програма випуску виробу).

Окрім цього слід враховувати умови експлуатації деталі, передбачувану технологію обробки після штампувальних операцій, а також можливість зміни конструкції деталі для спрощення процесу виготовлення поковки, виготовлення двох або більш заготівок в одній поковці з подальшим їх розділенням, можливість отримання поковки комбінуванням декількох видів процесів.

Основними етапами розробки технології штампування є :

- визначення способу виготовлення поковки;

- проектування поковки (розробка креслення поковки і встановлення технічних вимог);

- розробка технологічного процесу виготовлення поковки (центральний момент визначення основного способу формоутворення поковки і складу формоутворювальних переходів);

- проектування технологічного оснащення і інструменту;

- визначення потрібних силових характеристик і моделі технологічного устаткування;

- техніко-економічне обґрунтовування вибраної технології;

- оформлення технологічної документації.

Спосіб виготовлення поковки визначається перш за все типом виробництва (програмою випуску): одиничне, дрібне, середнє або багатосерійне, а потім вже з інших показників - габаритів, бажаним ступенем точності(величини припусків на обробку) і інших можливих міркувань.

2.2.2 Гаряче об'ємне штампування

Гарячим об'ємним штампуванням називається процес гарячого деформування, за якого течія металу обмежена порожниною струмка штампа.

Течія металу відбувається внаслідок силового впливу машини-знаряддя через штамп на заготовку. За будь-якого способу гарячого об'ємного штампування інструментом є штамп. Штамп складається завжди з двох або більше частин. Поверхні, якими частини штампа стикаються одна з одною, називаються площинами роз'єму. На площинах роз'єму розташовуються порожнини, що є ніби відбитком майбутньої поковки, які називаються струмками. Нагріта до пластичного стану заготовка закладається в струмок, коли штамп розімкнений. Під час зближення частин штампа метал заготовки починає текти, заповнює струмок і набуває форми поковки. Поковки, отримані способом гарячого об'ємного штампування, мають форму готової деталі з невеликими припусками на поверхнях, що підлягають механічній обробці. Гаряче об'ємне штампування вигідне в умовах великосерійного і масового виробництва і проводиться в ковальських цехах.

Цей спосіб широко застосовується для отримання поковок найрізноманітнішої форми масою від 0,5 до 350 кг, а на спеціалізованому обладнанні можна отримати поковки масою до 1 т.

Переваги гарячого об'ємного штампування такі:

1) однорідність і точність поковок;

2) висока продуктивність;

3) можливість отримання поковок складної конфігурації.

Головним недоліком процесу є висока вартість штампа.

Способом гарячого об'ємного штампування можна отримувати поковки з усіх металів і сплавів, що мають пластичність у гарячому стані. Вихідним матеріалом для гарячого об'ємного штампування сталей слугує сортовий прокат круглого і квадратного поперечних перерізів. У деяких випадках застосовуються труби. Використовують також пресовані прутки з кольорових металів і сплавів. Прокат надходить у ковальські цехи у вигляді прутків стандартної довжини - 3; 5; 7 м. Оскільки для кожної конкретної поковки необхідні заготовки певної довжини, прутки розрізають на частини.

Гаряче об'ємне штампування підрозділяють на різні види залежно від типу штампа, типу обладнання, на якому його виробляють, від розташування заготовки в штампі та інших чинників.

Основним фактором вважається тип штампа, оскільки конструкція струмків штампів визначає характер течії металу. Залежно від типу штампа штампування підрозділяється на штампування у відкритих штампах, у закритих і в штампах для видавлювання.

Штампування у відкритих штампах відбувається з утворенням на поковці облою. Облоєм називається додатковий об'єм металу заготовки, що витісняється в завершальній фазі процесу штампування в облойну канавку, яка складається з вузького зазору – містка і розширення – магазину. Облойна канавка розташовується в площині роз'єму штампа по периметру струмка. Облой становить у середньому 10... 20 % від маси поковки і є технологічним

відходом, який видаляється після штампування. Утворення облою відбувається за такою схемою.

У середній стадії процесу штампування за законом найменшого опору метал спрямовується в кільцевий зазор, утворений містком канавки. Оскільки висота зазору дуже мала (2-5 мм), метал швидко охолоджується і утворює замкнене кільце, що перешкоджає витіканню металу в магазин. Під час подальшого руху верхньої частини штампа вниз у струмку підвищується тиск металу і він заповнює всі кути, а надлишок металу витісняється в обломкову канавку, заповнює місток і частково магазин.

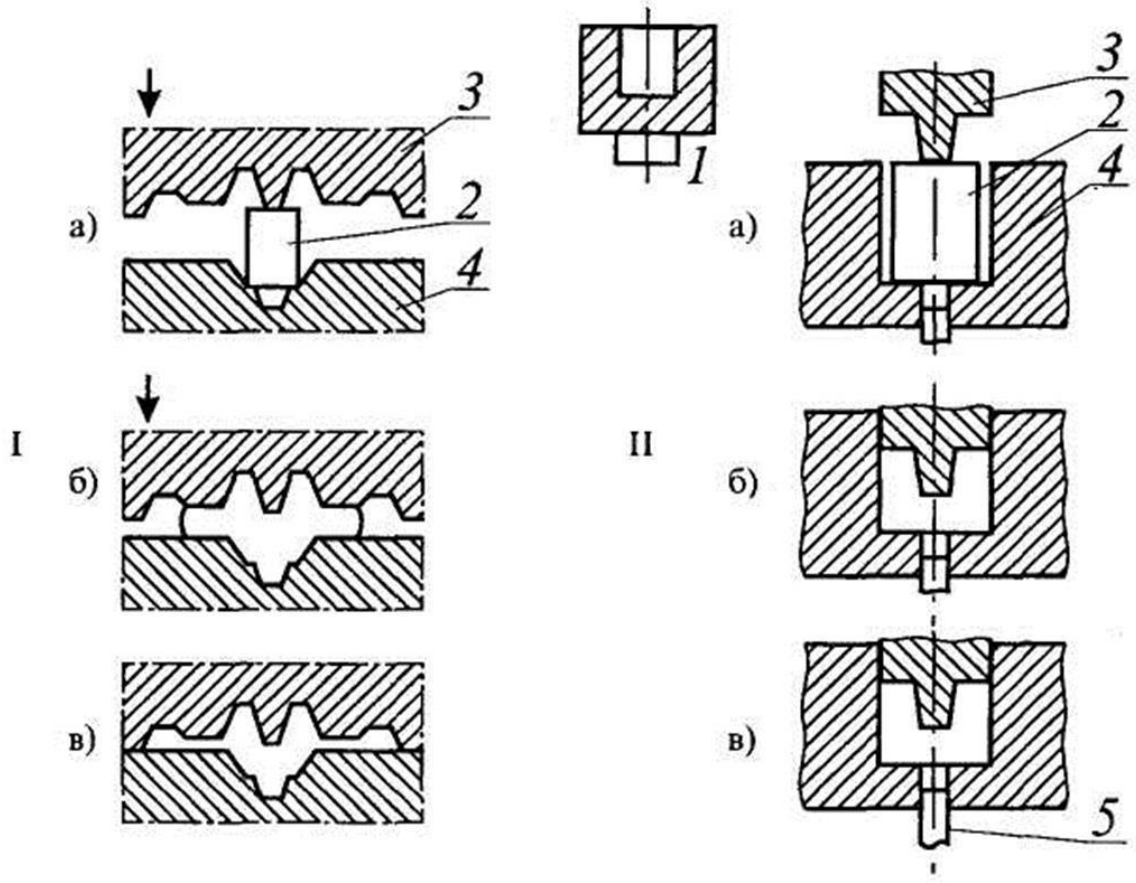

Рисунок 2.8 – Стадії штампування у відкритих (I) та закритих (II) штампах

1 – деталь; 2 – мірна заготівля; 3, 4 – верхня та нижня плита штампу; 5 – виштовхувач.

Стадії штампування: а – початкова; б – проміжна; в - кінцева

Під час штампування в закритому штампі облойна канавка відсутня, і штампування називається безоблойним. У цьому разі необхідно мати точні та постійні за розмірами заготовки, інакше за нестачі металу не заповняться кути струмка штампа, а за надлишку розмір поковки за висотою буде більшим за потрібний. Оскільки отримання точних заготовок в умовах масового виробництва пов'язане з певними труднощами, штампування в закритих штампах не знайшло широкого застосування.

Штампування на штампі для видавлювання застосовується переважно для виготовлення грибоподібних поковок. За схемою процес схожий на пресування, але відрізняється відсутністю відходу (при пресуванні є прес - залишок, при видавлюванні він є частиною деталі) і малим робочим ходом. Від штампування в закритому штампі цей процес відрізняється тим, що в штампі є один або кілька наскрізних отворів для видавлювання металу, тоді як у закритому штампі порожнини для видавлювання глухі. Неточності різання заготовки компенсуються в цьому процесі збільшенням допуску на довжину відростка в нижній її частині.

2.2.3 Гаряче об'ємне штампування на молотах

При серійному виробництві штампування на молотах посідає одне з провідних місць за номенклатурою поковок, що випускаються. Це пов'язано з універсальністю молотів і простотою їх експлуатації. Молоти належать до ковальсько-штампувального обладнання динамічної дії (рисунок 2.4). Основні їхні недоліки полягають у передачі струсів під час ударів на обладнання, що близько стоїть, на конструкції будівлі ковальського цеху і навколишніх будівель, у великому шумі і невисокій точності одержуваних поковок. Незважаючи на ці недоліки, молоти нині досить широко застосовують у промисловості, оскільки динамічний вплив на заготовку ефективний у випадках

штампування поковок складної форми, а також під час оброблення важкодеформованих і жароміцних сплавів.

Для гарячого об'ємного штампування нині застосовують пароповітряні, механічні та гідравлічні молоти. Найбільшого поширення набули пароповітряні молоти. Нижче детально розібрано процеси гарячого об'ємного штампування на молотах, КГШП, ГКМ, як найпоширеніші в загальному машинобудуванні. Від характеру роботи машини-знаряддя залежать багато чинників технологічного процесу, такі, як спосіб нагріву, конструкція інструменту (штампа), кількість переходів штампування тощо. Тому в наступних параграфах розгляд процесів починається з опису будови та роботи відповідного обладнання.

Пароповітряний штампувальний молот подвійної дії (рисунок 2.9) працює за тим самим принципом, що й кувальний, але має деякі конструктивні відмінності.

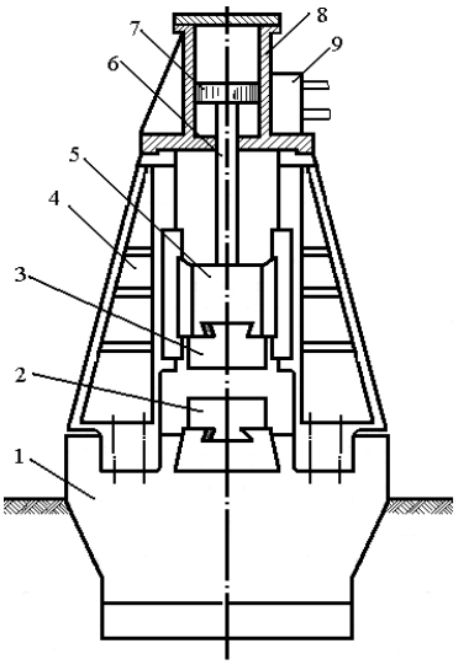

Рисунок 2.9 – Штампувальний молот

1 - шобот; 2 - нижняя часть штампа; 3 - верхняя часть штампа; 4 - баба; 5 - стойка; 6 - шток; 7 - поршень; 8 - рабочий цилиндр; 9 – золотник

Якщо під час кування отримують вироби простої форми, то під час штампування прагнуть досягти максимального наближення форми поковки до форми готового виробу, і поковки виходять досить складними - з ребрами, виступами, порожнинами тощо. Тому необхідно, щоб удар був якомога жорсткішим, тобто максимальна частка енергії удару витрачалася б тільки на деформування поковки. Це забезпечується великою жорсткістю падаючих частин і великою масою шабота. Маса шабота штампувального молота в 20 разів більша за масу його падаючих частин. Поєднання осей верхньої і нижньої частин штампа під час штампування забезпечується наявністю подовжених регульованих напрямних і кріпленням стійок молота безпосередньо на шаботі. У процесі штампування коваль сам керує молотом, натискаючи на педаль або рукоятку. Пароповітряні штампувальні молоти виготовляють за ГОСТ 7024-75 восьми типорозмірів з масою падаючих частин від 630 кг до 25 т.

2.3 ПРОЄКТУВАННЯ ПОКОВКИ ТА ШТАМПУ

Практичним завданням даного розділу є розробка креслення поковки заданої деталі з вибором технології її отримання та розробка конструкції відповідного штампу.

2.3.1 Аналіз вихідних даних

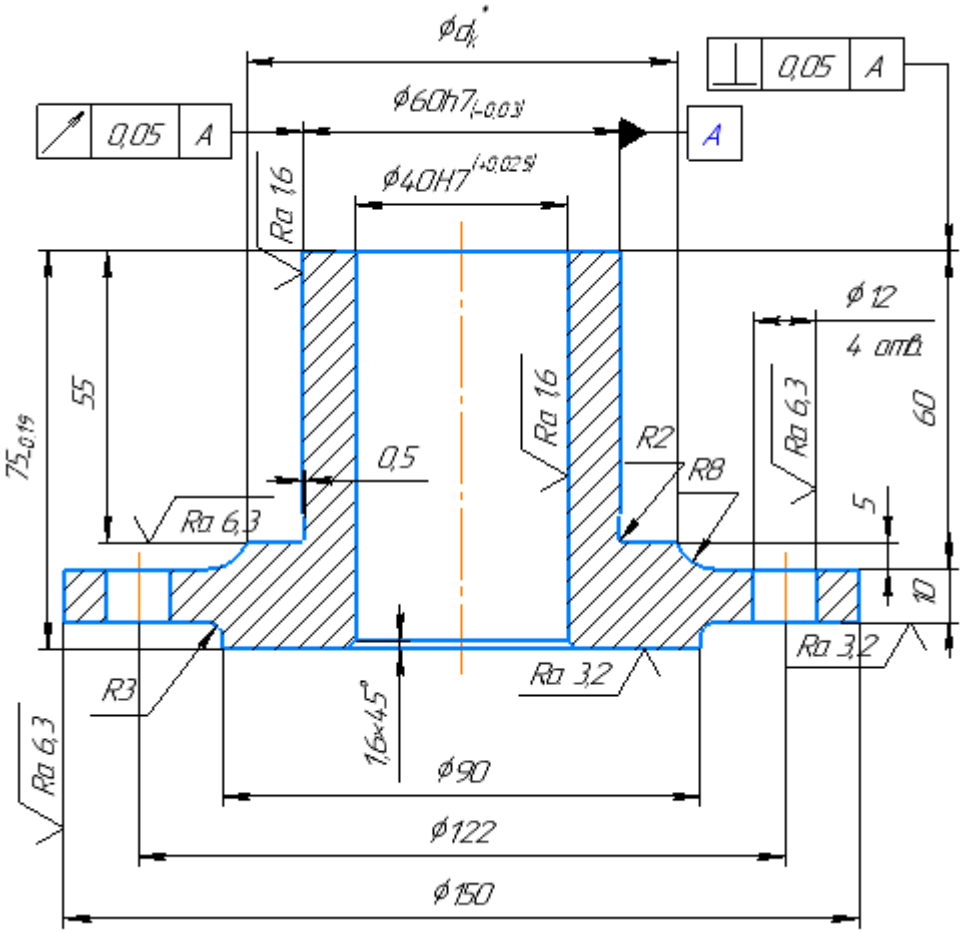

Рисунок 2.10 – Ескіз деталі «Кришка»

В якості вихідних даних використовуємо креслення деталі «Кришка» (рисунок 2.10). Дана деталь являє собою тіло обертання типу ступінчастий циліндр.

Деталь має 1 центральний наскрізний отвір Ø40 мм та 4 радіальні рівно розташовані отвори Ø 12мм.

Маса деталі складає 2,29 кг.

Матеріал деталі – Сталь 50 ГОСТ 1050-88.

Габаритні розміри деталі: 75 х 150 мм.

2.3.2 Аналіз матеріалу деталі

Сталь 50 ГОСТ 1050-88 - конструкційна вуглецева вуглецева якісна. Призначена для виготовлення зубчастих колес, прокатних валків, штоків, важко навантажених валів, осей, бандажів, мало навантажених пружин та ресор, пальців ланок гусениць, муфт зчеплення коробок передач, корпусів форсунок та інших деталей, що працюють на тертя.

Таблиця 2.1– Хімічний склад матеріалу Сталь 50 ГОСТ 1050-88

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.47 - 0.55	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.25	до 0.3	до 0.08

Таблиця 2.2 – Температура критичних точок матеріалу Сталь 50 ГОСТ 1050-88

Ac_1	$Ac_3(Ac_m)$	$Ar_3(Arc_m)$	Ar_1	Mn
725	760	750	690	300

Таблиця 2.3 – Технологічні властивості матеріалу Сталь 50 ГОСТ 1050-88

Зварюваність	важкозварювана
Флокеночутливість	малочутлива
Схильність до відпускної крихкості	не схильна

Таблиця 2.4 – Механічні властивості матеріалу Сталь 50 ГОСТ 1050-88 при Т=20°С

Сортамент	Розмір	$\sigma_В$	$\sigma_Т$	δ_5	Ψ	Термообробка
-	мм	МПа	МПа	%	%	-
Прокат, ГОСТ 1050-88	до 80	630	375	14	40	Нормалізація

2.3.3 Вибір технології отримання заготовки

Оптимальною вважається технологія отримання заготовки, яка відповідає основному технологічному завданню, а саме: забезпечення необхідної якості за мінімальної собівартості. Гаряче об'ємне штампування може виконуватися як на молотах, так і на КГШП або ГКМ. Щоб визначити можливість отримання деталі на зазнаяеному обладнанні, потрібно звіриться з відповідною класифікацією поковок, характерною для кожного обладнання. Класифікація поковок визначена в п.1 даного дипломного проєкту.

За результатами якісного аналізу форми та конфігурації заданої деталі «Кришка» встановлюємо, що заготовка даної деталі може бути отримана штамповкою на молотах або КГШП.

Для виготовлення заготовки обираємо гарячу об’ємну штамповку на молотах. Характеристика обраного методу наведена в п. 2.3 даного дипломного проєкту.

2.3.4 Розробка креслення поковки

Клас точності залежить від вибору способу виготовлення та обладнання. З урахуванням способу одержання заготовки – штамповка на молотах, обираємо клас точності Т5.

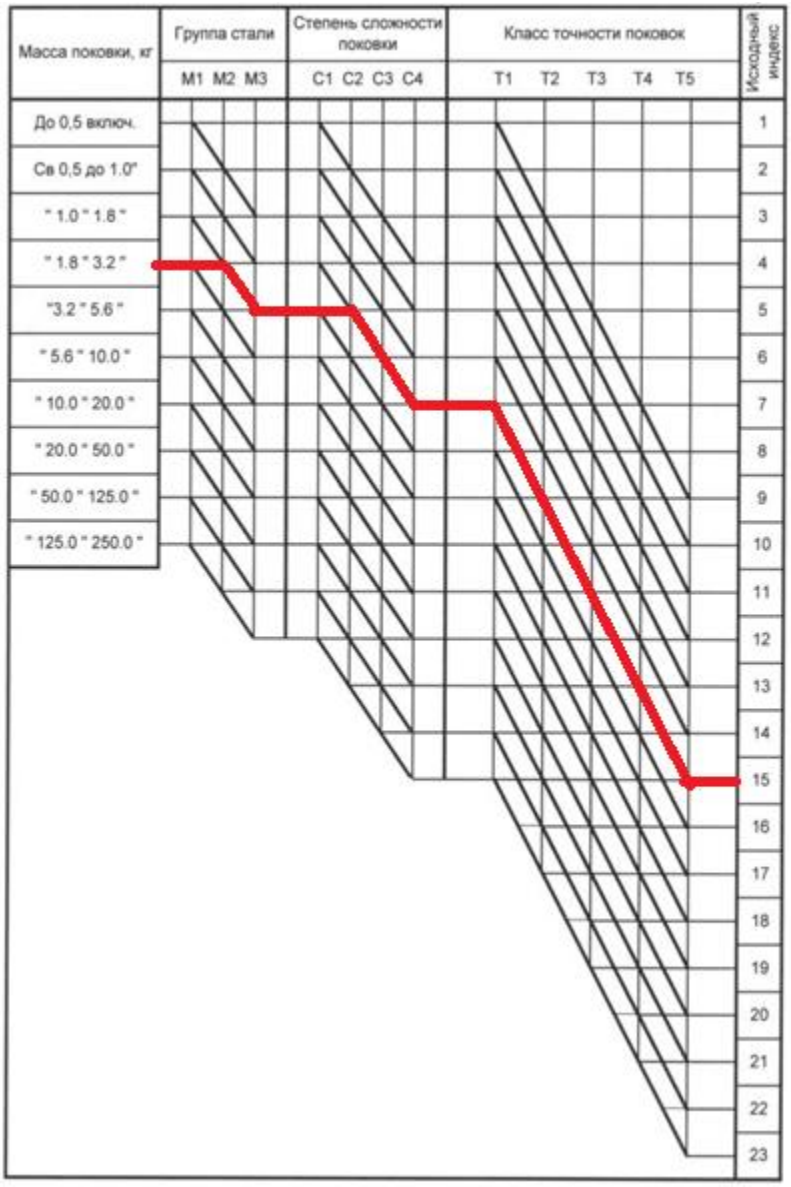

Рисунок 2.11 – Визначення вихідного індексу заготовки

Група сталі, до якої належить та чи інша марка сталі, визначається за хім. складом на основі кількісного вмісту вуглецю і легуючих елементів. Якщо за

масовою часткою вуглецю матеріал потрапляє в одну групу, а за сумарною масовою часткою легуючих елементів - в іншу, то обирають групу з більшим порядком. Обираємо групу сталі М2.

