

Форма № 24
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

И.У.И.Ф

(повне найменування інституту, факультету)

ОМТ

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження способів виготовлення деталей складної форми з алмінію за допомогою операції видавлювання

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-819М

Чиченков Євгеній Дмитрович

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Обладнання об'єктами масового формування
конструкції машинобудування
(прізвище та ініціали)

Керівник Широкабаров В.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет МЧМФ
 Кафедра ОМФ
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 (код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Обчислювальні технології машинного формування конструкцій машинобудування
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [підпис]

« 18 » березня 20 20 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Чижикова Євгенія Дмитрівна
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження способів виготовлення деталей складної форми з алмінієм за допомогою операції видавлювання

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 6 » листопада 20 20 року № 310

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 20 грудня 2020

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) креслення деталі, технології виробництва, зварювання та добірки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз холодної об'ємної штампування як способу виготовлення порожнистих деталей. 2) Методика дослідження. 3) Характеристика способів видавлювання холодною і матеріалів для холодної видавлювання. 4) Експериментальне дослідження процесів деталі 5) Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
слайди в кількості 19 шт.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1-4	Мамонтов А.В. Мамонтов С.В.		

7. Дата видачі завдання « 30 » вересня 20 20 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Прим
1	Титул, завдання, вимоги, умови виконання та способу виконання / визначення порогових даних	1.10-11.10.2020	
2	Матеріальні дані	12.10-31.10.2020	
3	Характеристика матеріалів, матеріалів, вибір матеріалів і матеріалів для матеріалів, вибір матеріалів	1.11-5.11.2020	
4	Експериментальні дослідження	2.11-22.11.2020	
5	Виробництво матеріалів з наданими параметрами	25.11-30.11.2020	
6	Визначення параметрів матеріалів	1.12-20.12.2020	

Студент(ка)

(підпис)

Б.Д. Чирков
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

В.В. Шеремет
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 122 с., 42 рис., 6 табл., 37 джерел.

Об'єкт дослідження – сердечник.

Мета роботи – розширення технічних і технологічних можливостей шляхом використання традиційної схеми операції видавлювання для дослідження способів виготовлення деталей складної форми з алюмінію.

У проекті вирішені такі задачі:

- визначено, що таке порожнисті деталі і галузь їх застосування;
- визначена методика дослідження прямого видавлювання;
- визначені способи холодного видавлювання;
- розроблена та виготовлена експериментальна модель штампу для холодного видавлювання алюмінієвої деталі за допомогою програмного забезпечення КОМПАС 3D.

Висновок: проведені теоретичні і експериментальні дослідження процесу прямого видавлювання з різними умовами роботи. На підставі експериментальних даних отримали підтвердження щодо можливості використання операції видавлювання для даної деталі.

ХОЛОДНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ, ВИДАВЛЮВАННЯ, СЕРДЕЧНИК,
АЛЮМІНІЄВА ДЕТАЛЬ, ОБ'ЄМНЕ ШТАМПУВАННЯ, ПУАНСОН,
ШТАМП, ПРЕСУВАННЯ, ПОКОВКА,

ABSTRACT

EN: 122 p., 42 fig., 6 tabl, 37 sources.

The object of study - the core.

The purpose of the work is to expand the technical and technological capabilities by using the traditional scheme of the extrusion operation to study methods of manufacturing parts of complex shape from aluminum.

The following tasks are solved in the project:

- determined what are hollow parts and their field of application;
- the method of research of direct extrusion is defined;
- certain methods of cold extrusion;
- developed and manufactured an experimental model of a stamp for cold extrusion of an aluminum part using COMPASS 3D software.

Conclusion: theoretical and experimental studies of the process of direct extrusion with different operating conditions. Based on experimental data, confirmation was obtained as to the possibility of using the extrusion operation for this part.

COLD EXTRUSION, EXTRUSION, CORE, ALUMINUM DETAIL,
VOLUME STAMPING, PUNCH, STAMP, PRESSING, FORGING,

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ЯК СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ	11
1.1 Аналіз способів виготовлення порожнистих деталей	14
1.2 Класифікація деталей за технологічністю	18
1.3 Вимоги до заготовок для холодного видавлювання	31
1.4 Підбір мастил для видавлювання	33
1.5 Конструювання штампованих заготовок і деталей	36
1.6 Вибір переходів	39
1.7 Визначення питомих і повних зусиль видавлювання	42
1.8 Устаткування для холодного видавлювання	48
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	50
2.1 Теоретичне дослідження силового режиму видавлювання	54
2.2. Оцінка умов тертя о поверхню інструменту що видавлює	62
2.3 Тепловиділення при видавлюванні	66
2.4 Вплив температури, величини і швидкості деформації на істинний опір	67
2.4.1 Залежність напруги плинності від величини пластичної деформації	67
2.4.2 Вплив температури деформації на величину напруги плинності	69
2.4.3 Вплив температури деформації і величини деформації на величину напруження плинності	70
2.4.4 Залежність межі плинності від швидкості деформації	72