Ступінь складності визначається шляхом обчислення відношення маси поковки до маси геометричної фігури, в яку вписується форма. Для діапазону 0,32…0,63 визначаємо, що ступінь складності С2.

Вихідний індекс - умовний показник, що враховує в узагальненому вигляді суми конструктивних характеристик (клас точності, група сталі, ступінь складності, конфігурація поверхні роз'єму) і масу поковки (або відповідний параметр N за таблицею. Вихідний індекс визначають за номограмою або за формулою. Визначення вихідного індексу за номограмою зображено на рисунку. Для заготовки деталі «Кришка» вихідний індекс 15.

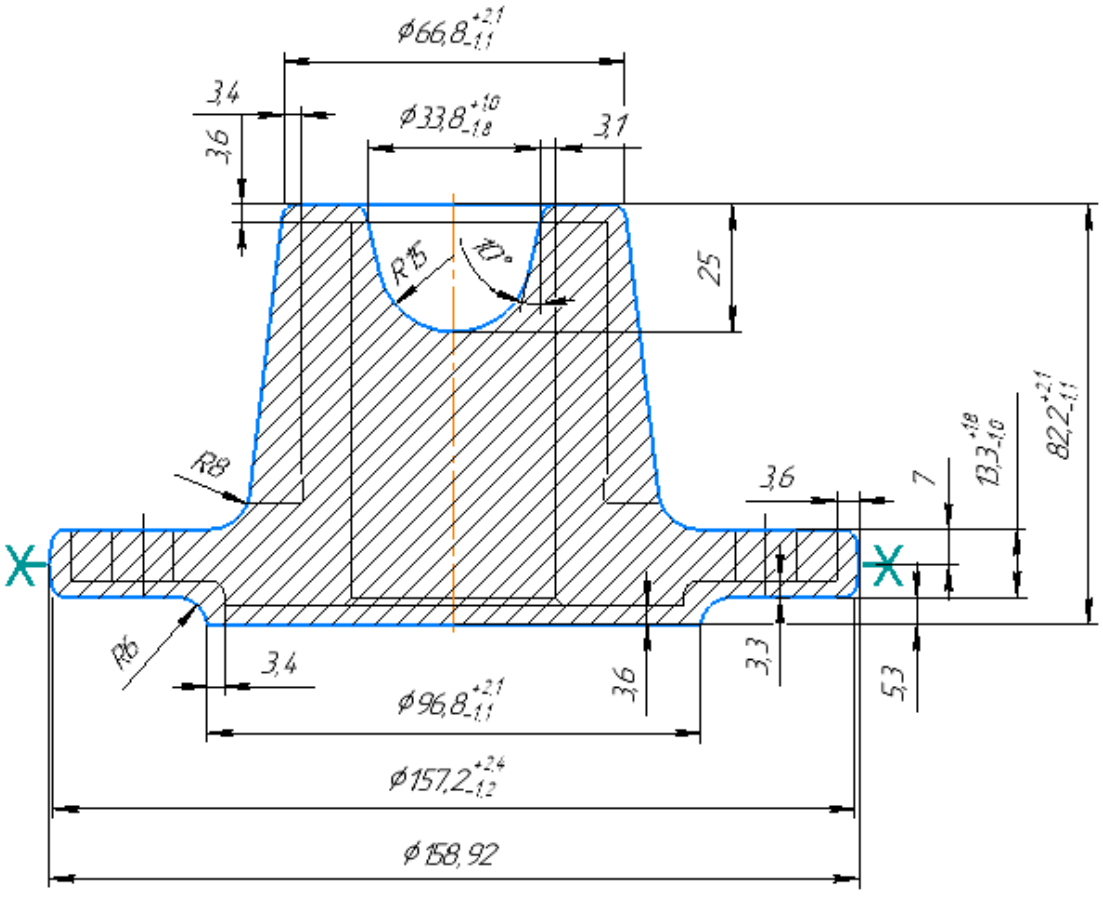

Рисунок 2.12 – Ескіз заготовки

При виборі положення роз'єму штампа необхідно виконувати деякі умови:

- поковка повинна вільно видалятися з верхньої і нижньої частин штампа, для чого роз'єм розташовують у площині перерізу поковки з найбільшим периметром, що забезпечує найменшу глибину і найбільшу ширину струмка.

- взаємне розташування поверхні роз'єму і поковки повинне виключати піднутріння на бічних поверхнях поковки;

- струмки орієнтують таким чином, щоб їх заповнення здійснювалося за рахунок осідання, а не видавлювання;

- важкозаповнювані порожнини струмка зазвичай розташовуються у верхньому штампі.

Дані рекомендації враховуємо при виборі площини роз’єму штампа.

Після цього визначаємо припуски та габаритні розміри поковки. Ескіз поковки зображено на рисунку 2.12.

2.3.5 Розробка креслення штампу

Відкриті (для штампування з облоєм) та закриті (для штампування без облою) молотові штампи (рисунок 2.13) застосовують для різних видів деформації: осідання (зменшення висоти та збільшення поперечних розмірів заготовки); видавлювання (збільшення висоти та зменшення поперечних розмірів заготовки); згинання (відсутні лінійні деформації, натомість мають місце кутові) і комбінованої деформації (здійснюють одночасно кілька видів пластичної деформації).

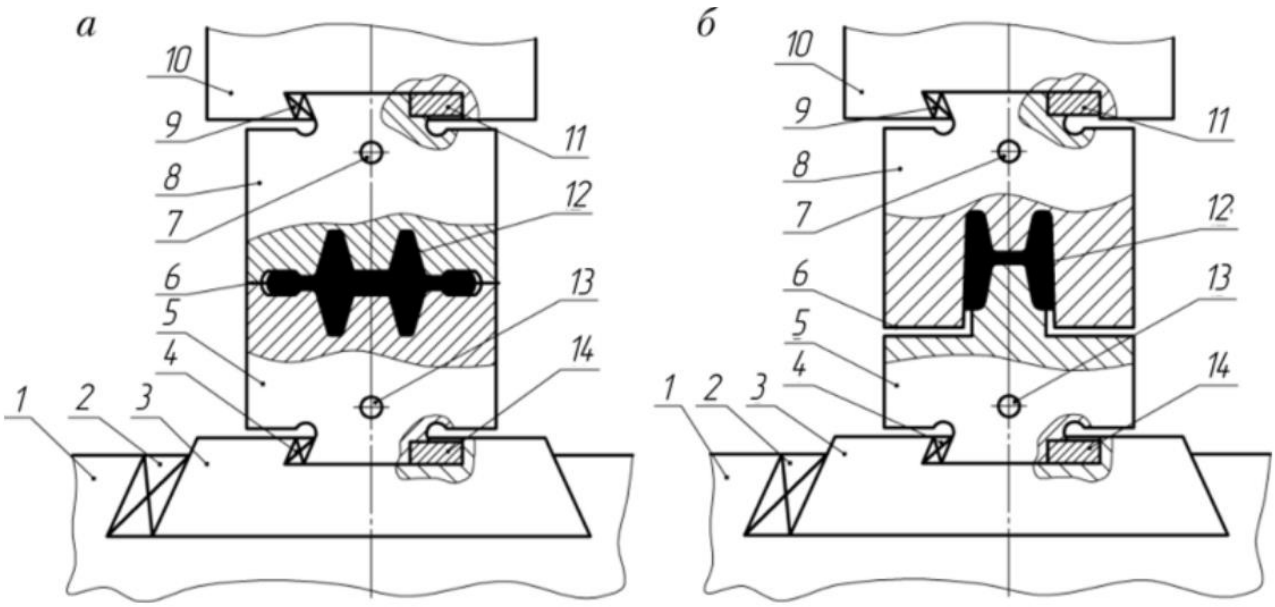

Рисунок 2.13 – Технологічні схеми штампів: а - відкритого; б – закритого

1 - шабот; 2, 4, 9 - клини; 3 - штампотримач; 5 - нижня половина штампа; 6 - площина роз'єму; 7, 13 - підіймальні (транспортні) отвори; 8 - верхня половина штампа; 10 - баба молота; 11, 14 - шпонки; 12 - заготовка, що деформується.

Молотовий відкритий штамп для однострумкового штампування (рисунок 3.4) складається з нижньої 5 і верхньої 8 половинок, які в процесі роботи зазнають динамічних навантажень. Щоб уникнути швидкого руйнування, кожна половинка робиться у вигляді монолітного кубика з хромонікелевої сталі. Для кріплення до молота обидві половинки штампа мають «ластівчині хвости», за допомогою яких їх встановлюють у пази на бабі та під штамповій подушці (штампотримач 3) молота і закріплюють шпонками 11 та 14 і клинами 4 та 9.

Шпонки служать для запобігання відносного зсуву половин штампа. Вони встановлюються у вифрезеровані поглиблення хвостовиків баби і штампотримача. Останній служить для оберігання шабота 1 від зносу і закріплюється на ньому клином 2. Розміри хвостовиків, клинів, шпонок мають відповідати ГОСТ 6039-71. Для переміщення (транспортування) на бічних гранях половин штампа висвердлені отвори 7 і 13

На рисунку 2.13 показано ескіз поковки з урахуванням збільшення розмірів до температурної усадки. Саме ці розміри будуть використані при розробці половин штампу.

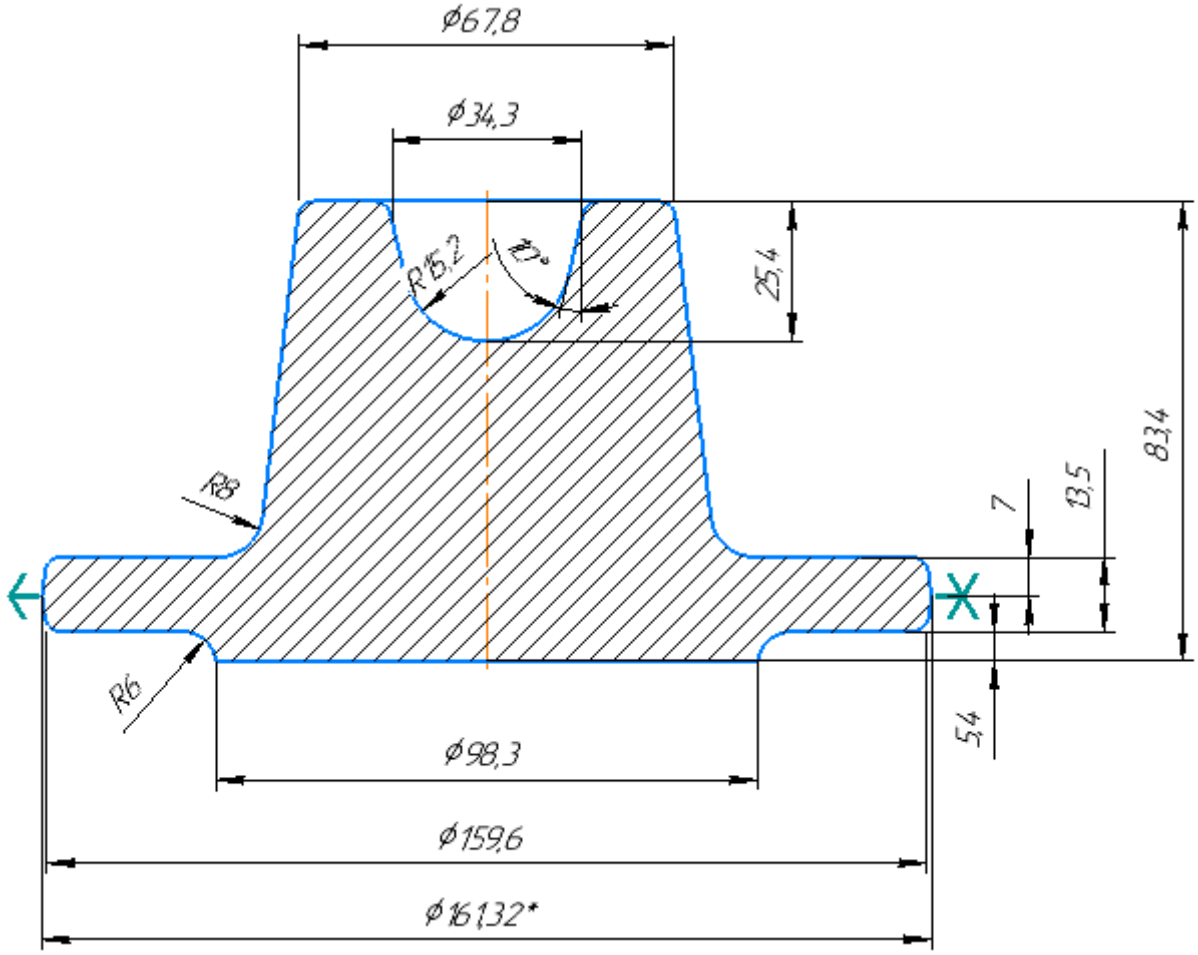

Рисунок 2.14 – Ескіз гарячої поковки

На рисунках 2.15 та 2.16 зображено ескіз верхнього та нижнього шаблонів. На рисунку 2.17 вказана геометрія облойного рівчака.

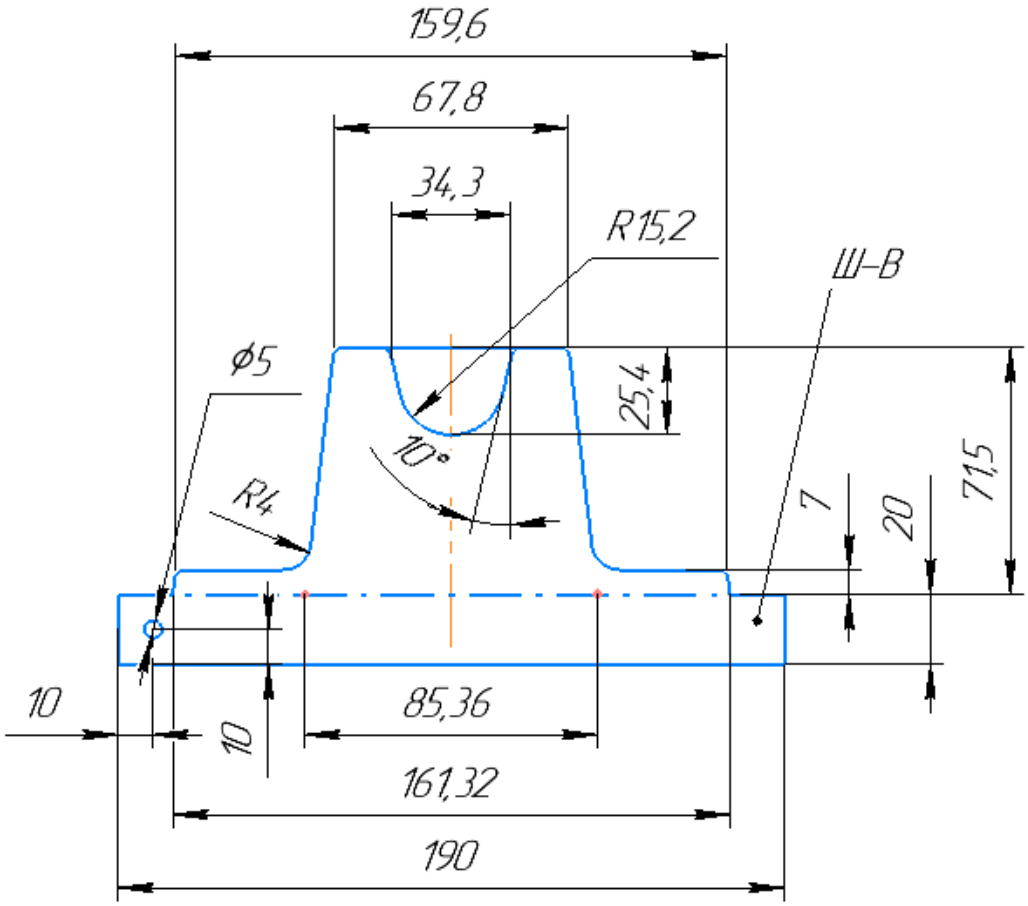

Рисунок 2.15 – Ескіз шаблона верхнього

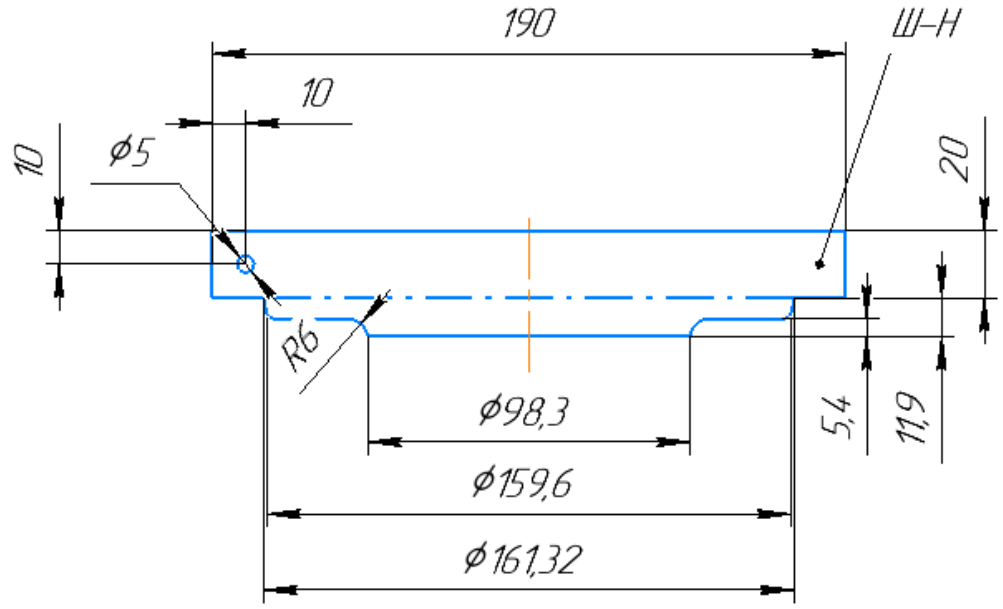

Рисунок 2.16 – Ескіз шаблона нижнього

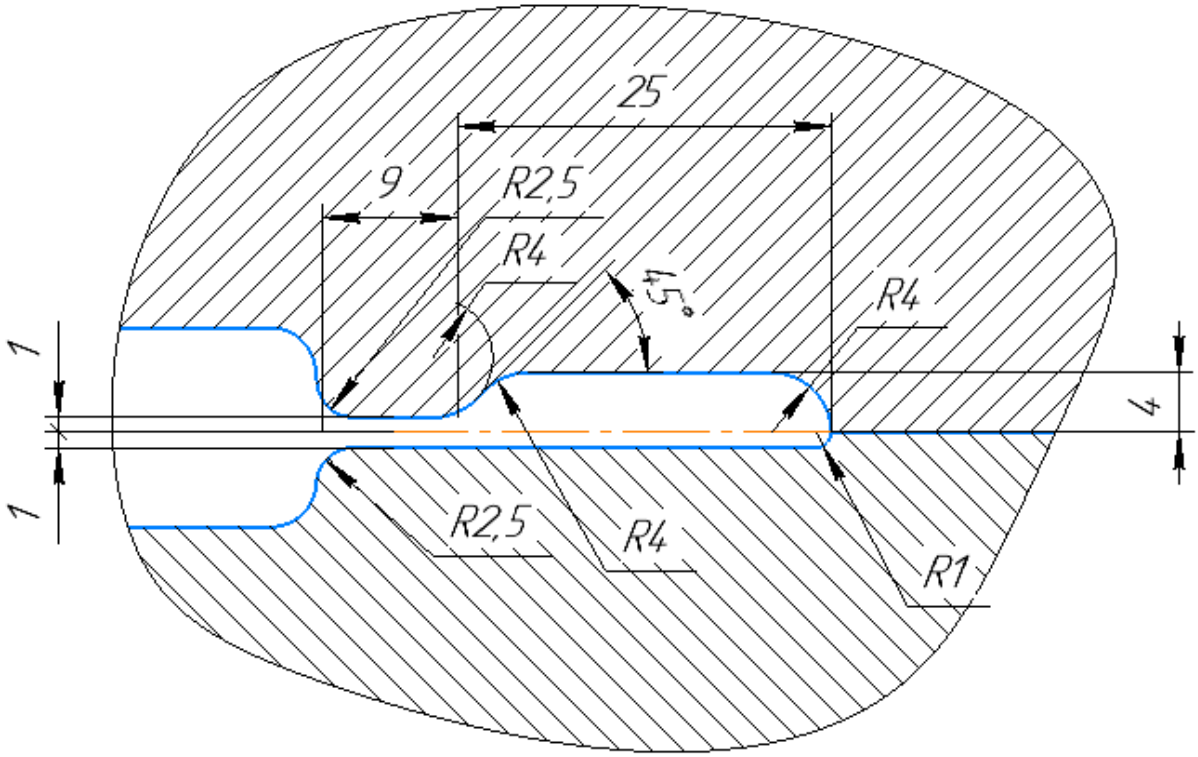

Рисунок 2.17 – Геометрія облойного рівчака

У кожній з половин штампа зроблені відповідні формі поковки поглиблення, що утворюють струмок штампа, навколо якого розташована облойна канавка. Площину, по якій стикаються половини штампа, називають поверхнею роз'єму, а лінію, що проходить по зовнішньому контуру поковки в площині роз'єму, - лінією роз'єму.

Залежно від форми поковки поверхня роз'єму може бути цілою площиною або складатися з декількох площин; в останньому випадку її проекція на вертикальну площину являє собою ламану лінію.

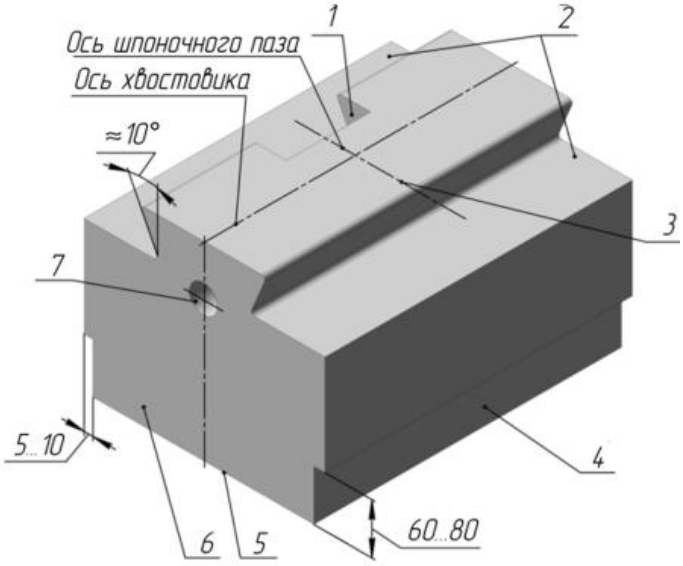

Рисунок 2.18 – Допоміжні елементи штампового кубика

1 - шпонковий паз; 2 - заплічники; 3 - хвостовик; 4, 6 - відповідно поздовжня і поперечна контрольні сторони; 5 - площина роз'єму; 7 - підйомний отвір

Крім основного призначення - формозміни заготовки - конструкція штампа повинна забезпечити його точну установку, надійне кріплення і можливість транспортування. Елементи молотового штампа, призначені для виконання таких допоміжних функцій, показані на рисунку 2.18. Точне встановлення здійснюється за контрольними гранями 4 і 6, що утворюють між собою контрольний кут. Для транспортування штампа служать підйомні транспортні отвори 7. Кріплення штампа до штампотримача молота здійснюється за допомогою шпонки і кліпа, для чого передбачається шпонковий паз і хвостовик.

Ескіз штампа для виготовлення заготовки деталі «Кришка» зображено на рисунку 2.19.

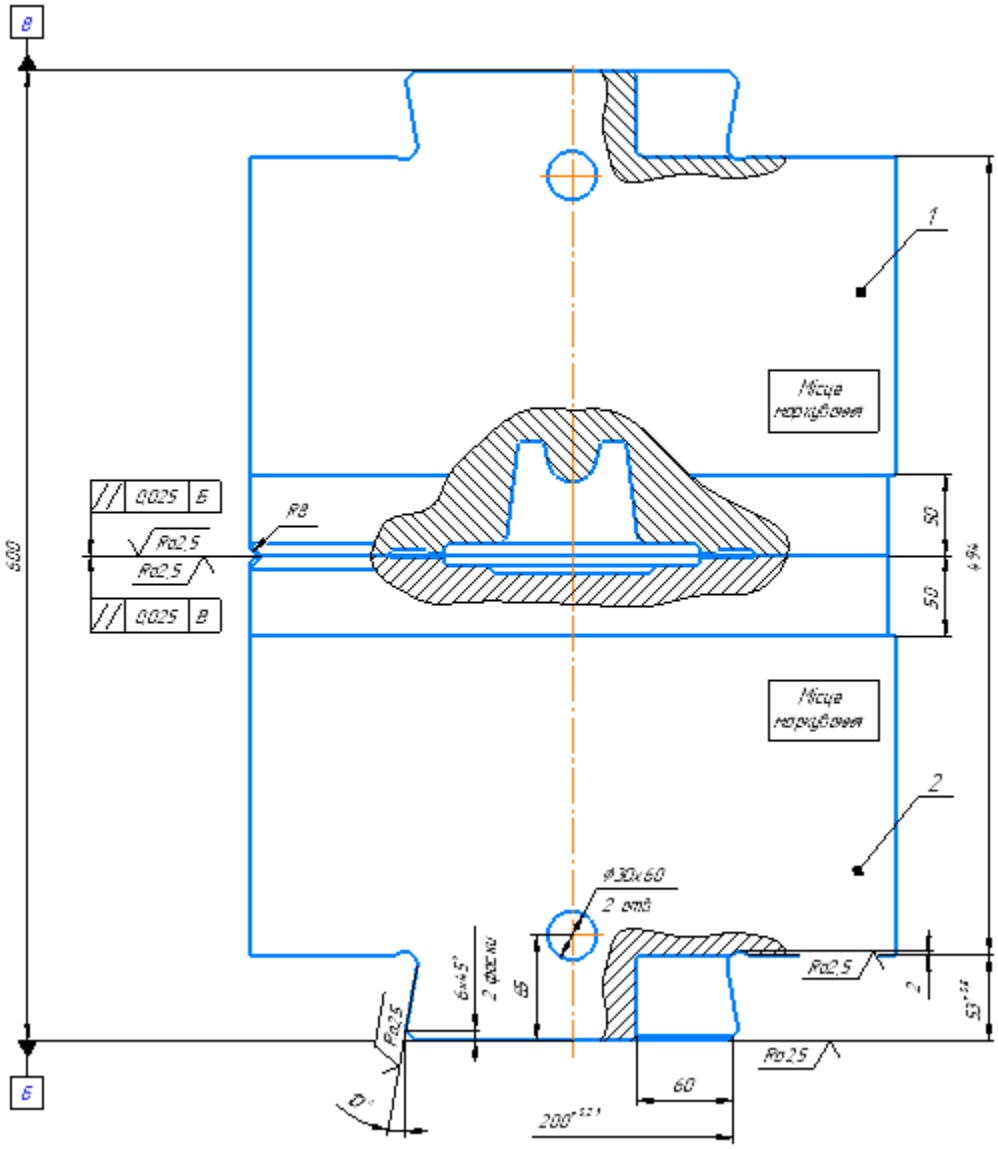

Рисунок 2.19 – Ескіз штампа

Кількість струмків штампа залежить від форми поковки. Чим складніша поковка, тим більше струмків. Зміна форми заготовки в одному струмку називається переходом штампування. Після кожного переходу форма заготовки наближається до форми поковки. Тому чим складніша форма поковки, тим більше струмків повинен мати штамп.

Струмки молотових штампів можна розділити на три основні групи: підготовчі, остаточні та відрізні.

Підготовчі струмки штампів призначені для формоутворення заготовки простої форми у фасонну, що наближається до остаточної форми виробу.

Остаточні струмки застосовуються для завершального оформлення поковки і підрозділяються на чистові та чорнові.

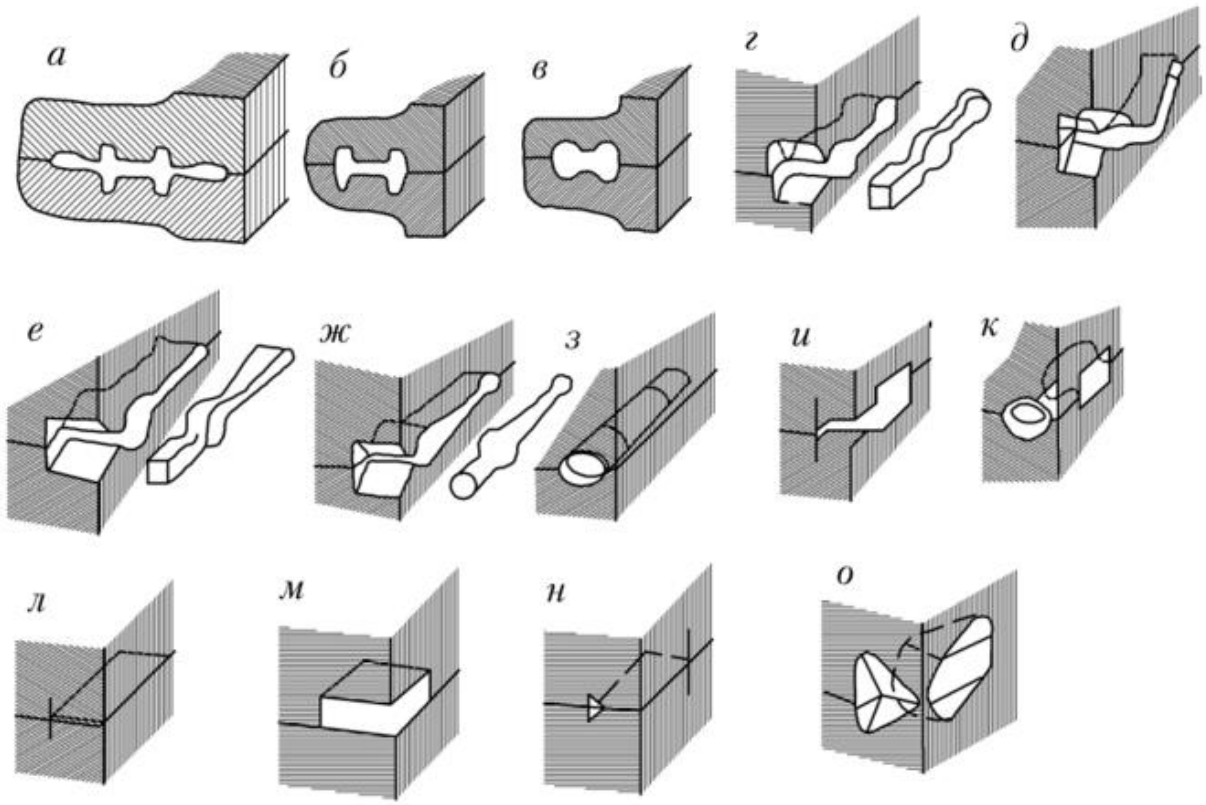

Рисунок 2.20 – Схеми струмків штампів

а - відкритий чистовий струмок; б - чорновий струмок; в - заготівельний струмок; г - формувальний струмок; д - згинальний струмок; е - перетискний струмок; ж - відкритий підкатний струмок; з - закритий підкатний струмок; и - відкритий протяжний струмок; к - закритий протяжний струмок; л - майданчик для відтягнення кінця; м - майданчик для осадження; н - майданчик для розплющування; о - відрізний ніж

Чистовий струмок призначений для отримання остаточного, чітко оформленого поковування відповідно до вимог приймального креслення і технічних умов. Виготовляється остаточний струмок за кресленням гарячої

поковки. Тому розміри порожнини струмка збільшуються на величину температурної усадки.

Чорновий струмок використовується для отримання форми поковки, близької до остаточної, і забезпечує підвищення стійкості остаточного струмка.

Заготівельний струмок служить для отримання форми поковки, близької до остаточної, забезпечуючи значне часткове поперечне зміщення металу.

Формувальний струмок застосовується здебільшого для надання заготівлі форми, що наближається до форми плану поковки. У струмку відбувається лише незначне осьове переміщення металу.

Згинальний струмок служить для вигину заготовки відповідно до форми поковки, а також незначного осьового переміщення або перетискання заготовки в окремих перерізах.

Пережимний струмок використовується для перетискання, супроводжуваного зменшенням площі поперечних перерізів вихідної заготовки в одних місцях за незначного збільшення в інших місцях. Осьове переміщення також незначне.

Відкритий підкатний струмок служить для збільшення площі поперечних перерізів вихідної заготовки в одних місцях за рахунок зменшення площі поперечних перерізів заготовки в інших місцях за незначного подовження заготовки.

Закритий підкатний струмок забезпечує більш значний набір металу порівняно з відкритим.

Відкритий протяжний струмок призначений для збільшення довжини вихідної заготовки за рахунок зменшення площі перерізу поперечних перерізів у тих місцях, де це необхідно відповідно до форми поковки.

Закритий протяжний струмок завдяки закритому профілю струмка в поперечних перерізах інтенсифікує переміщення металу в осьовому напрямку і сприяє більш значному подовженню заготовки.

Майданчик для відтяжки кінця слугує для подовження частини початкової заготовки, майданчик для осідання – для зменшення висоти і збільшення площі поперечного перерізу початкової заготовки, майданчик для розплющування – для розплющування початкової заготовки, іноді супроводжуваного місцевим перетиском металу.

В даному розділі дипломного проєкту розроблено креслення заготовки та штамп для виконання об’ємного штампування на молотах.

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ СКЛАДАННЯ ВУЗЛА ЗА УКРУПНЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Собівартість С і капітальні витрати К, необхідні для економічної оцінки, визначають у гривнях за питомими показниками на 1 кілограм маси G конструкції, що збирається; за питомою трудомісткістю Куд, (чол-година) / кг, і питомою вартістю оснащення Сос, грн./кг.

Собівартість складання розраховується за виразом:

$$C = З + О + Э + А \ , \qquad (3.1)$$

де $З$ - зарплата виробничим робітникам, гр./шт;

$О$ - витрати на оснащення, гр./шт;

$Э$ - експлуатаційні витрати, гр./шт.;

$А$ - амортизаційні відрахування, гр./шт., якщо використовується устаткування, що знову вводиться спеціально для цього об'єкта (у нашому випадку не враховується, оскільки передбачається, що нове спеціальне обладнання не вводиться).

Зарплата визначається за співвідношенням (3.2):

$$З = к_{уд.о} \times G \times a \ , \qquad (3.2)$$

де G - маса об'єкта, що збирається,

a - тарифна ставка працюючих,

$a_{СО} = 2\,грн./час$ -при складанні за СО;

$a_{пр} = 2{,}2\,грн./час$ -при складанні в пристосуванні.

Величини $K_{уд.о}$ та $K_{уд.с}$ визначаються з графіка залежності питомої трудомісткості складання різних вузлів і агрегатів від їхньої ваги [4 стор. 210]:

$K_{уд.о} = 0{,}52\ чел./час$, $K_{уд.с} = K_{уд.пр} = 0{,}45\,чел./час$

Питома трудомісткість при складанні за СО, яка в наближених розрахунках може бути прийнятою $K_{уд.СО} = k \times K_{уд.О}(чел./час)$, де $k = 0{,}7 \div 0{,}9$. Якщо прийняти $k = 0{,}8$ тоді:

$K_{уд.СО} = 0{,}8 \cdot 0{,}52 = 0{,}416 (чел./час)$,

Виходячи з цього зарплата дорівнює:

$З_{СО} = 0{,}416 \times 2.3 \times 2 = 1.886$ (*грн*).

$З_{ПР} = 0{,}45 \times 2.3 \times 2{,}3 = 2.38$ (*грн*).

Величина витрат на оснащення при складанні залежить від програми, методу складання і може бути визначена за формулою (3.3):

$$O = \frac{G \times c_{ос}}{2N} \times m_{пр} \ , \qquad (3.3)$$

де $c_{ос}$ - питома вартість оснащення в гривнях на кілограм маси об'єкта, що збирається [4, табл. 28]:

$c_{со} = 6 грн/кг$ при складанні за СО;

$c_{со} = 12 грн/кг$ при складанні в пристосуванні.

2- кількість років списання витрат на оснащення;

N - річна програма, $N = 20 изд/год.$

$m_{пр}$ - прийнята кількість однакових пристосувань для виконання заданої річної програми.

Величину $m_{пр}$ визначають за розрахунковим значенням $m_р$, заокругленим до найближчого цілого числа. Розрахункову величину $m_р$ знаходять за формулою (3.4):

$$m_р = \frac{T \cdot N}{Ф_д \cdot P}, \qquad (3.4)$$

де T - трудомісткість виготовлення об'єкта в стапелі, визначається за виразом (3.5):

$$T = K_{уд.с} \cdot G \ ; \qquad (3.5)$$

Підставляючи формулу (3.5) у (3.4) отримаємо такі співвідношення:

$$m_Р = \frac{K_{уд.СО} \cdot G \cdot N}{Ф_Д \cdot P} \qquad (3.6)$$

$$m_P = \frac{K_{уд.ПР} \cdot G \cdot N}{\Phi_Д \cdot P} \qquad (3.7)$$

де $\Phi_Д$ - дійсний річний фонд віддачі оснащення, $\Phi_Д = 2030 \div 2050$;

P - середня кількість працюючих на одному пристосуванні, =2

$$m_{Р.С.О} = \frac{0{,}41 \cdot 2.3 \cdot 20}{2060 \cdot 2} = 0{,}0045;\ m_{Р.ПР} = \frac{0{,}45 \cdot 2.3 \cdot 20}{2035 \cdot 2} = 0{,}005;$$

Приймаємо $m_{ПР} = 2$.

Далі визначимо за формулою (3.3) витрати на оснащення:

$$O_{СО} = \frac{2.3 \cdot 6}{2 \cdot 20} \cdot 2 = 0{,}69\,грн/шт;\ O_{ПР} = \frac{2.3 \cdot 12}{2 \cdot 20} \cdot 2 = 1{,}38\,грн/шт.$$

Маючи у своєму розпорядженні величину $m_{пр}$, можна розрахувати капітальні вкладення:

$$К = c_{ос} \times G \times m_{пр}. \qquad (3.8)$$

$$К_{пр} = 12 \times 2.3 \times 2 = 55.2\ (грн).$$

$$К_{СО} = 6 \times 2.3 \times 2 = 27.6\ (грн).$$

Експлуатаційні витрати включають витрати на амортизацію виробничих будівель і визначаються за виразом:

$$Э = 0{,}625\frac{V}{N}, \qquad (3.9)$$

де V - кубатура цеху (дільниці), що виробляв, м3 і визначається зі співвідношення (3.9):

$$V = h\sum \omega_i \times m_i, \qquad (3.10)$$

де ω_i - площа, м2, одного робочого місця;

h - середня висота складального цеху (зазвичай h=10-14 м).

Приймаємо h=10 м.

Підставимо співвідношення (3.10) у (3.9), отримаємо:

$$Э = \frac{h \cdot \omega \cdot m_{ПР}}{N} \cdot 0{,}625; \qquad (3.11)$$

$$Э_{СО} = 0{,}625 \cdot \frac{10 \cdot 9 \cdot 2}{20} = 6.75\ грн/шт;\ Э_{ПР} = 0{,}625 \cdot \frac{10 \cdot 6 \cdot 2}{20} = 6.75\ грн/шт/;$$

Визначимо за співвідношенням (3.1) собівартість складання:

$$C_{С.О} = 1.886 + 0{,}69 + 6.75 = 8.05\ грн/шт;$$

$$C_{ПР} = 2.38 + 1{,}38 + 6.75 = 10.51 грн/шт.$$

Провівши розрахунок витрат для двох методів складання, ми побачили, що витрати за СО найменші.

4 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 ОБЛОЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ОБЛОЙНОГО РІВЧАКА

1. Призначення і роль облою. Облой, утворений навколо порожнини струмка, чинить великий вплив на процес штампування, розміри вихідної заготовки і частково обумовлює тоннаж необхідного для штампування молота.

Роль і призначення облою при штампуванні на молотах:

а) Наприкінці штампування облой створює навколо поковки опір (слугує немов би кільцем ущільнювача), який запобігає витіканню металу між штампами на площину роз'єму і тим самим змушує метал чітко заповнювати фігуру струмка.

б) Внаслідок відхилень розмірів заготовки і розмірів струмків штампа практично важко дотриматися точного збігу об'ємів заготовки і струмка або точного збігу площі їхніх поперечних перерізів. Тому заготовка повинна мати дещо більший об'єм порівняно з об'ємом струмка. Надлишок металу, що утворюється, витісняється в облой.

За наявності такого надлишку металу коливання в об'ємах заготовки і струмка запобігають отриманню браку продукції за незаповненнями і призводять лише до коливань величини задирки.

в) Задирок значною мірою виконує роль буфера, що пом'якшує удар верхнього штампа об нижній, і тим самим оберігає їх від зім'яття і поломки.

Таким чином, основне призначення облою - створити в певний момент штампування такий опір по периметру поковки, який сприяв би виразному заповненню порожнини остаточного струмка і розміщенню неминучого при цьому надлишку металу.

Стадії штампування круглої в плані поковки (V група) ілюструють ці положення. Початкова заготовка розміщується в центрі струмка нижнього

штампа і по ній наноситься низка ударів зі зростаючою силою. Течія металу від центру до периферії, що відбувається під час цього, супроводжувана частковим видавлюванням у ті порожнини, які перекриваються збільшуваною по ширині заготівлею, триває доти, доки метал не зіткнеться із зовнішніми стінками струмка.

Зустрівши цей опір, метал змушений частково витікати в зазор між порожнинами штампів, утворюючи товстий облой. Завдяки тертю облою об поверхню штампа і опору з боку стінок струмка створюється більш різко виражений об'ємний напружений стан, і метал на цій стадії штампування затікає в порожнини фігури, які важко заповнюються, інтенсивніше, але водночас частина металу продовжує видавлюватися в облой.