2.4.5 Залежність істинного опору від ступеня температури і швидкості деформації	74
3 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ І МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ	76
3.1 Способи холодного видавлювання	76
3.2 Теоретичні основи процесу холодного видавлювання	77
3.2.1 Напружено-деформований стан при видавлюванні	77
3.3 Опис конструкції штампу для холодного видавлювання	79
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИДАВЛЮВАННЯ ПАЗІВ ДЕТАЛІ.....	82
4.1. Експериментальне моделювання процесу видавлювання	84
4.2. Експериментальні дослідження впливу зусилля при видавлюванні	84
4.3. Методика оцінки величини розбіжності експериментальних даних і відтворюваності результатів	91
4.4. Оцінка відтворюваності результатів.....	93
5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	96
5.1 Аналіз потенційних небезпек	Error! Bookmark not defined.
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	Error! Bookmark not defined.
5.2.1 Незадовільна організація робочого місця.....	Error! Bookmark not defined.
5.2.2 Основні заходи для виключення можливості ураження електричним струмом	Error! Bookmark not defined.
5.2.3 Заходи для виключення можливості отримання механічних травм	Error! Bookmark not defined.

- 5.2.4 Заходи для безпеки праці при дослідженні Error! Bookmark not defined.**
- 5.2.5 Методи оціни якості можуть створювати небезпеку для здоров'я різними способамиError! Bookmark not defined.**
- 5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці . Error! Bookmark not defined.**
- 5.3.1 Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення на науково-дослідній ділянціError! Bookmark not defined.**
- 5.3.2 Незадовільні параметри повітряного середовища робочої зониError! Bookmark not defined.**
- 5.4 Заходи з пожежної безпекиError! Bookmark not defined.**
- 5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях Error! Bookmark not defined.**

ВСТУП

Серед найважливіших завдань сучасної науки особливе значення має розробка і вдосконалення відхідних і безвідходних технологічних процесів і створення на їх основі гнучких автоматизованих виробництв. Зростаючі потреби в середніх і великогабаритних порожнистих деталях з кольорових металів і сплавів в різних галузях економіки, зокрема швидкі темпи розвитку легкої промисловості, ставлять широкі завдання по впровадженню найбільш економічного способу їх виготовлення.

У зв'язку з тим, що в собівартості виготовлення виробів, вартість матеріалу складає 60-80%, то необхідно використати прогресивні методи, спрямовані на скорочення втрат металу, до яких слід віднести холодне об'ємне штампування замість обробки різанням. До недавнього часу основну масу порівняно невеликих об'ємних деталей обробляли різанням. Незважаючи на існуючий недолік - значні (до 70%) втрати металу, цей метод довгий час був найбільш оптимальним. Точність розмірів, порівняно рідкість шорсткості поверхні, відсутність попередньої підготовки металу, наявність витрат і добре освоєних верстатів роблять механічну обробку рентабельним методом.

Процеси кування, гарячого штампування видавлюванням і висадкою, литва не можуть порівнятися з різанням по чистоті обробки поверхні і точності розмірів. Із-за великих припусків на механічну обробку ці способи доцільно застосовувати для отримання порівняно великих або складних за формою заготовок, виготовлення яких різанням непродуктивно і неекономічне (значні відходи металу в стружку, низька продуктивність).

Недоліки цих методів суттєві при масовому виробництві деталей середнього і крупного розмірів. Тому процес холодного об'ємного штампування заслуговує великої уваги.

Холодне об'ємне штампування - метод отримання фасонних деталей з штучних заготовок шляхом зменшення або збільшення їх поперечного перерізу під дією зусилля пресу. Тому важливим є видавлювання порожнистих виробів на кривошипних пресах що має переваги в порівнянні з іншими процесами металообробки. Ступень деформації при холодному видавлюванні досягає 99%.

Для деталей діаметром 80-200мм за допомогою видавлювання ще не вивчено. Тому необхідно дослідити технології в залежності від розмірів деталей.

Дослідження описаних питань частково розкриті в магістерській роботі. Відпрацювання технологічної частини та геометрії інструменту для операції холодного видавлювання були проведені експериментально в лабораторії кафедри «Обробка металів тиском».

1 АНАЛІЗ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ЯК СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ

Холодне об'ємне штампування - процес деформації заготовки, тобто заготівля, що має об'єм, рівний об'єму деталі, поміщається в матрицю, і тиском пуансона наводиться в пластичний стан, видавлюється в проміжок або порожнину між пуансоном і матрицею [1].