У кінцевий момент штампування, тобто в процесі останніх одного-двох ударів, має відбутися виразне оформлення обрисів поковки, що вимагає підвищеного тиску. Цьому сприяє облой, оскільки саме в цій фазі, маючи найменшу товщину і найбільшу ширину, він чинить найбільший опір витіканню металу в облойний рівчак і тим самим забезпечує отримання поковки необхідних розмірів з чітко оформленою конфігурацією.

Що складніше поковки, то більше металу неминуче витече в облой і то більшим, отже, має бути об'єм облойного рівчака.

Однак об'єм облою не повинен бути довільним - його величина має бути такою, яка необхідна для отримання якісної, добре оформленого поковки. Об'єм облойного рівчака повинен відповідати можливості розміщення надлишку металу внаслідок відхилень розмірів заготовки і розмірів струмка, а також коливань режиму роботи (температура нагріву, окалиноутворення, усадка). Надлишок металу за рахунок цих відхилень не викликаний необхідністю, і його величина тим менша, чим вища культура виробництва.

За сучасних виробничих можливостей (точність вихідної заготовки, способи точного різання, досконалі методи нагріву та очищення металу від

окалини тощо) елемент об'єму облою за рахунок зазначених відхилень має бути мінімальним.

Зазвичай в умовах виробництва вдається підібрати такі розміри облойного рівчака, які забезпечують гарне заповнення остаточного струмка за мінімального відходу металу на задирок. При цьому обсяг необхідної заготовки визначають як суму обсягів поковки та облою оптимальних розмірів з урахуванням угару. У цьому разі в процесі останнього найсильнішого удару остаточне оформлення конфігурації поковки відбуватиметься завдяки об'єму, що видавлюється, $F_n\Delta h$, де F_n - площа поперечного перерізу поковки за площиною роз'єму.

У цей момент облой якраз має найбільший опір деформації, і тому витікання металу в задирок за рахунок об'єму $F_n\Delta h$ має бути за нормальних умов дуже незначним.

Слід зазначити, що об'єм металу, що видавлюється в облойний рівчак, коливатиметься залежно від стану і ступеня зносу струмків штампа.

Якщо у випадку нового штампа можна очікувати повного заповнення облойного рівчака, то в міру зносу остаточного струмка ступінь заповнення рівчака буде безперервно зменшуватися.

Якщо для штампування взято заготовку зі значно більшим об'ємом, ніж це необхідно відповідно до оптимальних розмірів задирки, то зазначена схема штампування порушиться. Завдяки великому надлишку металу порожнина струмка виявиться заповненою в той момент, коли між штампами залишиться ще значний проміжок.

У такому вигляді штампування не може вважатися закінченим, оскільки кування має при цьому підвищену висоту $h+\Delta h$, і процес необхідно продовжувати до отримання висоти хоча б у межах плюсового допуску. Цього можна досягти тільки витіканням надлишку металу в облой за максимального опору деформації, що тягне за собою необхідність застосування молота підвищеного тоннажу.

Форма облойного рівчака обумовлюється технологією штампування та обрізки облою. Для збільшення опору витікання металу в облой, а отже, для поліпшення умов заповнення остаточного струмка, а також для полегшення обрізання задирка потрібно прагнути до мінімальної його товщини $h_з$. Однак якщо зробити облойний рівчак мінімальної висоти $h_з$по всій ширині $(b + b_1)$, то він може виявитися недостатнім за об'ємом для розміщення необхідного під час штампування надлишку металу. Крім того, завдяки незначній товщині по всій ширині задирок швидко охолоне і матиме надмірно великий опір деформації, що вкрай небажано.

Якщо зробити облойний рівчак висотою $\left(\frac{h_з}{2} + h_1\right)$ по всій ширині $(b + b_1)$, це не буде гарантувати створення необхідного для штампування опору металу витіканню в ділянку задирки та утруднить обрізання товстої задирки, яка виходить унаслідок цього.

Отриманню найсприятливіших умов штампування й обрізання облою відповідає поширена форма облойного рівчака.

Для збільшення опору витіканню металу в облой і з метою полегшення обрізки облою внутрішня частина рівчака (місток) робиться порівняно невеликої висоти $h_з$.

Для отримання кращих умов розміщення необхідного надлишку металу, а також з метою запобігання охолодженню металу в місцях, найвіддаленіших від фігури струмка, де слід очікувати інтенсивного охолодження облою, частина рівчака робиться більшої висоти $\left(\frac{h_з}{2} + h_1\right)$. Цю зовнішню частину облоцного рівчака називають магазином (виплавом).

Для задоволення різноманітних умов штампування на підприємствах-виробниках застосовують також облойні рівчаки інших форм.

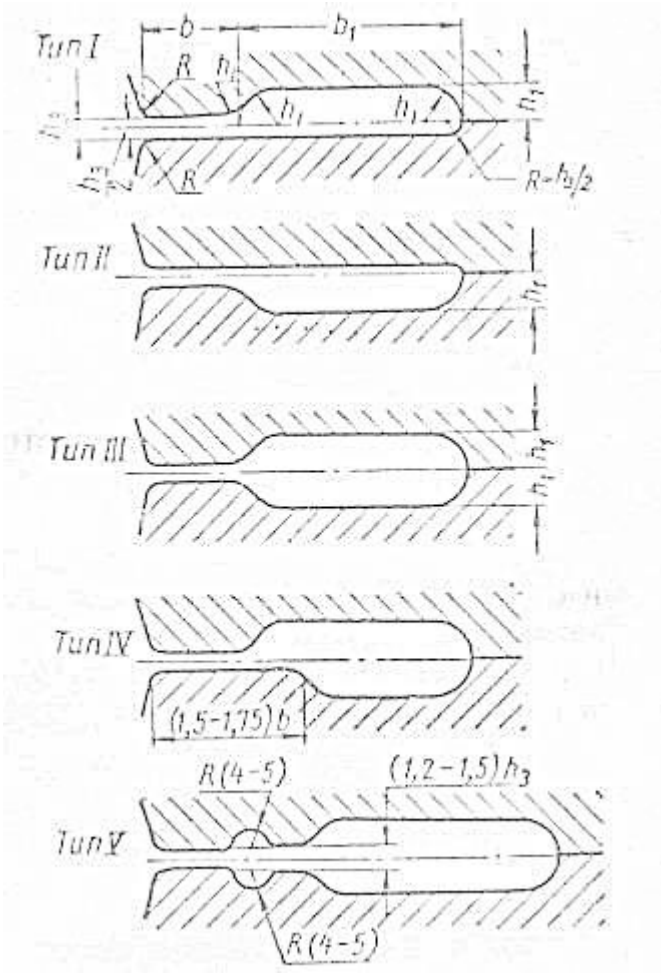

Рисунок 4.1 – Типи облойних рівчаків

Рівчак типу I є найпоширенішим та застосовується у всіх випадках, крім обумовлених нижче. Така конструкція забезпечує більшу стійкість виступу (містка), оскільки верхній штамп прогрівається менше, ніж нижній.

Рівчак типу II застосовують у тих випадках, коли обрізання проводять із поворотом поковки, тобто в положенні, зворотному положенню поковки в остаточному струмку штампа. Це необхідно тому, що краще укладання поковки на матриці плоскою стороною задирки. Рівчак типу II застосовується також у тому разі, якщо поковка цілком розміщується в нижньому штампі.

Рівчак типу III слід застосовувати в тих випадках, коли поковка не може бути відштампована з нормальним облоєм. Наприклад, для поковок круглих у плані (V група) облойний рівчак типу III застосовується, якщо за умовами виробництва не можна здійснити точне різання заготівлі й остання має великі

коливання за обсягом. Рівчак цього виду застосовується також у випадках складних поковок з метою збільшення обсягу магазину.

Для поковок з прямою подовженою віссю або поковок, що приводяться до цієї групи (групи I, II, III, IV), облойний рівчак типу III рекомендується застосовувати за таких обставин, коли заготівельні струмки не забезпечують розподілу металу відповідно до площ поперечних перерізів поковки. Тому допускається застосування рівчака типу III на окремих ділянках контуру, де заготівельні операції не забезпечують видалення надлишку металу у вихідній заготівлі; на основній же частині контуру остаточного струмка робиться рівчак типу I.

Рівчак типу IV слід застосовувати за тих самих умов, що і рівчак типу III, але за умови необхідності підвищення стійкості містка нижнього штампа і для зручності укладання поковки на поясок обрізної матриці.

Рівчак типу V слід застосовувати в тих випадках, коли необхідно різко підвищити опір течії металу в деякій частині остаточного струмка з тим, щоб забезпечити заповнення глибоких і складних порожнин штампа.

За таких обставин на деякій частині заготовки передбачається збільшений надлишок металу. Рівчак типу V роблять зазвичай тільки на окремих ділянках контуру фігури струмка.

4.2 ОГЛЯД НАУКОВИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В роботі [1] запропоновано використовувати для моделювання течії під час об'ємного штампування з облоєм параметри, які критично впливають на заповнення струмка металом заготовки. При цьому враховано такі чинники, як співвідношення об'єму і форми заготовки та робочих струмків штампа. Запропоновано визначати складність контуру поковки за допомогою питомих енергетичних параметрів, що забезпечують заповнення цього струмка, а також первісне заповнення заготівлею струмка штампа, яке критично впливає на вид течії матеріалу заготовки. Враховано інші фактори, що впливають на результат штампування, такі, як відсутність дефектів, кути нахилу містка штампа і ширина містка. Сформульовано завдання подальших досліджень.

В роботі [2] розроблено методику моделювання процесу пластичної течії матеріалу під час об'ємного штампування з облоєм. Методика заснована на проведенні повнофакторного чисельного експерименту. Враховано різні фактори, що впливають на результат штампування, а саме параметри заготовки, кути нахилу містка штампа. Показано, що повне врахування всіх параметрів, що впливають, дає змогу вибрати раціональну геометрію облойного рівчака. Несиметричне витікання матеріалу в облой вимагає несиметричної геометрії каналу містка містка облойного рівчака.

Моделювання пластичної течії для деталей з витягнутою віссю і значною різницею в поперечних перерізах типу "кронштейн" можна зводити до плоскої задачі тільки для елементів типу "стрижень" і "ребро жорсткості", де допустимо спрощувати задачу до плоскої деформації. В результаті роботи сформульовані наступні висновки:

2. Для моделювання течії в елементах типу «фланець» необхідно проводити тривимірне моделювання, де можливе врахування деформацій у поздовжньому перерізі.

3. Для визначення раціональних параметрів облойного рівчака абсолютно не достатньо враховувати поперечні розміри і периметр поковки, що випливає з довідкової літератури. Необхідно брати до уваги відносні розміри і глибини робочих струмків штампа, оскільки необхідний для повного заповнення відносно глибокої і вузької гравюри тиск має бути істотно вищим.

4. Рекомендоване в довідковій літературі врахування розмірів магазину для розглянутої проблеми не має вирішального значення. Основний вплив на величину потрібної роботи деформації чинить товщина облою в зоні затікання в канал містка, кут нахилу майданчиків містка, відносні розміри робочого русла штампа, а також вихідний об'єм заготовки.

5. Застосування каналів містка штампа, що розширюються, може значно знизити контактні напруги на поверхнях штампа. Водночас картина течії облою в каналі містка штампа значно відрізняється від симетричної, що вимагає застосування різних кутів нахилу для верхньої та нижньої половин каналу містка. У результаті моделювання визначено раціональну геометрію містка облойного рівчака.

На основі проведених віртуальних експериментів планується подальше моделювання об'ємної задачі пластичного деформування під час відкритого штампування з метою уточнення раціональних параметрів облойного рівчака.

4.3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИБІР ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Темою даного дипломного проєкту є порівняння впливу особливостей геометрії облойного рівчака на результат об'ємного штампування деталей авіаційної техніки. Для вирішення даної задачі планується використання програмного забезпечення на основі методу кінцевих елементів. Вихідними даними для вирішення задачі є:

Вибір методу отримання заготовки – гаряче штампування на молотах.

Креслення молотового штампу;

Матеріал заготовки – Сталь 50.

Результатом даної задач є порівняння результатів моделювання штампів з різними конфігураціями облойного рівчака.

Для порівняння обираємо облойні рівчаки типу I та типу V (рисунок 4.1).

Моделювання планується у 2 етапи:

1) Створення комплектів моделей заготовки та штампів.

2) Моделювання процесу об’ємного штампування.

4.4 СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКТУ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Для створення комплекту геометричних моделей використовуємо програму Siemens NX, а саме її CAD-модуль.

Siemens NX (раніше відомий як Unigraphics) - це інтегрована система проектування (CAD), моделювання (CAE) та виробництва (CAM), яка розробляється Siemens Digital Industries Software. Програма широко використовується в промисловості для створення та управління 3D-моделями, аналізу та оптимізації конструкцій, а також для підготовки виробничих процесів. Siemens NX надає розширені можливості 3D-моделювання, включаючи площинні та просторові операції, скульптурні інструменти та інші. Зміни в одній частині моделі автоматично впливають на пов'язані частини, що дозволяє підтримувати консистентність у всьому проекті. CAD-модуль Siemens NX - це частина програмного забезпечення, яка спеціалізується на комп'ютерному проектуванні.

Для початку створюємо ескіз горячої заготовки (відповідно рисунку 4.2).

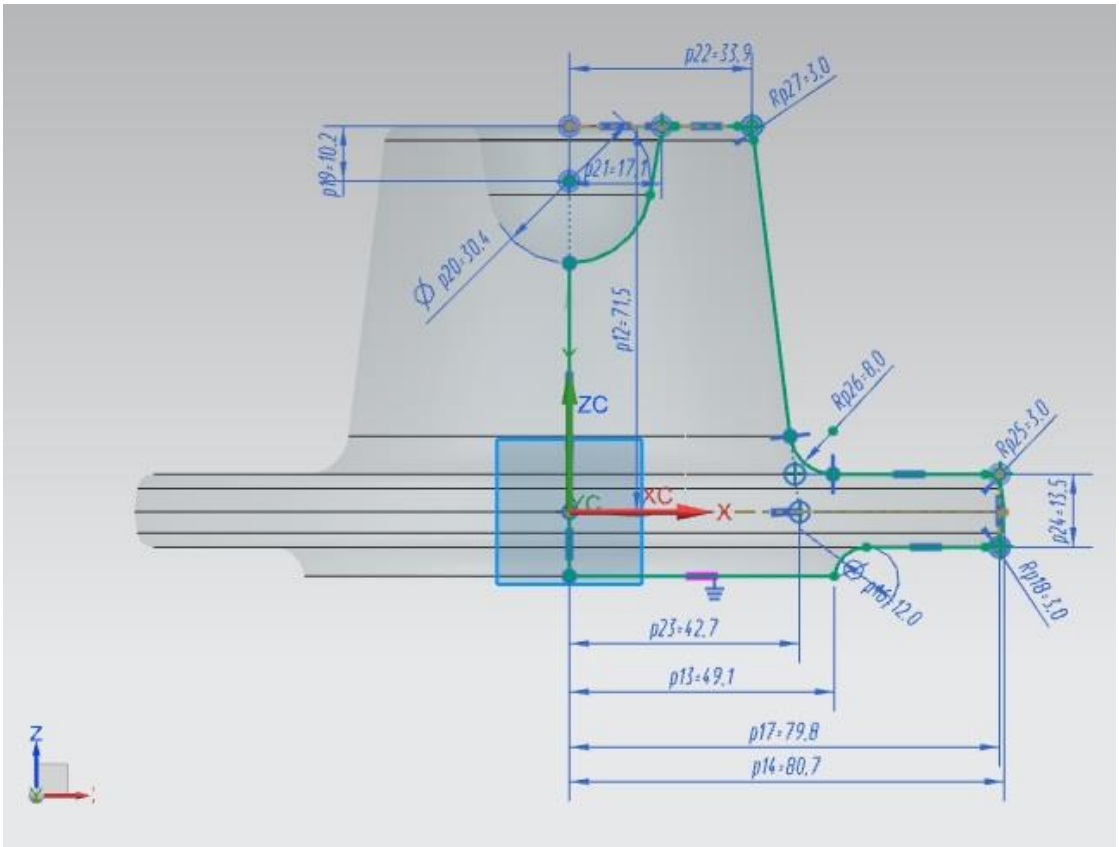

Рисунок 4.2 – Ескіз гарячої заготовки деталі «Кришка»

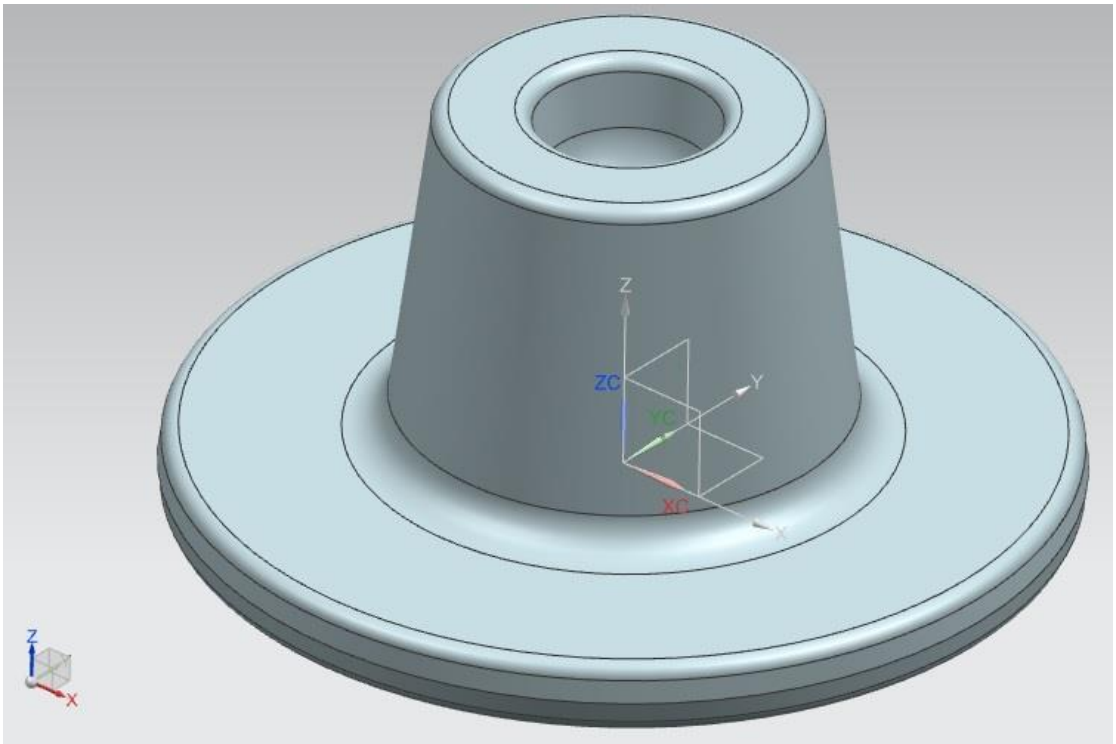

Рисунок 4.3 – 3D-модель гарячої заготовки деталі «Кришка»

Далі по створеному ескізу методом обертання навколо заданої осі створюємо твердотільну 3D-модель гарячої заготовки деталі «Кришка». Ця модель не буде використовуватись в подальшому моделюванні процесу штампування, але вона стане основою для створення 2 моделей з різними варіантами облойного рівчака. Для цього створюємо копію моделі гарячої заготовки і під іншим найменуванням редагуємо ескіз шляхом додавання геометрії облойного рівчака першого типу.

Ескіз гарячої заготовки з додаванням геометрії облойного рівчака першого типу зображено на рисунку 4.4.

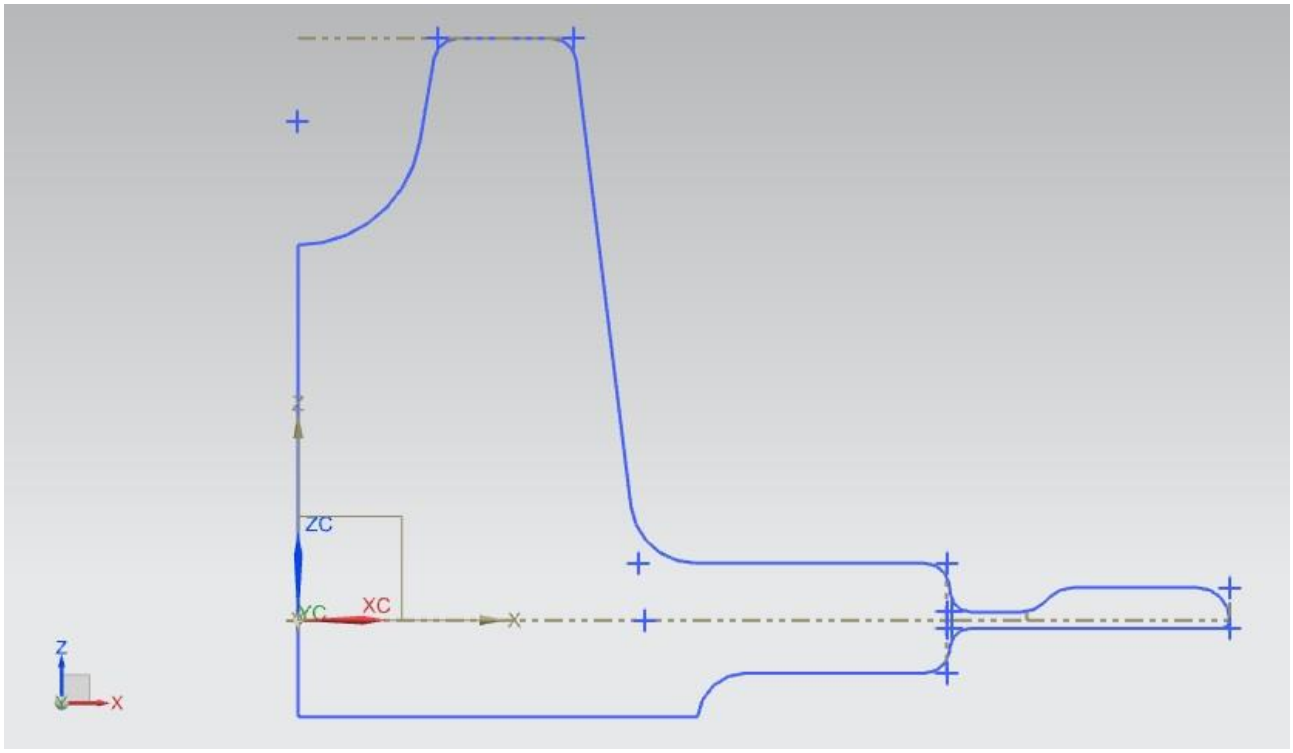

Рисунок 4.4 – Ескіз гарячої заготовки з додаванням геометрії облойного рівчака першого типу

Після побудови ескізу методом обертання навколо заданої осі створюємо твердотільну 3D-модель гарячої заготовки деталі «Кришка» з додаванням геометрії облойного рівчака першого типу.

Зображення 3D-моделі гарячої заготовки деталі «Кришка» з додаванням геометрії облойного рівчака першого типу наведене на рисунку 4.5.

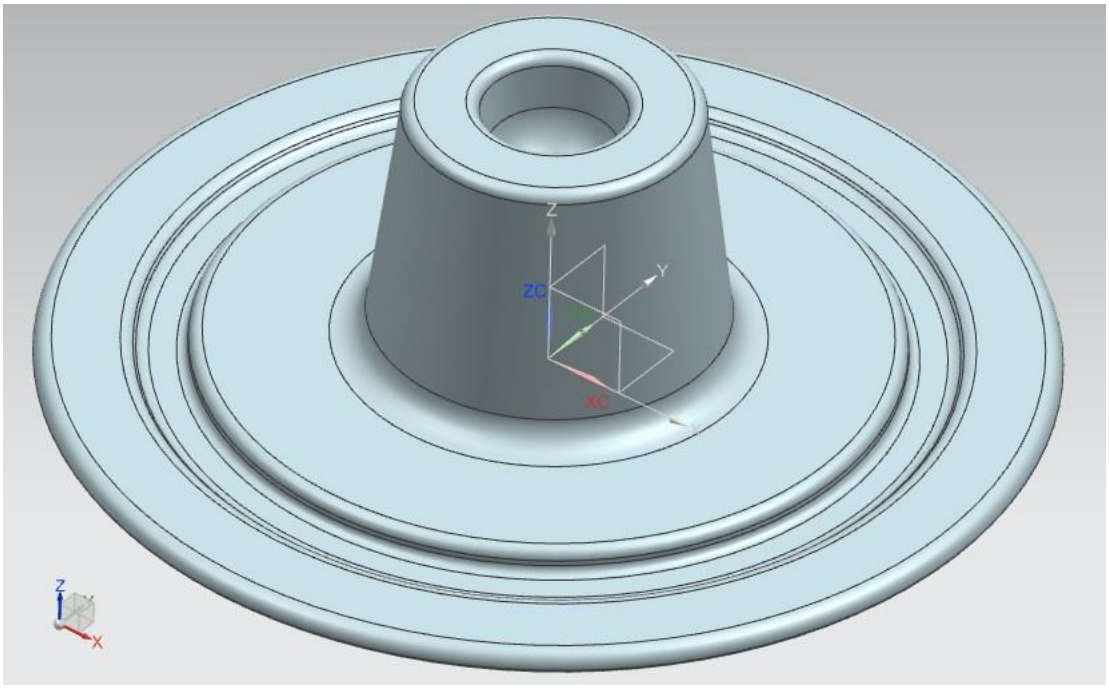

Рисунок 4.5 – 3D-модель гарячої заготовки деталі «Кришка» з додаванням геометрії облойного рівчака I типу

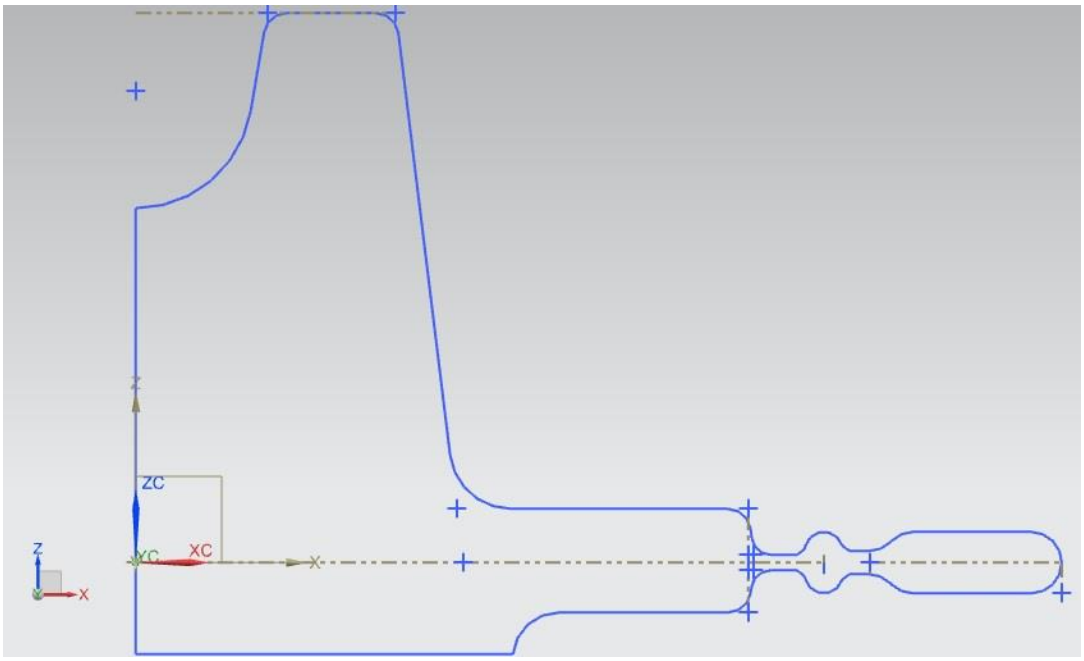

Рисунок 4.6 – Ескіз гарячої заготовки з додаванням геометрії облойного рівчака V типу

Після цього методом обертання навколо заданої осі створюємо твердотільну 3D-модель гарячої заготовки деталі «Кришка» з додаванням геометрії облойного рівчака V типу (рисунок 4.7).

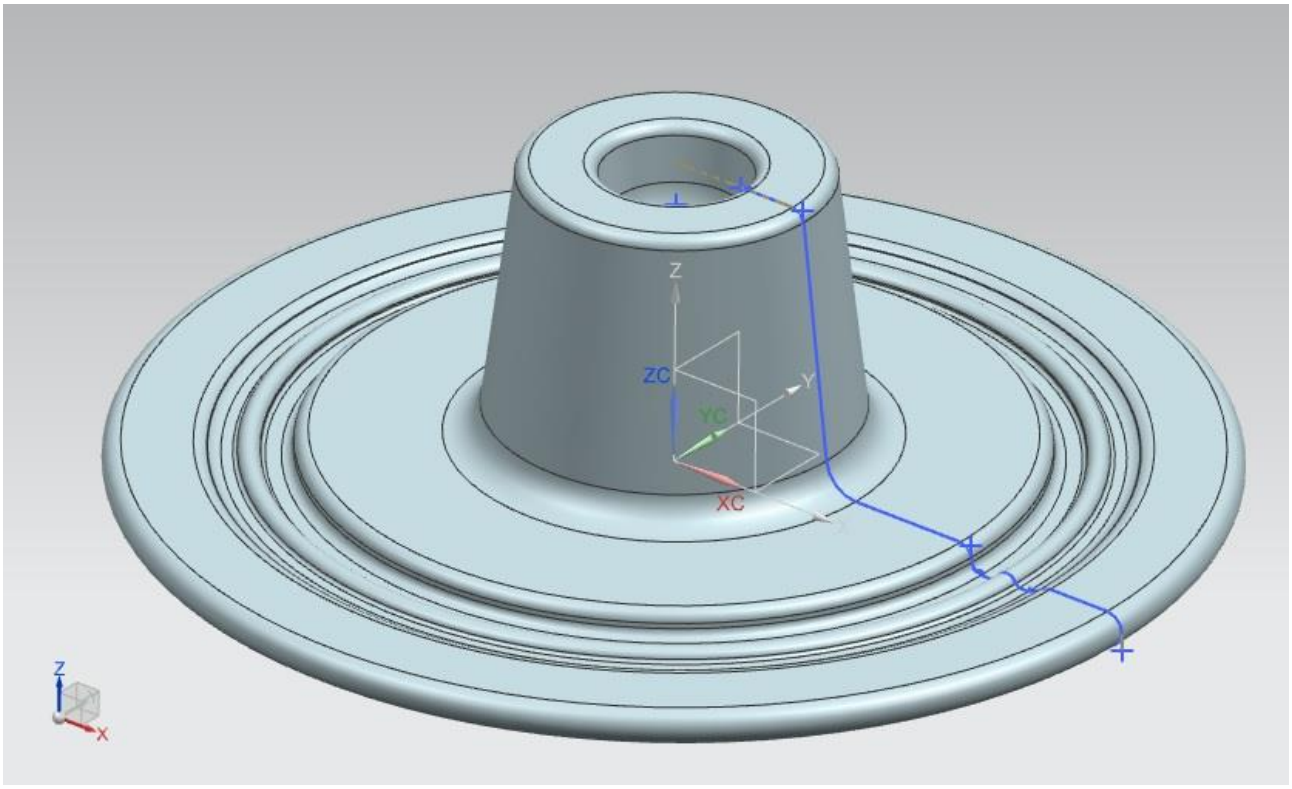

Рисунок 4.7 – 3D-модель гарячої заготовки деталі «Кришка» з додаванням геометрії облойного рівчака V типу

Після цього переходимо до створення геометрії штампів. Всього потрібно створити моделі 2 комплектів штампів (верхнього та нижнього) для кожного варіанту облойного рівчака відповідно.

Для цього створюємо копію моделі гарячої заготовки деталі з додаванням геометрії облойного рівчака I типу, в якій в площині роз'єму штампів будуємо ескіз та витягуємо його на відповідну довжину. Зовнішній вигляд моделі на даному етапі зображено на рисунку 4.8.

Після цього за допомогою булевої операції віднімання від штампу віднімаємо потрібний об'єм, використовуючи модель гарячої заготовки деталі

«Кришка» з додаванням геометрії облойного рівчака в якості інструменту. Результат наведено на рисунку 4.9.

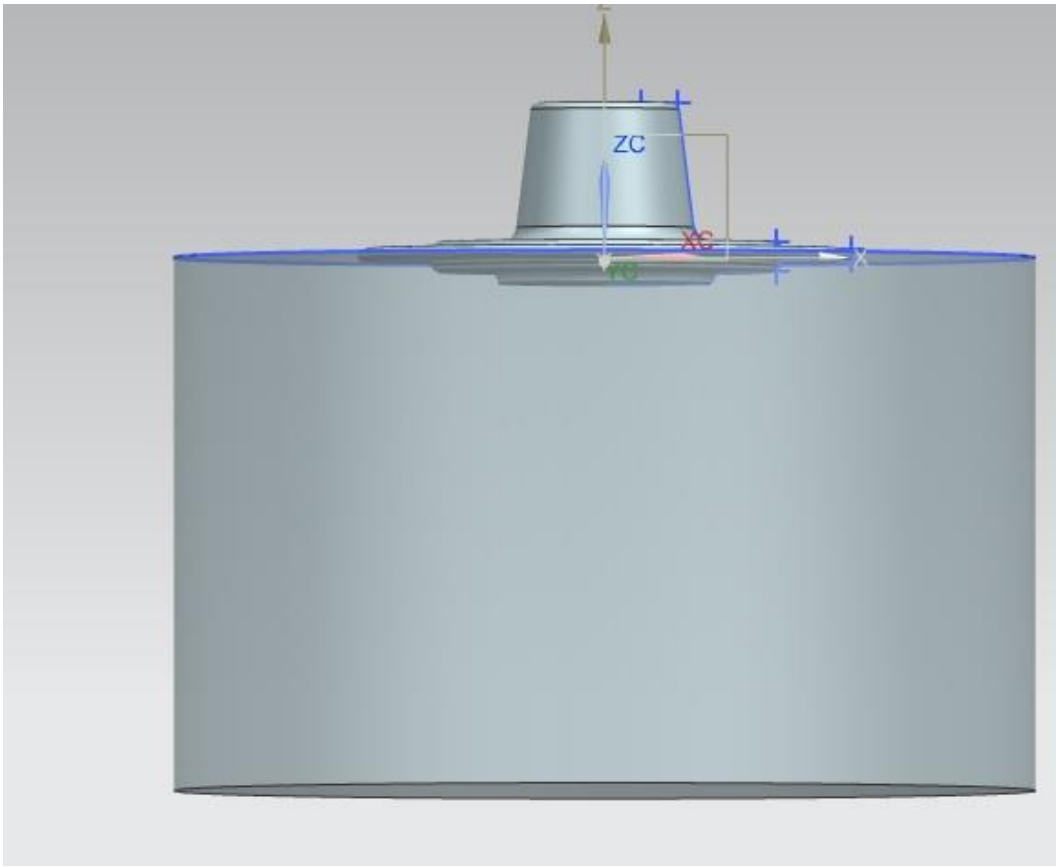

Рисунок 4.8 – Процес моделювання штампу

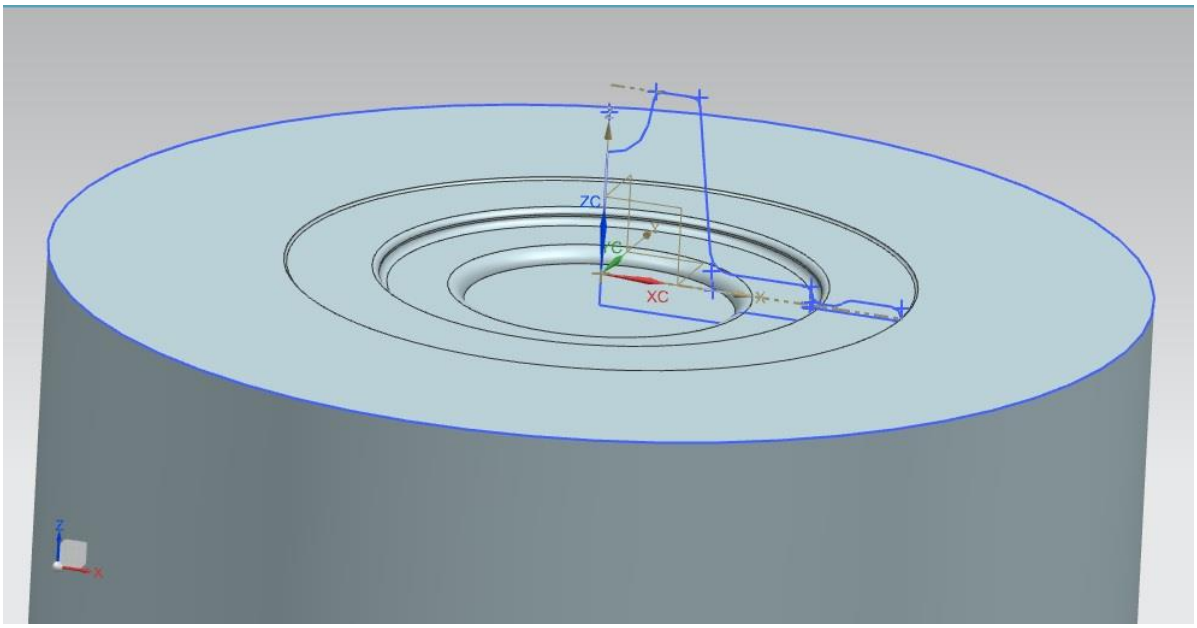

Рисунок 4.9 – Модель нижнього штампу

Подібним же чином будуємо інші моделі штампів під кожен тип облойного рівчака. Також будуємо модель заготовки – циліндричного прутка. Об’єм прутка розраховуємо за допомогою програмних можливостей та виконуємо його рівним об’єму заготовки.

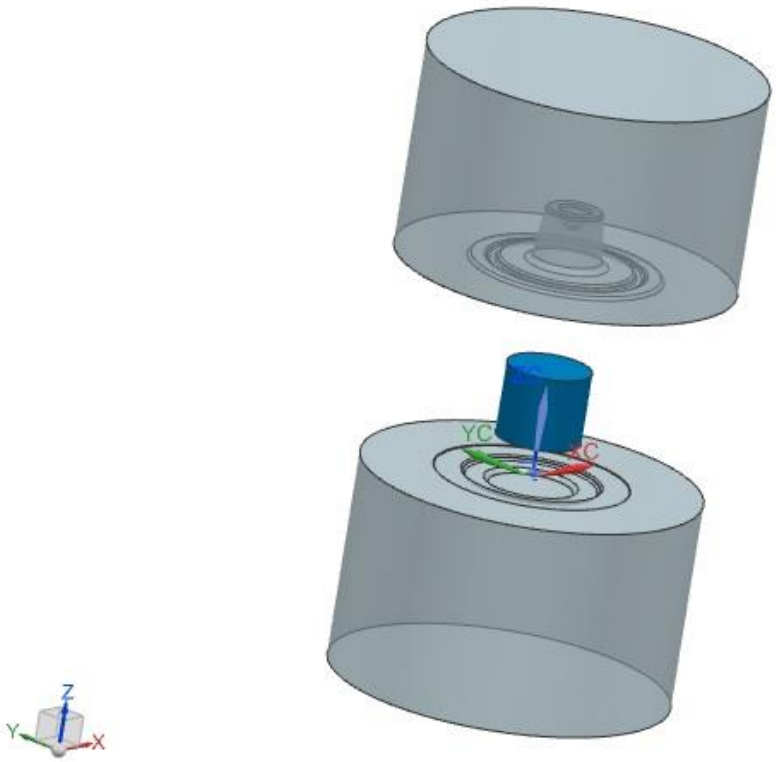

Рисунок 4.10 – Комплект моделей для аналізу

Після цього виконуємо експорт побудованої геометрії в форматі STL, який сумісний з програмою Simufact Forming.

Формат файлів STL (Stereolithography) — це поширений формат для представлення тривимірної геометричної інформації моделей об'єктів. Він широко використовується в області комп'ютерного машинобудування (CAD). Файли STL містять інформацію лише про геометричну форму об'єкта, включаючи поверхні та їхні нормалі. Геометрія об'єкта представлена у вигляді трикутникової мережі. Це означає, що поверхня об'єкта розбивається на трикутники.

4.5 МОДЕЛЮВАННЯ ГАРЯЧОЇ ОБ’ЄМНОЇ ШТАМПОВКИ

Для моделювання процесу гарячої об’ємної штамповки обираємо програму Simufact Forming. Simufact Forming є програмним забезпеченням для моделювання процесів ковки, штампування та інших операцій обробки матеріалів. Вона дозволяє інженерам і дослідникам виконувати числовий аналіз та оптимізацію процесів формування металу, щоб визначити оптимальні параметри і покращити якість та ефективність виробництва.

Simufact Forming використовує метод скінченних елементів для аналізу деформацій, напружень, температур та інших параметрів, пов'язаних із процесами формування металу. Вона дозволяє моделювати різні види обробки, такі як екструзія, кування, штампування та інші.

При запуску програми з’являється стартове меню, в якому користувачеві пропонується вибрати потрібний модуль. Обираємо модуль Hot Forgong, як показано на рисунку 4.11.