Холодне об'ємне штампування характеризують наступними показниками:

- виключається нагрів заготовок перед штампуванням;
- шорсткість поверхні 0,63...2,5 мкм;
- точність штампувань, що відповідають 7-10му квалітету для діаметральних розмірів і 11-16му, - у подовжніх розмірів;
- мінімум або відсутність припусків на механічну обробку;
- виключені штампувальні ухили і напуск, характерні для ГОШ;
- великі (до 2,5 ГПа) питомі навантаження на інструмент;
- висока продуктивність процесу (сучасні холодно-висаджувальні прес-автомати роблять до 250-500 болтів або гайок в хвилину);
- високий (до 98%) коефіцієнт використання металу;

За допомогою ХОШ можна отримувати деталі з алюмінію і його сплавів, міді, цинку, олова, латуні, низько і середньо-вуглецевих сталей, легованих конструкційних і навіть нержавіючих сталей [1].

Довгий час вважалося, що ХОШ придатне лише для виготовлення дрібних деталей масою не більше 200 г. Це твердження пов'язане з невірним уявленням про силовий режим холодного об'ємного штампування.

Розширення номенклатури і збільшення обсягу виробництва деталей і точних заготовок методами ХОШ (видавлюванням, висадкою, розкочуванням та ін.) із сталей і кольорових сплавів до 1млн.тонна дозволить вивільнити понад 60 тис. металорізальних верстатів, близько 80 тис.

робітників (і відповідно технічних працівників), а також скоротити витрату металу приблизно на (1,0 - 1,3) млн. т. Т.е. при чистовій вазі готових деталей 1 млн. тонна - чорнова складе (1,0 - 1,3) млн.т. При обробці їх різанням - чорнова вага складе (2 - 2,5) млн. тонн.

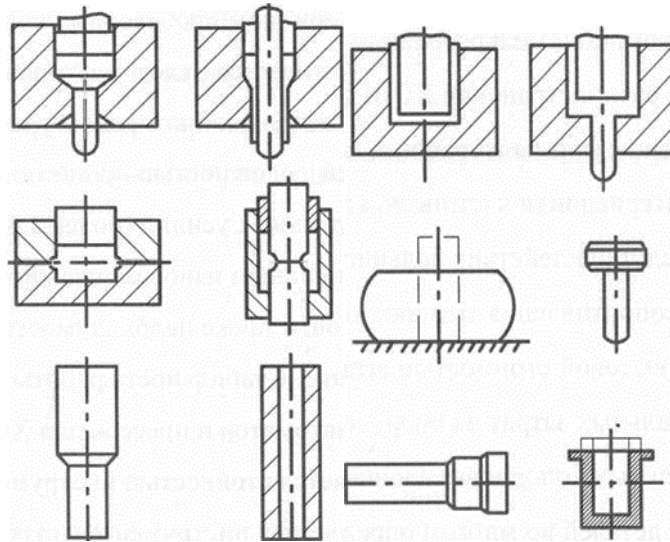


Рисунок 1.1 – Основні схеми холодного об'ємного штампування

З приведених цифр видно, який значний економічний ефект досягається при використанні ХОШ і особливо ПГШ. До речі, ХОШ і ПГШ мають стійку тенденцію до подальшого широкого впровадження не лише в масовому, але і дрібносерійному і серійному виробництвах.

Широке поширення ХОШ стримується рядом чинників: обмеженим вибором форми і порівняно невеликою номенклатурою оброблюваних матеріалів (зокрема, сталей); складністю процесу деформації внаслідок дії великих питомих зусиль (більше 2,5 ГПа) і значні опори тертю; інтенсивним зносом, складністю конструкції і високою вартістю штамів, а також необхідністю великих капітальних витрат на устаткування. Стабільність роботи високопродуктивних холодно-всадочних автоматів і пресів для ХОШ, а також якість деталей багато в чому визначається стійкістю

інструменту, яка, у свою чергу, залежить від вживаних інструментальних матеріалів і методів виготовлення інструменту. На шляху ХОШ сталей встала (є вона і досі) проблема міцності інструменту [2]. Поява вольфрамомістких інструментальних (швидкорізальних) сталей, твердих сплавів зробило можливим ХОШ сталей. Але дослідники постійно працюють над дослідженням способів зниження загального і питомого зусиль, забезпеченням виживаності інструменту ХОШ.

ХОШ вимагає застосування високо-пластичних сталей для виготовлення деталей, але наша металургія майже не випускає таких сталей, призначених для ХОШ. Утворився замкнутий круг: доки малі об'єми ХОШ (малі для металургів), об'єму ХОШ стримуються відсутністю пластичних сталей. Важливе технічне завдання - розірвати цей круг.

Інструмент для ХОШ працює в умовах значних знакозмінних ударних навантажень, що вимагає точних розрахунків на міцність робочих деталей штампів і вручну, без застосування ЕОМ їх зробити неможливо і тому успішна робота прес-автомата і штампу буде залежати від ефективного використання САПР для ХОШ [1, 3].