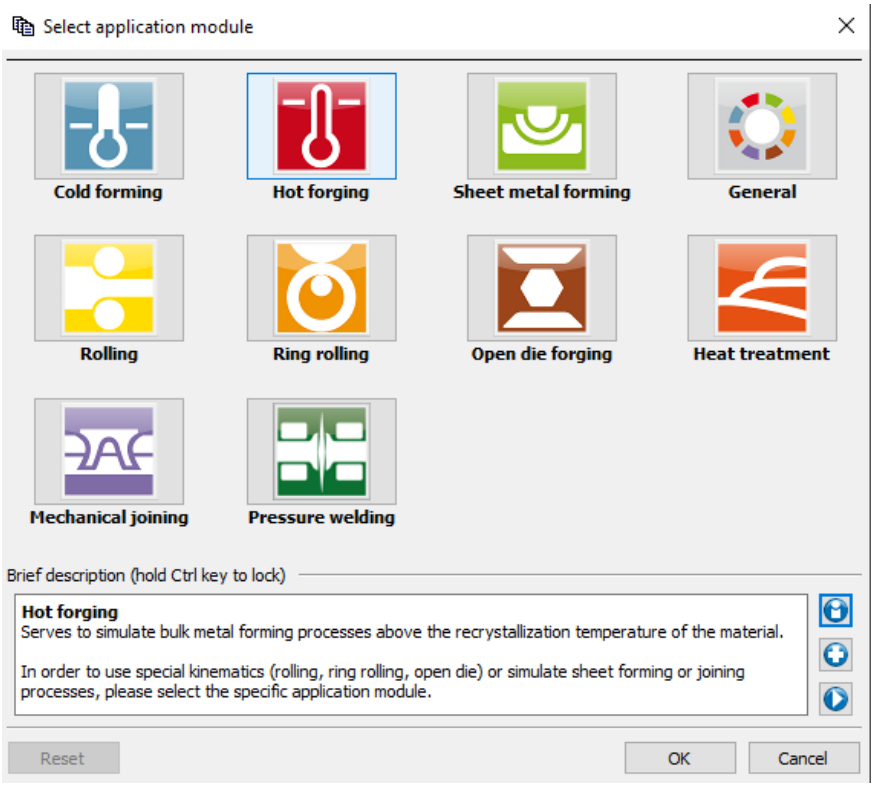

Рисунок 4.11 – Стартове меню програми Simufact Forming

Після цього з’являється меню Process Definition (рисунок 4.12), в якому задаємо параметри процесу гарячого штампування.

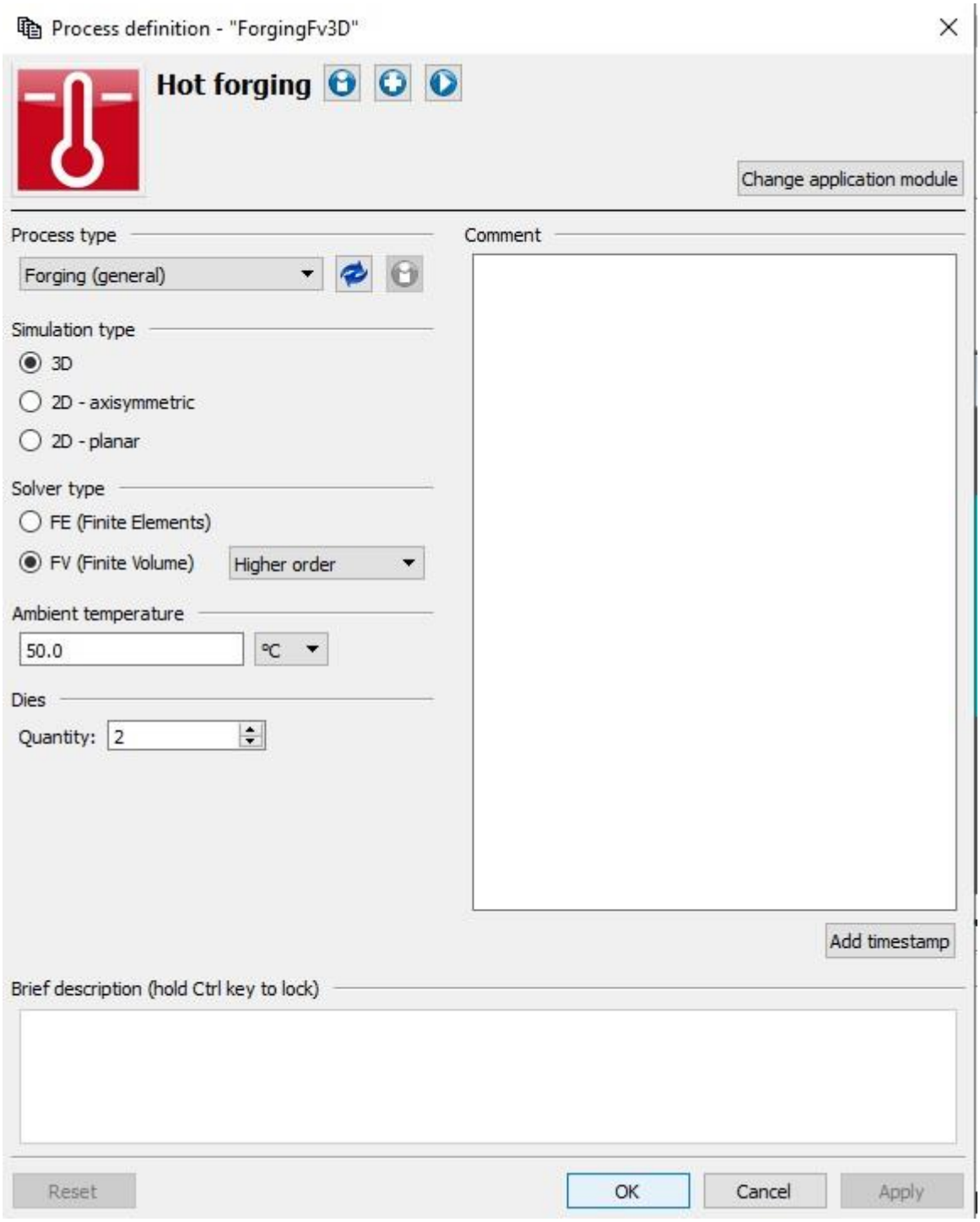

Рисунок 4.12 – Меню Process Definition

Після задання необхідних початкових параметрів, з’являється робоча область програми. Далі імпортуємо в програму геометрію нижнього та верхнього штампів, а також вихідної циліндричної заготовки, які попередньо підготовлені в програмі NX.

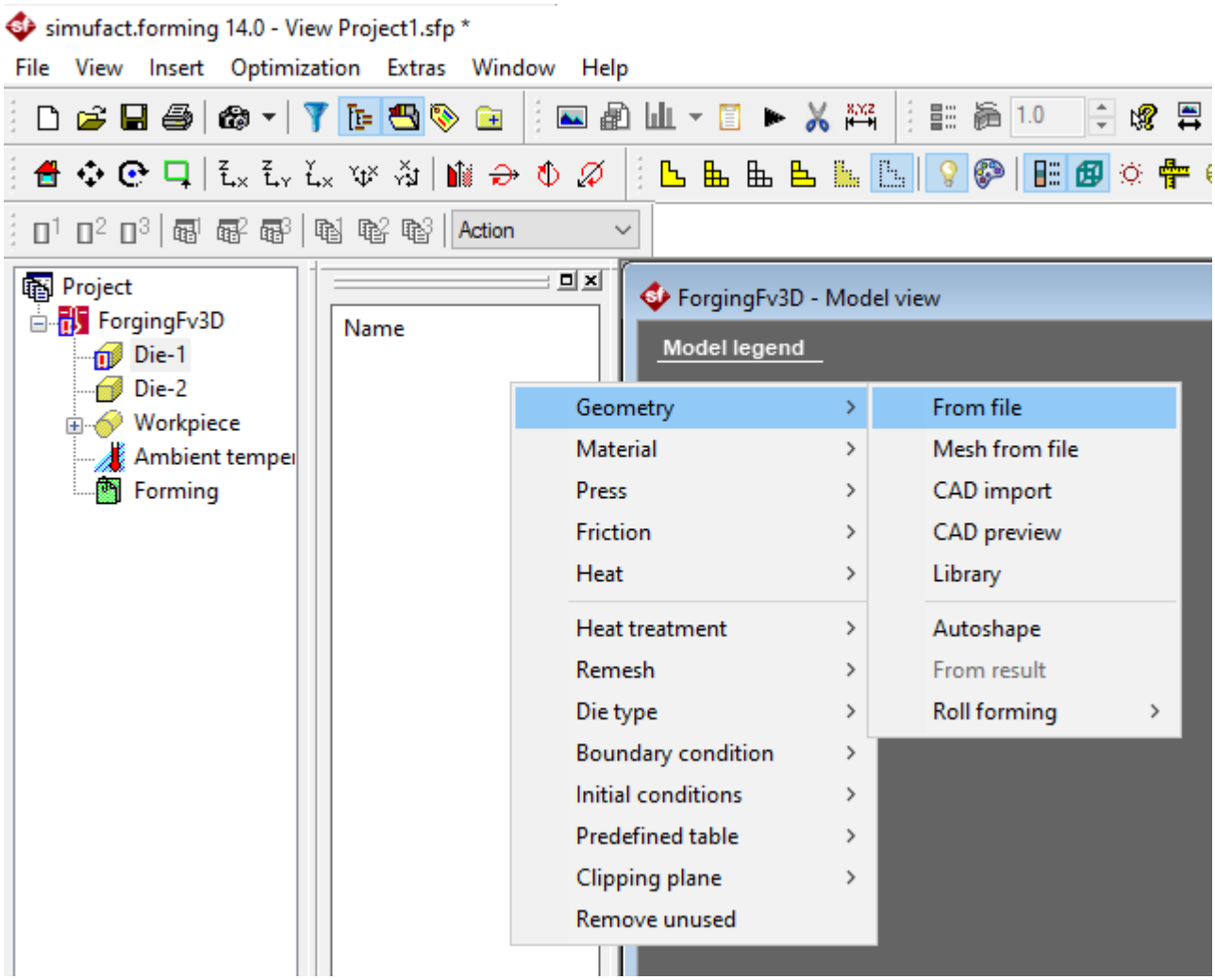

Рисунок 4.13 – Імпорт геометрії з файлу

Імпортована геометрія зображена на рисунку 4.14. Для кожного штампу та заготовки «перетягуємо» відповідну модель до дерева проєкту.

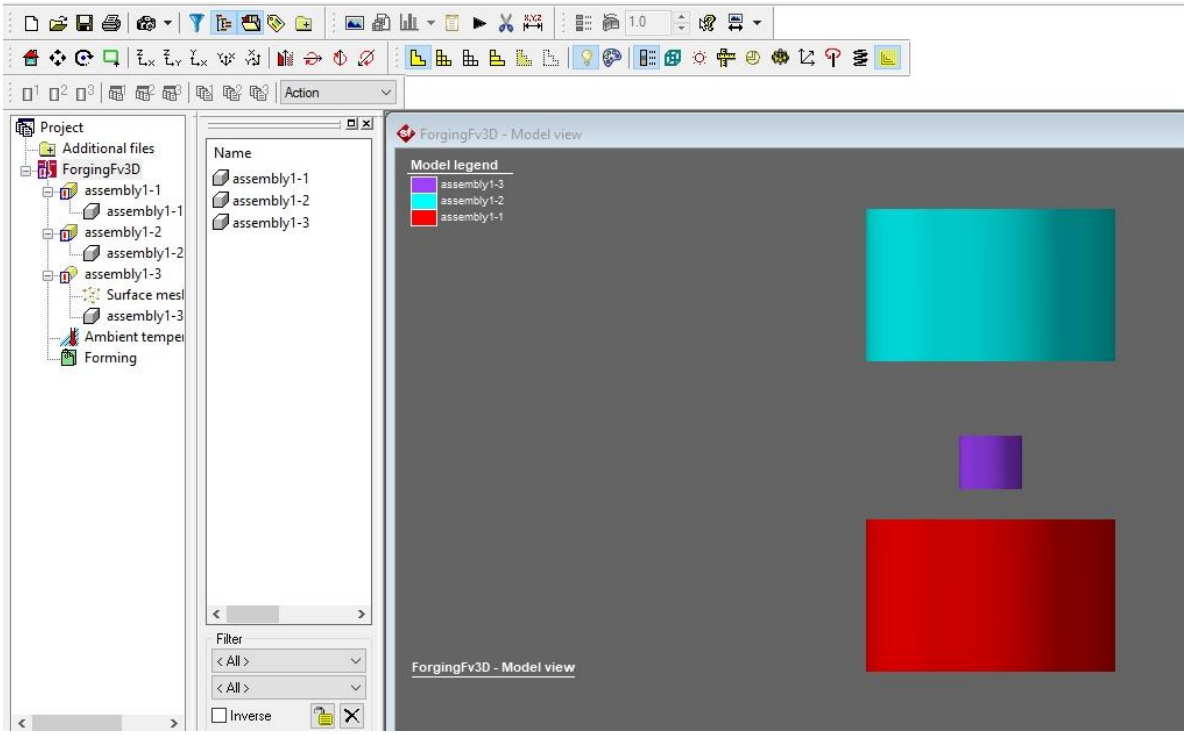

Рисунок 4.14 – Імпортована геометрія

Після цього задаємо матеріал заготовки. Меню бібліотеки матеріалв показане на рисунку 4.15.

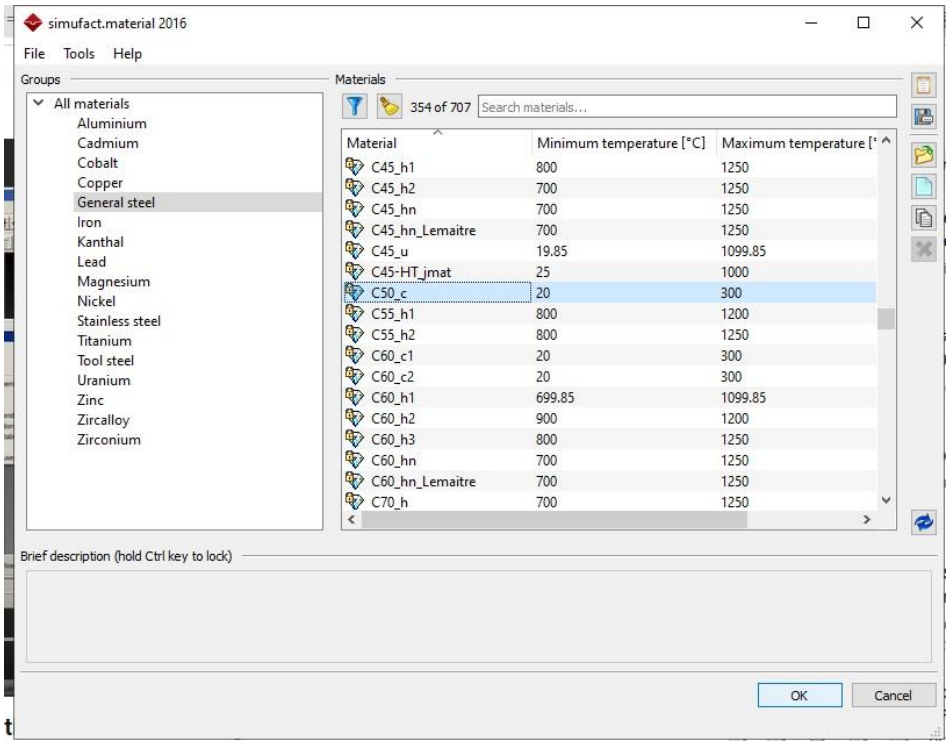

Рисунок 4.15 – Меню бібліотеки матеріалів

Після цього обираємо обладнання з відповідної бібліотеки (рисунок 4.16). Для моделювання процесу гарячої об’ємної штамповки, як було раніше визначено в технологічному розділі даного дипломного проєкту, обираємо штамповку на молотах.

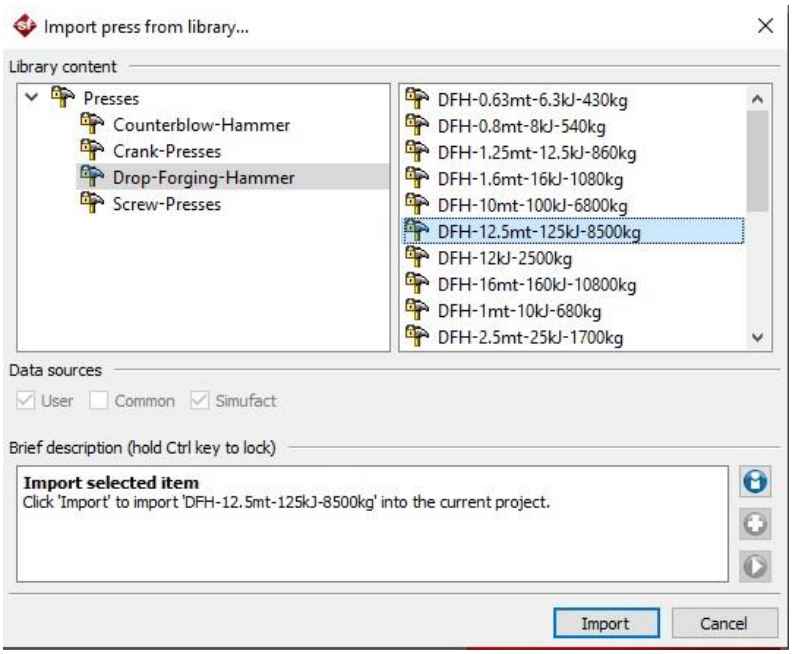

Рисунок 4.16 – Вибір молота

Після цього задаємо параметри тертя. Для цього викликаємо відповідне меню (рисунок 4.17). В ньому ми із бібліотеки обираємо потрібний варіант параметрів тертя (рисунок 4.18).

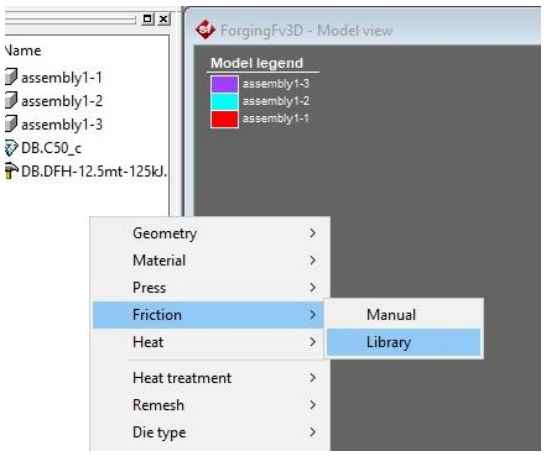

Рисунок 4.17 – Відкриття меню параметрів тертя

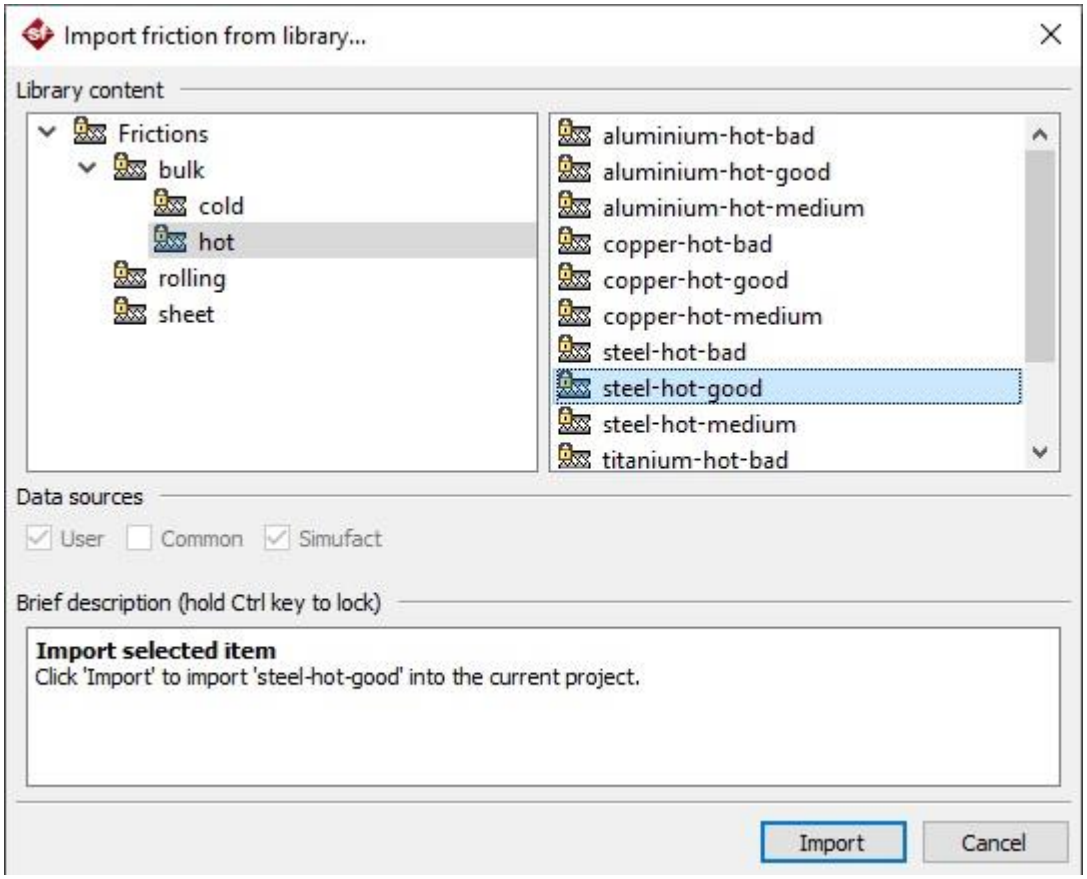

Рисунок 4.18 – Бібліотека параметрів тертя

Далі задаємо температуру нагріву штампів та заготовки (рисунок 4.19).

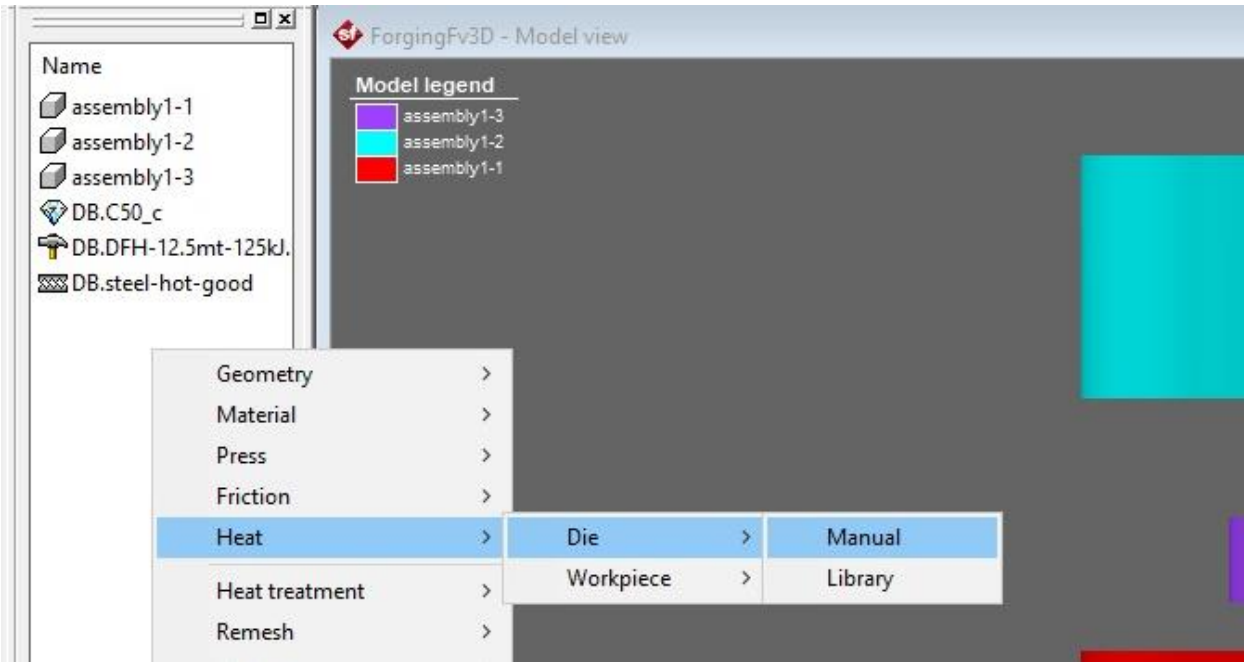

Рисунок 4.19 – Виклик меню параметрів нагріву

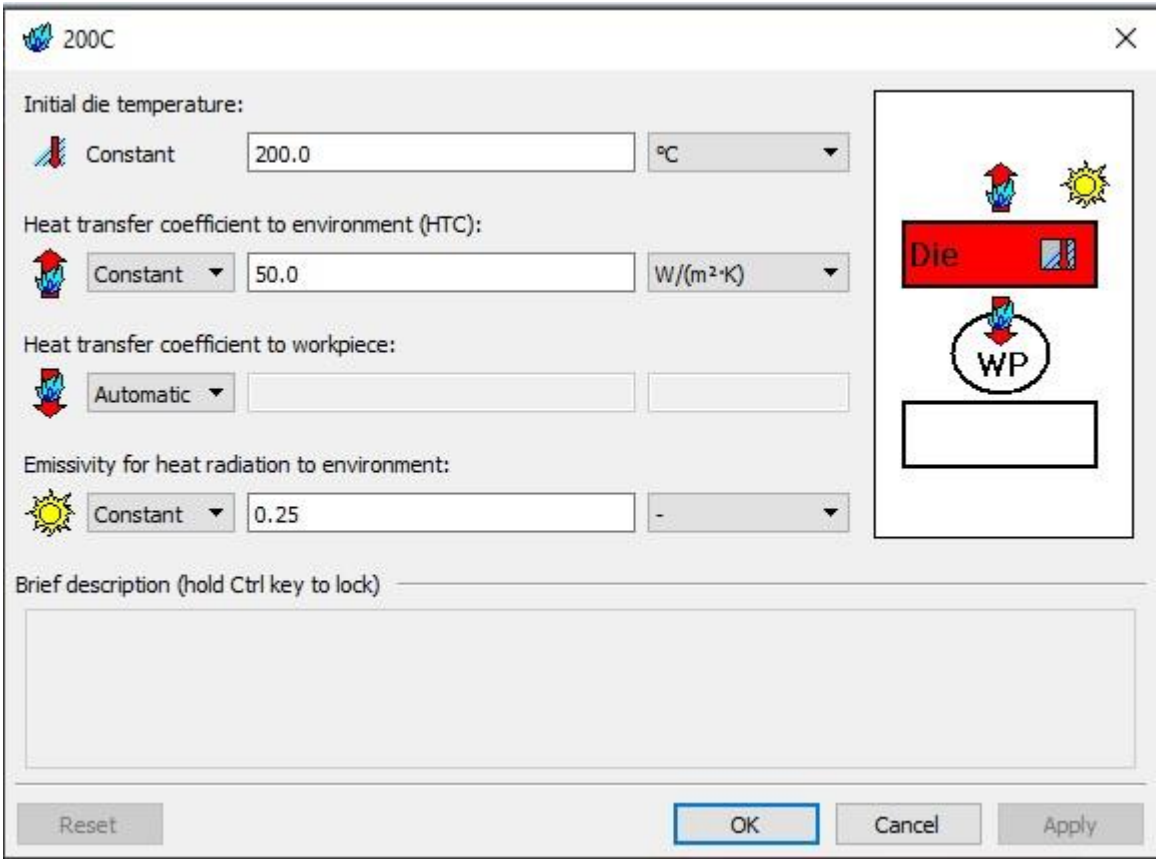

Рисунок 4.20 – Меню параметрів нагріву штампів

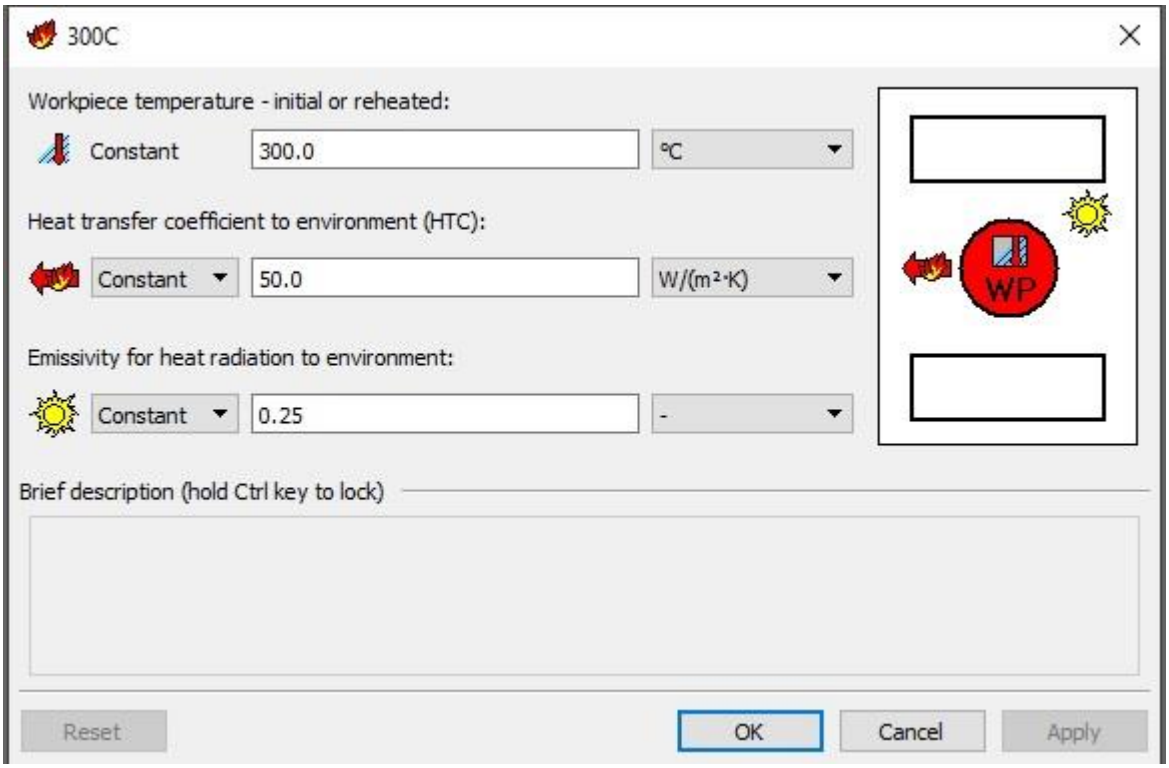

Рисунок 4.21 – Меню параметрів нагріву заготовки

Після цього задаємо параметри для створення кінцевоелементної сітки (рисунок 8.12).

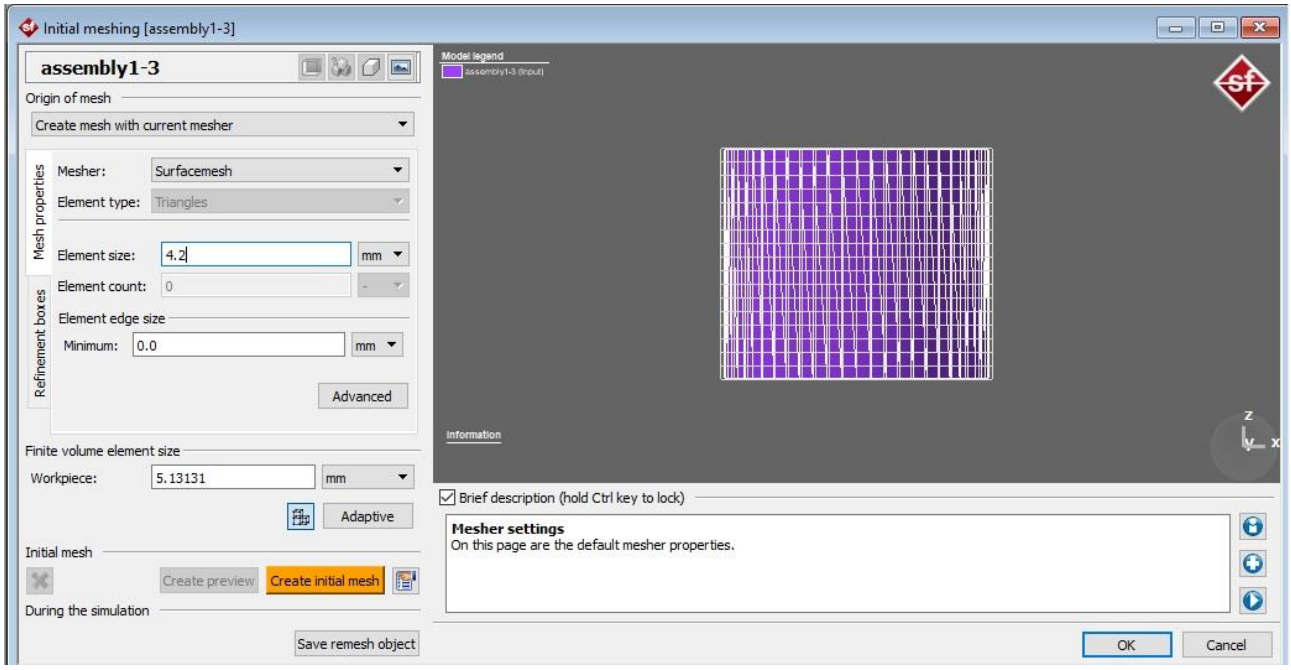

Рисунок 4.22 – Введення параметрів для створення кінцевоелементної сітки

Метод кінцевих елементів (МКЕ) - це числовий метод, який використовується для апроксимації та розв'язання диференціальних рівнянь, які описують фізичні процеси, такі як теплопровідність, механіка деформівного тіла та інші. Застосування методу кінцевих елементів до моделювання обробки тиском дозволяє вивчати деформації та напруження матеріалів під впливом тиску та інших механічних навантажень.

Основні кроки в застосуванні МКЕ до моделювання обробки тиском:

1. Створення геометричної моделі:
    - Починається з створення геометричної моделі вихідного об'єкта, який піддається обробці тиском. Це може бути, наприклад, заготівка металевого деталю.
2. Розбиття на елементи:

- Геометрична модель розбивається на елементи (трикутники або чотирикутники в двовимірному випадку, тетраедри або гексаедри в тривимірному випадку). Цей процес відомий як меш-генерація.

3. Визначення матеріальних властивостей:
    - Для кожного елемента визначаються матеріальні властивості, такі як модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона і інші.
4. Визначення умов обмеження та навантаження:
    - Встановлення умов обмеження (наприклад, фіксація деяких точок) та визначення навантаження (тиск, прикладений до певних зон об'єкта).
5. Розв'язання системи рівнянь:
    - МКЕ перетворює задачу на систему алгебраїчних рівнянь, які вирішуються числовими методами. Рішення включає значення деформацій, напружень та інших характеристик стану матеріалу.
6. Візуалізація результатів:
    - Після розв'язання моделі можна візуалізувати результати, такі як розподіл деформацій та напружень на поверхні об'єкта.

Метод кінцевих елементів дозволяє отримувати докладні та реалістичні результати для різних умов обробки тиском, що робить його корисним інструментом для інженерів та вчених, що працюють у галузі виробництва та матеріалознавства.

На рисунку показано розбиття циліндричної заготовки на кінцеві елементи.

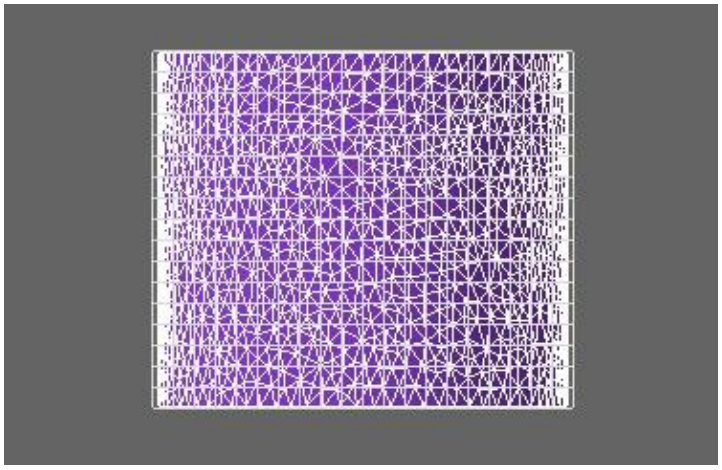

Рисунок 4.23 – Розбиття циліндричної заготовки на кінцеві елементи

Далі виконуємо перенесення початкових даних та граничних умов моделювання до дерева проєкту. На рисунку 4.24 можна бачити наявність позначень тертя, температури, кінцевоелементної сітки, заданих на попередніх етапах моделювання.

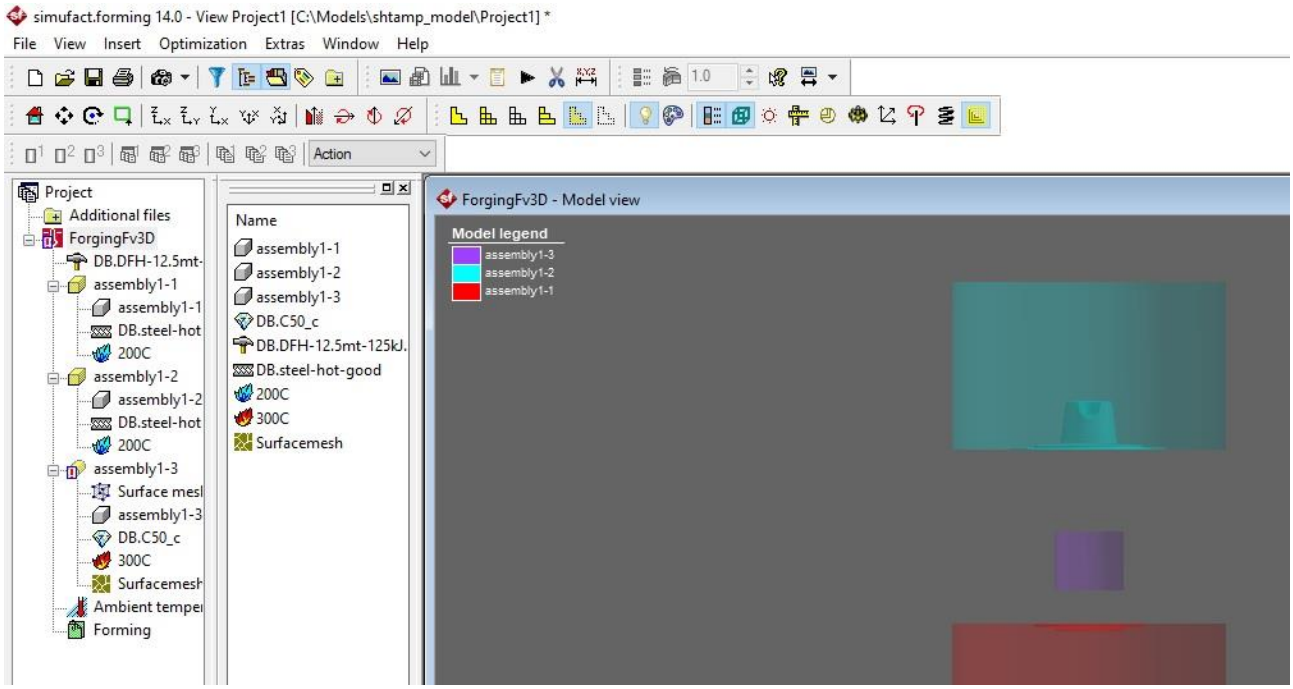

Рисунок 4.24 – Перенесення початкових даних та граничних умов моделювання до дерева проєкту

Після цього викликаємо меню введення точок на верхньому та нижньому штампі, які будемо використовувати для задання переміщення верхнього штампу відносно нижнього при роботі молота.

Виклик меню додавання точок зображено на рисунку 4.25.

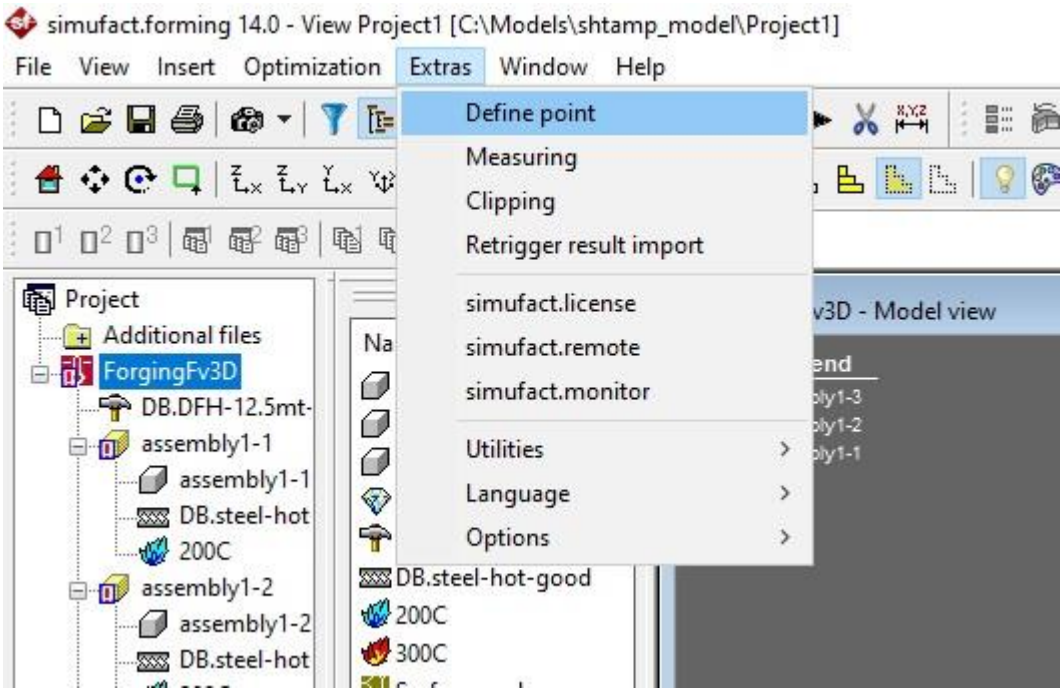

Рисунок 4.25 – Виклик меню додавання точок

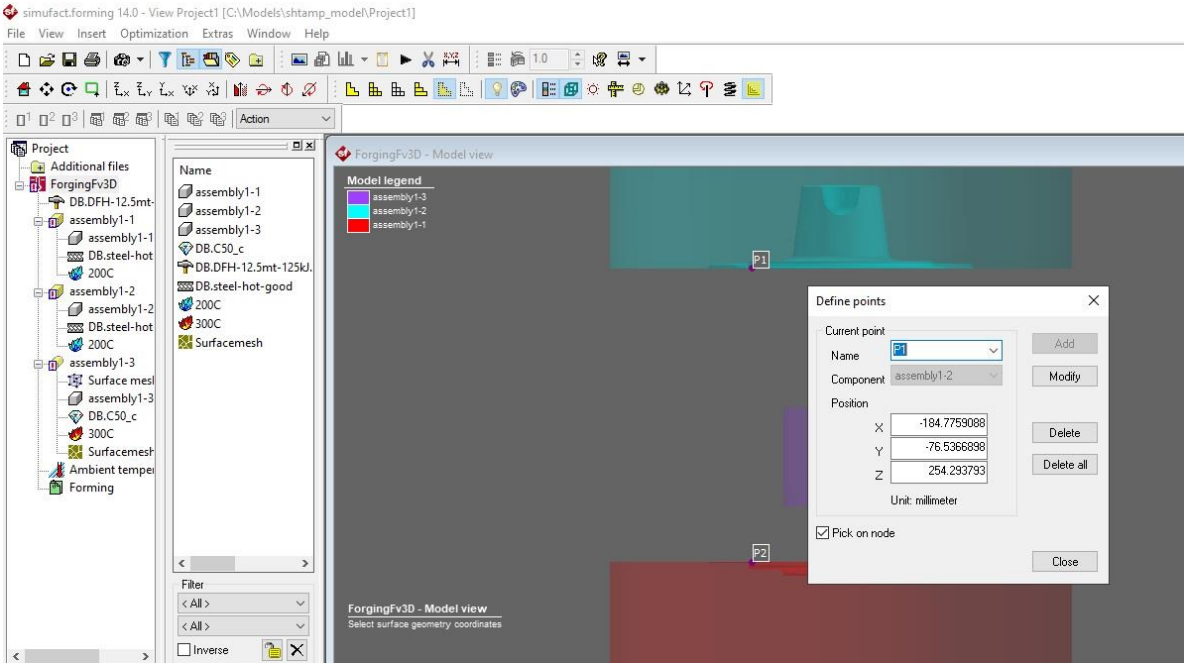

Рисунок 4.26 – Додавання точок

У програмі Simufact Forming точки, що визначаються за допомогою функції Define Points, використовуються для різноманітних цілей в рамках моделювання процесів формування металу. Основні використання точок включають:

1. Визначення положення матеріалу: Точки можуть бути використані для визначення початкового положення матеріалу перед початком процесу формування. Це може бути важливо для точного моделювання початкового стану заготовки перед обробкою.
2. Фіксація точок: Використання точок може включати фіксацію певних точок або областей матеріалу. Наприклад, це може бути корисно для симуляції взаємодії із стаціонарними елементами або для стабілізації певних ділянок.
3. Встановлення умов обмеження: Точки можна використовувати для визначення місць, де накладаються умови обмеження. Це може включати закріплення частин матеріалу або визначення конкретних рухів або обмежень.
4. Керування областями навантаження: Точки визначають області, де застосовуються навантаження. Це може бути важливо для точного моделювання розподілу зусиль та деформацій у конкретних частинах матеріалу.
5. Вимірювання та моніторинг: Точки можуть використовуватися для встановлення точок вимірювання або моніторингу певних параметрів у процесі формування. Це дозволяє вам відстежувати зміни та отримувати дані для подальшого аналізу.