Процес ХОШ є багатостадійним і включає отримання початкової заготовки, відпал, підготовку заготовки під подальше формоутворення, формоутворення заготовки, термообробку і обробні операції. Ефективність ХОШ визначається оптимальним поєднанням умов на кожній стадії виробництва. В якості критерію можуть служити, наприклад, мінімальні виробничі витрати і продуктивність

1.1 Аналіз способів виготовлення порожнистих деталей

Холодне видавлювання один з різновидів процесів холодного об'ємного штампування. Основними способами отримання циліндричних порожнистих виробів є пряме, зворотне, комбіноване та радіальне видавлювання [5]. Найбільш поширена схема процесу прямого видавлювання (дивись рисунок 1.2) [1,4,5,6].

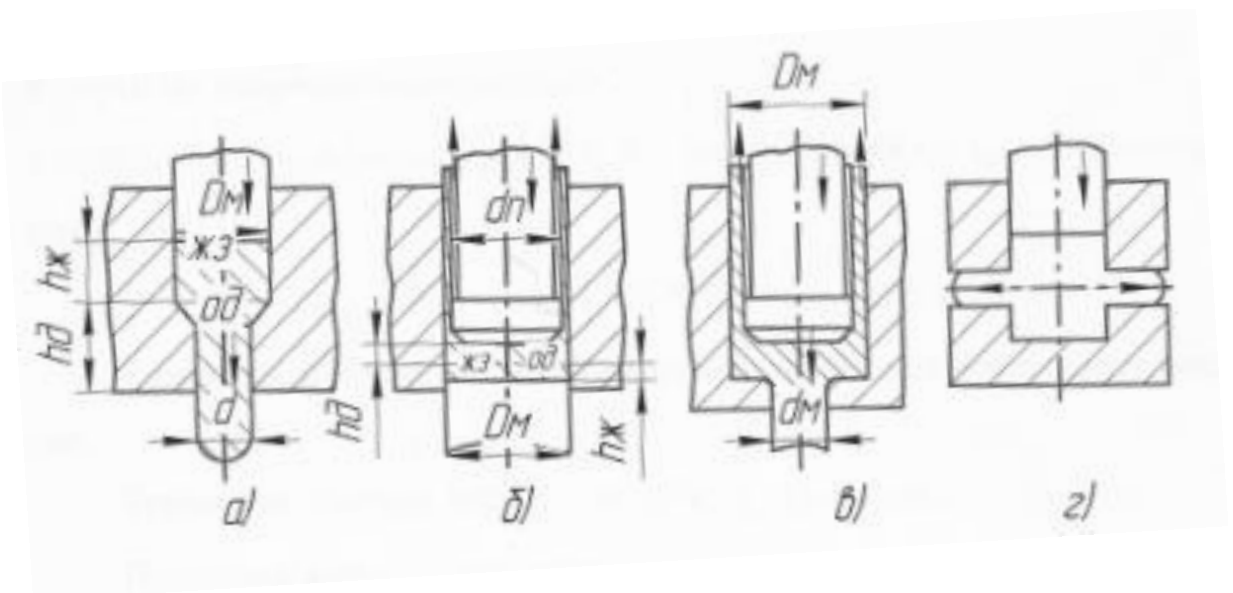


Рисунок 1.2 – Схеми процесу видавлювання

Сфера застосування. Виробництво ступінчастих суцільних і порожнистих штампованих заготовок і деталей з простим і фасонним поперечним перерізом (болтів, гайок, ступінчастих валів, деталей з шліцами і подовжніми канавками, шестерні, деталі з наскрізною і глухою порожниною).

На рисунку 1.2б - схема процесу зворотного видавлювання. Застосовується під час виробництва порожнистих склянок, що мають різну форму поперечних перерізів.

На рисунку 1.2в - схема процесу комбінованого видавлювання, представляє комбінацію зворотного і прямого видавлювання, дозволяє отримувати складні деталі, що є комбінацією елементів деталей типу склянок і елементів деталей типу стержнів.

На рисунку 1.2г - схема процесу радіального (поперечного, бічного) видавлювання. Застосовується під час виробництва хрестовин, заготовок для кранів газових плит і інших деталей.

Процеси видавлювання прийнято умовно ділити на чотири послідовні стадії.

Перша стадія характеризується осаджуванням заготовки до повного заповнення об'єму між пуансоном і матрицею, що супроводжується зміцненням металу.

Друга стадія відповідає початку витікання металу в проміжок між пуансоном і матрицею. На цій стадії формується осередок деформації (дивись рисунок 1.2а,б). Його форма і розміри визначаються законом найменшого опору і залежать від форми інструменту. До моменту закінчення другої стадії процесу осередок деформації стабілізується за формою і розмірам. Зусилля деформації на другій стадії швидко наростає до деякого максимуму.