В цілому, використання точок в Simufact Forming надає користувачам більше гнучкості та контролю над моделюванням процесів формування металу та дозволяє точніше визначати умови та властивості матеріалу для конкретних областей.

Після задавання точок викликаємо меню керування процесом штамповки. В ньому обраємо опцію Specify Stroke, та вказуємо 2 створені точки на нижньому та верхньому штампах.

Далі обираємо відображення результатів після моделювання (рисунок 4.28).

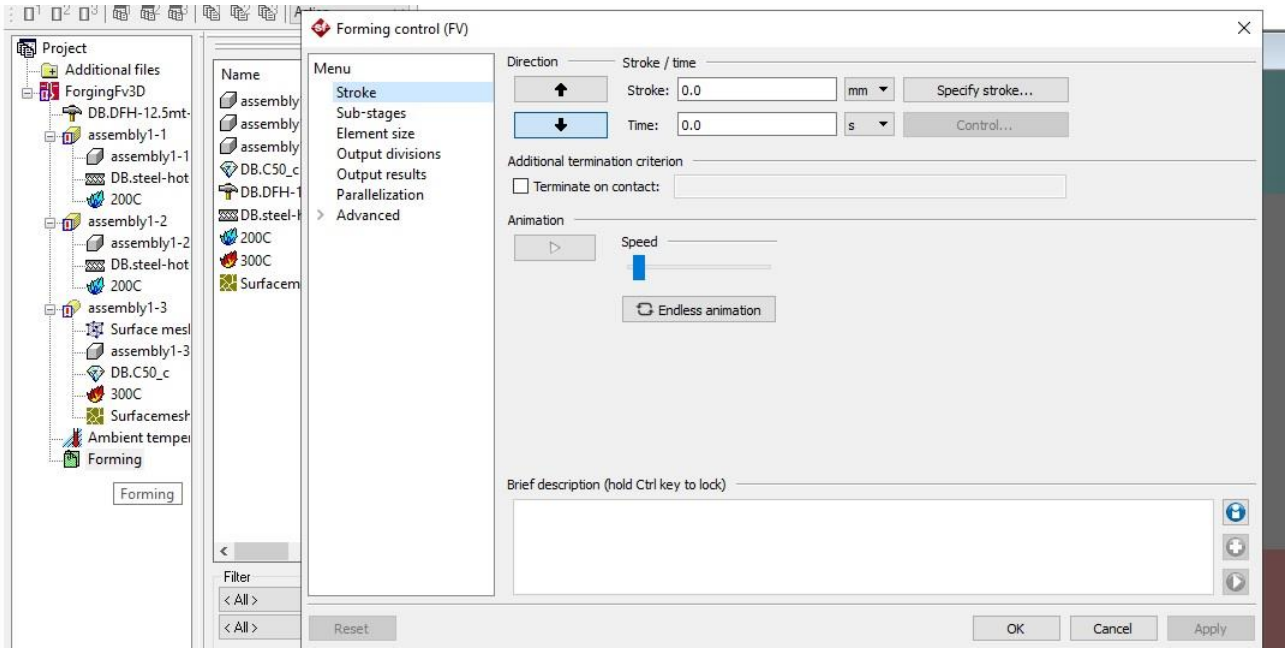

Рисунок 4.27 – Вибір опції Specify Stroke

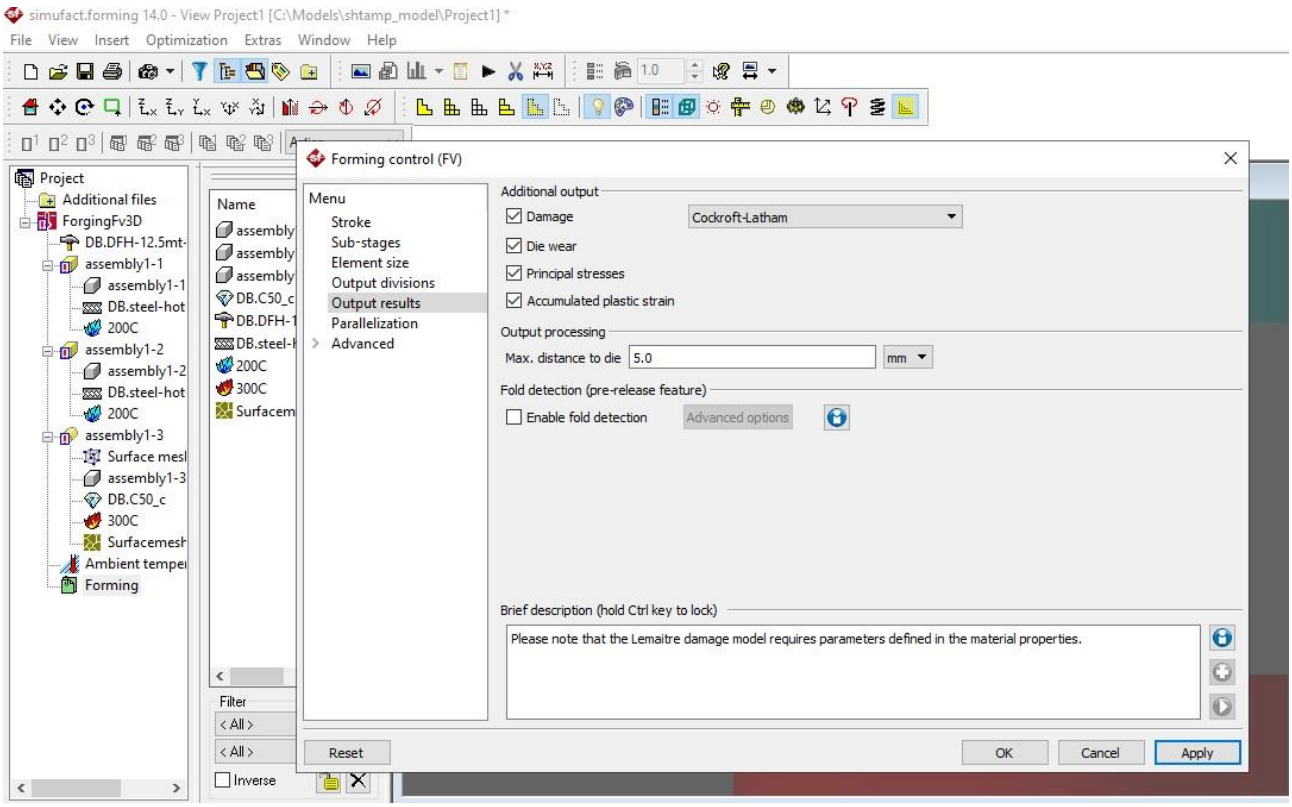

Рисунок 4.28 – Вибір відображення результатів

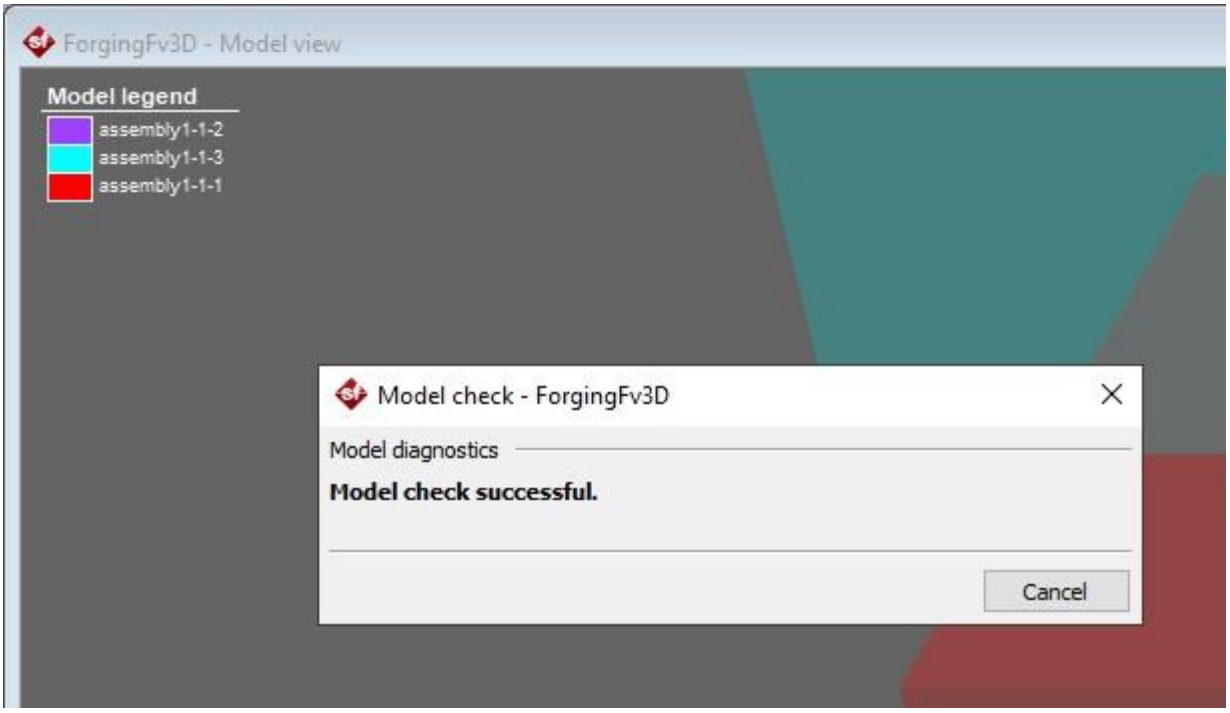

Рисунок 4.29 – Повідомлення про успішну перевірку

Далі виконуємо перевірку моделі та переконуємось, що вихідні дані та умови подальшого моделювання задані вірно. Повідомлення про успішну перевірку показане на рисунку 4.29.

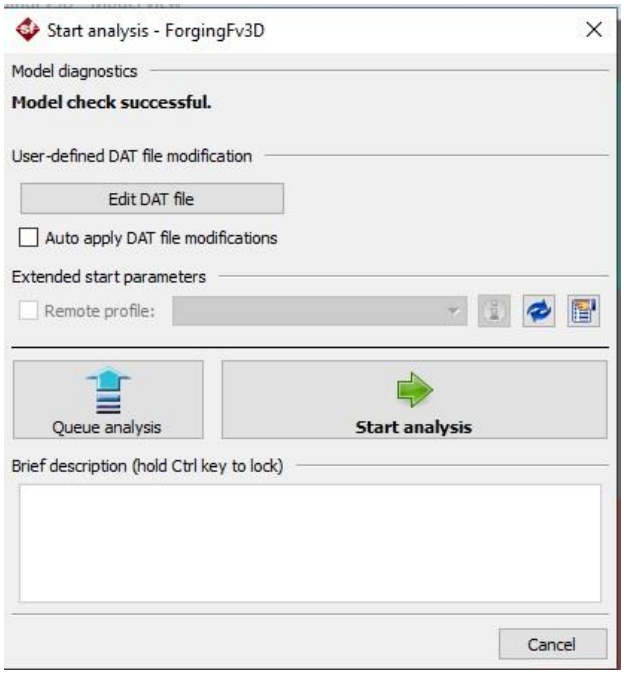

Рисунок 4.30 – Старт виконання аналізу

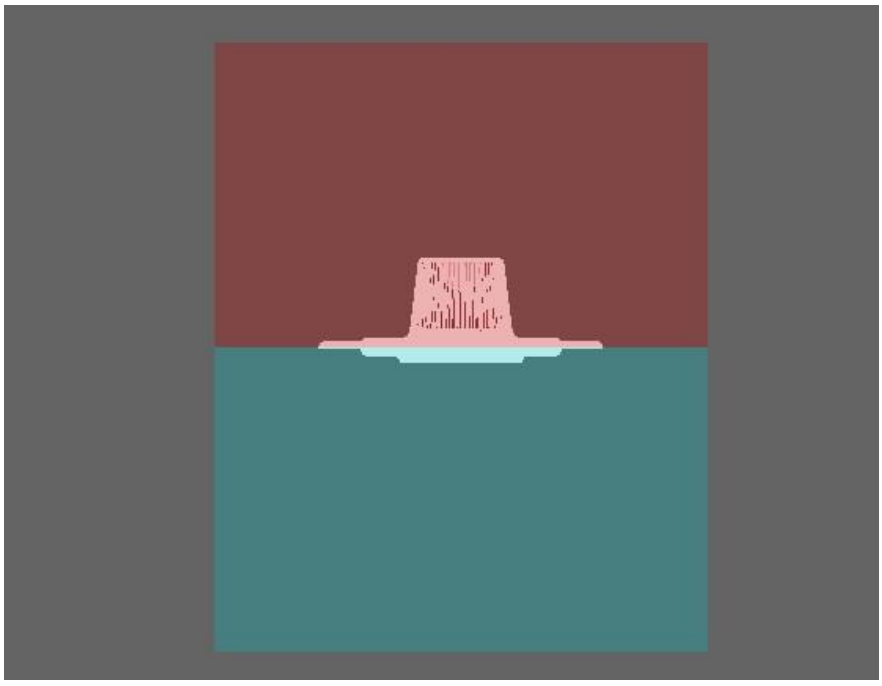

Рисунок 4.31 – Відображення кінцевоелементної сітки моделі першого типу після виконання аналізу

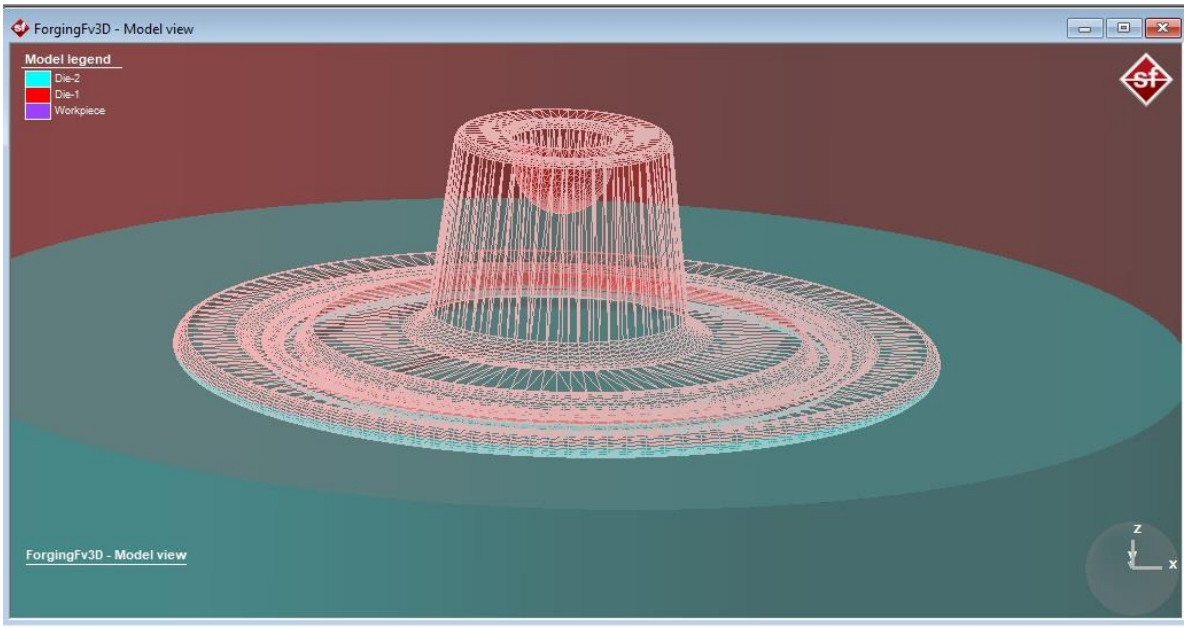

Рисунок 4.32 – Відображення кінцевоелементної сітки моделі першого типу після виконання аналізу

Після завершення аналізу штампів з облойним рівчаком I типу показаний в даному розділі дипломного проєкту алгоритм використовуємо для створення розрахункової моделі та подальшого аналізу штампів з облойним рівчаком V типу. В результаті ми отримуємо 2 файла моделювання.

В результаті проведеної роботи розроблено практичний алгоритм аналізу штампів при процесі гарячого об’ємного штампування на молотах з використанням відкритих штампів.

Виконана робота може в подальшому буде використана для виконання низки практичних завдань по порівнянню впливу особливостей геометрії облойного рівчака на результат об'ємного штампування деталей авіаційної техніки.

ВИСНОВКИ

Дипломний проєкт передбачає аналіз заданої деталі, вибір методу отримання її заготовки, підбір обладнання та устаткування для об’ємного штампування. В ході виконання проєкту створено креслення заготовки та відкритих молотових штампів (верхній та нижній) для гарячого об’ємного штампування на молотах.

У конструкторській частині проведено конструктивно-технологічний аналіз проектованого шпангоута; виконано конструкторські розрахунки, а також складено технічні умови на виготовлення вузла.

Порівняння впливу особливостей геометрії облойного рівчака на результат об'ємного штампування деталей авіаційної техніки – важливе питання практичного застосування зазначеного методу. Для вирішення цієї задачі оптимальним є використання сучасних технологій моделювання. Дипломний проєкт передбачає застосування програмних засобів моделювання процесу об’ємного штампування.

Для можливості порівняння геометрії облойного рівчака створено комплект 3D-моделей заготовок та штампів. Визначено алгоритм моделювання процесу гарячого об’ємного штампування на молотах за допомогою програмного забезпечення Simufact Forming.

В економічній частині виконано розрахунок собівартості вузла в пристосуванні та за СО і зроблено розрахунок витрат на складальні пристосування за укрупненими показниками.

Виконана робота може в подальшому буде використана для виконання низки практичних завдань по порівнянню впливу особливостей геометрії облойного рівчака на результат об'ємного штампування деталей авіаційної техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. В. В. Борисевич, Мохсен Закизаде Байгара, А.Н. Застела Выбор независимых предикторов и зависимых откликов при моделировании открытой штамповки, -Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"
2. В. В. Борисевич, Мохсен Закизаде Байгара, А.Н. Застела Выбор рациональных параметров мостика облойной канавки при моделировании открытой штамповки, - Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"
3. Каплунов, Б. Г. Развитие теории и технологии процессов горячей объемной штамповки на основе моделирования напряженно-деформированного состояния: Дис. … д-ра техн. наук. – Челябинск, 1998. – 494 с
4. Семенов, Е. И. Ковка и штамповка [Текст]: Справ.: в 4 т. – Т 2. / под общ. ред. Е. И. Семенова. – М.: Машиностроение, – 1986. – 592 с.
5. Современные технологии авиастроения [Текст] / Под общ. ред. А. Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.
6. Каргин, Борис Владимирович. Практикум по теории и технологии ковки и горячей штамповки : практикум / Б.В. Каргин, В.Р. Каргин, А.В. Казаков. – Самара: Издательство Самарского университета, 2008. – 140 с. : с ил.
7. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. — М.: Машиностроение. М38 Технологии заготовительных производств. Т. П1-2 / И.Л. Акаро, Р.А, Андриевский, А.Ф. Аржанов и др.; Под общ. ред. В.Ф. Мануйлова. 1996. — 736 с , ил.