Третя стадія відноситься до подальшого видавлювання, при якому спостерігається незмінність величини зусилля видавлювання, процес протече при незмінних розмірах форми і висоти вогнища деформації h_d . Третю стадію видавлювання зазвичай називають стаціонарною. Вона триває до тих пір, поки висота жорсткої зони $h_{ж} = h - h_d$ не стане рівною нулю, тобто доки осередок деформації не охопить увесь об'єм заготовки, розташований між пуансоном дном матриці (чи виштовхувачем). З цієї миті починається четверта завершальна нестаціонарна стадія видавлювання. Об'єм металу і

контактна поверхня в зоні деформації зменшуються. Тому зусилля деформації зменшується. При зменшенні товщини дна "h" зміцнюється матеріал. У зв'язку з цим зусилля деформації починає різко збільшуватися (дивись рисунок 1.3).

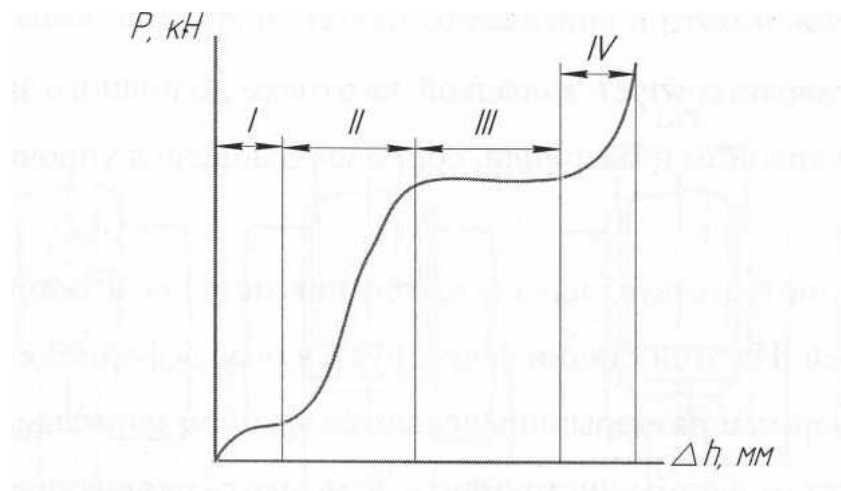


Рисунок 1.3 – Графік зусилля деформації при видавлюванні

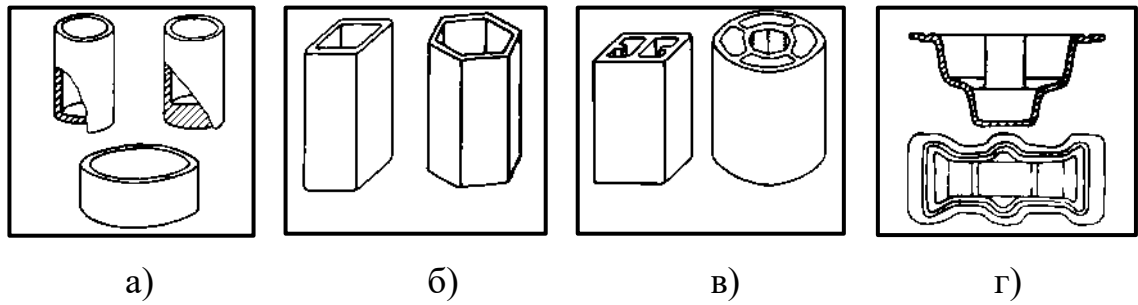
Деформація заготовки відбувається якщо висота заготовки більше глибини осередка пластичної деформації h_d . Коли $h_3 < h_d$, то зусилля опору деформації безперервно змінюється на всій ділянці переміщення пуансона. Щоб в подальшому викладі уникнути застосування довгих найменувань і уточнювальних пояснень умовимося: заготовки, що деформуються за першою схемою (із стаціонарною стадією), називатимемо високими, а заготовки, що деформуються за другою схемою низькими.

Холодне штампування класифікують таким чином:

- а) складність форми;
- б) габаритні розміри;
- в) спосіб виготовлення.

За формою порожнисті вироби можна поділити на такі групи (рисунок 1.4).

Порожністі вироби



а) циліндричні; б) призматичні; в) призматичні з ребрами і перегородками;
г) вироби складної форми.

Рисунок 1.4 – Класифікація порожнистих виробів.

Перша група - вироби циліндричної форми.

Друга група - вироби, що мають в плані форму багатогранника.

Третя група - вироби з ребрами або перегородками.

Четверта група - інші вироби складної форми.

Найбільш розповсюджені в виробництві вироби першої групи.

Переваги і недоліки холодного видавлювання

При видавлюванні підвищується точність виробу і майже виключається механічна обробка. Але під час видавлювання необхідні великі зусилля, які більше ніж при гарячому штампуванні. Холодне видавлювання є найбільш економічним процесом. Коефіцієнт використання металу (КВМ) досягає 90 - 98%. Точність розмірів деталей - 7-8 квалітет. Чистота поверхні - 8-9 клас. Продуктивність праці вища в 10-15 разів за обробку різанням.

Видавлювання скорочує підготовку виробництва. Перевагою видавлювання є можливість отримання деформації заготовки до 99%. Зміцнення дозволяє підвищити опір втоми і віброміцність.

Холодне видавлювання, в порівнянні з іншими способами виготовлення деталей, дозволяє отримувати значний економічний ефект (дивись таблицю. 1.1).

Таблиця 1.1. Ефективність холодного видавлювання в порівнянні з іншими способами

Способи виготовлення деталей	Середній % економії при ХВ в порівнянні з іншими способами виготовлення деталей		
	на витраті металу	на трудомісткості	на собівартості
Механічна обробка з прокату	40-90	30-65	20-75
Відливання з подальшою механічною обробкою	10-35	10-20	15-35
Гаряче штампування з подальшою механічною обробкою	14-45	20-35	15-40

Недоліком видавлювання є питомі навантаження до 250м - 280 кг/ мм², що обмежує використання холодного видавлювання.

1.2 Класифікація деталей за технологічністю

Технологічність, тобто практична можливість і техніко-економічна доцільність виготовлення заготовки або готової деталі холодним видавлюванням, залежить від сукупності ряду чинників, яких належать:

- 1) кількість формозмінних операцій і їх характер; наявність проміжної термообробки;

- 2) конструкція і умови роботи інструменту;
- 3) технологічних вимоги до устаткування;
- 4) скорочення витрати металу, зменшення трудомісткості, підвищення якості в порівнянні з обробкою різанням або іншим вживаним способом;
- 5) необхідність і об'єм дороблювальних операцій обробкою різанням, а також іншими методами обробки;
- 6) об'єм і ритмічність випуску;
- 7) умов механізації і автоматизації при виробництві заготовок, при штампуванні і подальших дороблювальних операціях (завантаження, вивантаження, перенесення з позиції на позицію і тому подібне);
- 8) заданих показників якості поверхні, точність розмірів, структури і механічних властивостей.

Основними показниками технологічності деталі є: форма, розміри і їх співвідношення, а також штампуємість початкового матеріалу. Зазвичай прийнято класифікувати деталі по геометричній формі, як найбільш простій і наочній ознаці. Задана форма заготовки або деталі робить вирішальний вплив на вибір маршруту формозмінення і його трудомісткість; кінематику руху інструменту і металу; конструкцію і працездатність штампу.

Класифікація, приведена в таблицю. 1.2, охоплює основну частину заготовок і деталей, задана форма яких може бути отримана холодним видавлюванням. Згідно цієї класифікації деталі залежно від форми розділені на вісім груп, кожна з яких розділена на три підгрупи.

Складність виготовлення, як правило, збільшується у міру просування зліва направо і зверху вниз.

По зовнішніх розмірах поперечного перерізу деталі можна розділити на наступні основні групи [5], дивись таблицю 1.2:

- 1) дуже дрібні D до 2 - 3 мм;
- 2) дрібні, D от 2 - 3 до 10 мм;

- 3) середні, D от 10 до 50 мм;
- 4) великі, D от 50 до 100 мм;
- 5) D більше 100 мм.

Таблиця 1.2. Класифікація деталей за геометричною формою

№ групи	Підгрупи			№ групи	Підгрупи		
	А	Б	В		А	Б	В
1				5			
2				6			
3				7			
4				8			

Кожна з цих груп може бути розділена на підгрупи залежно від відношення довжини до діаметру [1 - $L/D < 0,5$; 2 - від 0,5 до 1,0; 3 - L/D від 1 до 3; 4 - L/D від 3 до 8; 5 - $L/D > 8$ (\sim до 30)], наявності і розмірів

порожнини

[1 – $h/d < 0,5$; 2 – h/d от 0,5 до 1,0; 3 – h/d от 1,0 до 2,5; 4 – h/d от 2,5 до 4;
5 – $h/d > 4$

Основним показником технологічності є також штампуємість матеріалу деталі. Необхідно відмітити, що, незважаючи на ряд фундаментальних робіт в області теорії обробки металів тиском в цілому, в теорії окремих видів обробки поняття оброблюваності, зокрема штампуємість, не є такими, що строго визначилися. При холодному видавлюванні, ґрунтованому на різних способах пресування, має місце, у більшості випадків, однойменне (усебічне) нерівномірне стискування.

Процес характеризується значним підвищенням гідростатичного тиску, а, отже, за інших рівних умов, підвищенням опору деформації і пластичності в порівнянні з лінійним розтягуванням і лінійним стискуванням. Опір деформації, стосовно холодного видавлювання, є одним з основних критеріїв оцінки штампуємість. При холодному видавлюванні сплавів зі зниженою пластичністю (дуралюміні, сплави типу В95, бронзи, легована латунь та ін.), основним обмеженням процесу може явитися пластичність і характер руйнування. Класифікація металів і сплавів за штампуємість при холодному видавлюванні приведена в таблиці 1.3, дані якої необхідно розглядати спільно з схемою видавлювання (рисунок 1.1) і геометрією форми отримуваної деталі дивися таблицю. 1.2. При холодному видавлюванні максимальна міра деформації залежить від форми робочих частин інструменту, температурно-швидкісних чинників деформації.

Як видно з таблиці 1.3 холодному витискуванню можуть бути піддані не все метала. Добре видавлюються сталі, плинність, що має низьку межу, рисою схильністю до зміцнення і необхідною пластичністю. видавлювання їх зазвичай роблять за декілька переходів при різних мірах обтискання із застосуванням проміжного відпалу.

Таблиця 1.3. класифікація металів і сплавів за штампуемості при
ХОЛОДНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ.

№ груп	Марка сплаву або його хімічний склад (в порядку погіршення штампуемості в кожній групі)	№ підгруп	Видавлювання - ϵ в %			
			Пряме суцільного стержня	Пряме порожнистого стержня	Зворотне порожнистого стержня	Поперечне (радіальні)
1	Алюміній і його сплави: АО	1	95 (98)	90 (95)	90 (98)	-
	АД; АД1; АМ ₄ ; АМ _Г	2	90 (95)	85 (90)	85 (90)	-
	Д1; АМ _Г 5	3	80 (85)	75 (80)	75 (80)	-
	В95	4	-(60)	-(50)	-(50)	-
2	Мідь і її сплави: М1; М2; М3; Л90	1	85(90)	80(85)	80(85)	-
	Л62; Л68; Л70; БрА5	2	75(80)	70(75)	70(75)	-
	МН19; МНЦ15-20	3	75(85)	70(80)	70(80)	-
3	Марка сталі: 05кп; 05	1	75(90)	75(85)	70(80)	60(70)
4	08кп; 08; Юкп; 10	1	70(80)	65(75)	60(75)	55(65)
	12кп; 15кп; 15; 18	2	65(75)	60(75)	60(70)	50(60)
5	20кп, 20, 25, 30, 15Х, 20Х	1	65(75)	60(70)	55(65)	45(50)
	25, 15Г, 15Х, 20Х, 35	2	60(70)	55(65)	50(60)	40(50)
	30, 20Г, 40, 45, 30Х, 35Х, 15ХМ	3	60(70)	50(60)	50(60)	-(40)
6	35, 40, 25Г, 30, 35Х, 38ХА, 35Г2	1	50(65)	45(55)	40(50)	-
	18ХГ, 30ХМ, 18ХТГ, 40Х, 45Х	2	40(65)	40(50)	-	-
	20ХН, 12ХНЗА, 18ХГН	3	40(60)	ПГ	-	
7	45, 50, 30Г, 20ХГСА	1	40(55)	ПГ(40)	-	
	35Г, 40Г, 30ХГСА	2	40(55)	ПГ(40)	-	
8	50ХН, 20ХНЗА, 30ХГНА	2	35(50)	ПГ	ПГ	
	25Х2Н4МА	3	35(50)	ПГ	ПГ	
9	08Х13, 12Х13, 20Х13	1	35(40)	ПГ	ПГ	
	08Х18Н10, 12Х18Н9	2	ПГ(40)	ПГ	ПГ	

Примітка. ПГ - напівгаряче видавлювання, в дужках дані гранично допустимі величини

На здатність деталі до видавлювання істотно впливає вміст вуглецю. При збільшенні вмісту вуглецю в сталі на 0,1% росте опір деформації на 10-20 кг/мм² (100 - 200 МПа). Легуючі елементи і домішки також значно впливають на опір деформації. По мірі впливу вони розташовуються в наступному порядку (рис. 25) : кремній, марганець, алюміній, молібден, нікель, ванадій, вольфрам, хром.

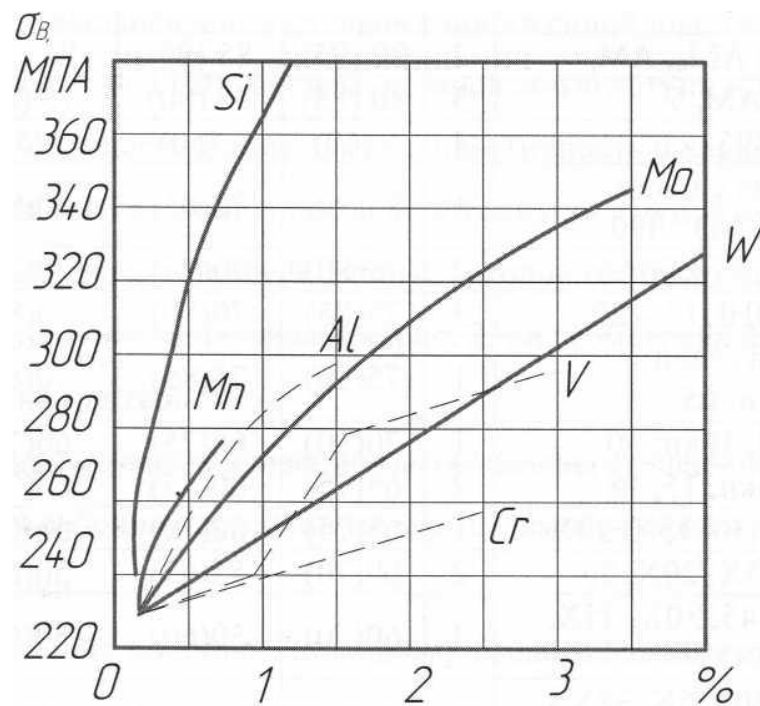


Рисунок 1.4 – Вплив різних елементів на тимчасовий опір

Початкова структура має бути, як правило, дрібнозернистою і рівномірною. Застосування для холодного видавлювання звичайної якості з хімічним складом і механічними властивостями по ГОСТ 1050-74, ГОСТ 4543-71 може привести до масового браку по тріщинах. Тому ГОСТом 10702-78 передбачено виготовлення спеціальних сталей для холодного видавлювання з пониженим вмістом кремнію, сірки, фосфору, нікелю, міді. Макроструктура сталі має бути однорідною, без усадкових рихлостей,

розшарувань, неметалічних включення, пористості, газових пухирів, тріщин, ліквіаційних зон, раковин, флоксів і інших дефектів, видимих неозброєним оком на поперечних темплетях після травлення.

Алюмінієвий сплав - сплав на основі алюмінію - це алюміній, який:

- містить один або більше легуючих елементів, а також деякі домішки;
- алюміній домінує за масою кожного з інших хімічних елементів;
- зміст алюмінію не перевищує 99,00%.

Легування в алюмінієвих сплавах

Найбільш важливими легованими елементами, які застосовують для перетворення алюмінію в сплави з особливими властивостями - і деформуються, і ливарні (звичайно, в різних кількостях) - є:

- кремній (Si),
- магній (Mg),
- марганець (Mn),
- мідь (Cu) і
- цинк (Zn).

Вплив, наприклад, вмісту міді в алюмінієвому сплаві на його механічні властивості показано на рисунку 1.5.

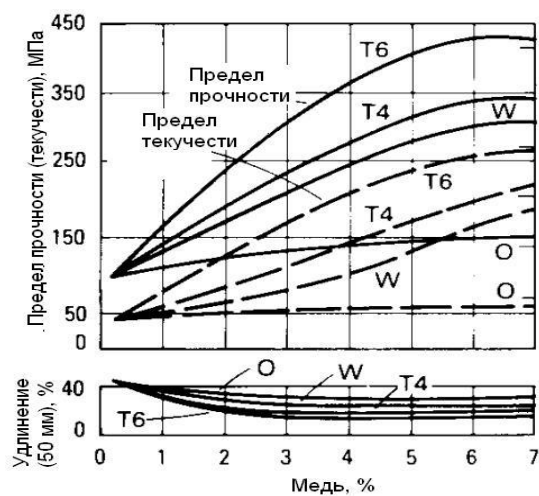


Рисунок 1.5 – Вплив легування алюмінієвого сплаву міддю на механічні властивості

Деформовані алюмінієві сплави містять приблизно 0,1 - 0,4% (по масі) заліза (Fe). Залізо зазвичай розглядається як небажана домішка. Його зміст залежить від якості вихідної руди (бокситів) і технології електролітичного відновлення. Іноді легування залізом застосовують для отримання особливих властивостей матеріалу, наприклад, для виготовлення алюмінієвої фольги.

Класифікація алюмінієвих сплавів

Класифікацію алюмінієвих сплавів - сплавів алюмінію - виробляють за різними критеріями, в тому числі:

- за методом обробки - ливарні і деформовані
- за механізмом зміцнення - термічно зміцнюється і деформаційно зміцнюється
- за основними легованими елементами

Дві категорії алюмінієвих сплавів

- ливарні
- деформовані

Ливарний алюмінієвий сплав - сплав алюмінію, який призначений в першу чергу для виробництва виливків.

Деформований алюмінієвий сплав - сплав алюмінію, який призначений в першу чергу для виробництва алюмінієвих виробів гарячої та / або холодної обробкою тиском.

Деформовані сплави

Деформовані алюмінієві сплави спочатку розливають в злитки (круглі або прямокутні), а потім обробляють за різними технологіями обробки тиском - гарячої і холодної - до надання їм потрібної форми:

- прокаткою - для отримання листів і фольги;
- пресуванням - для отримання профілів, труб і прутків;
- формуванням - для отримання більш складних форм з качаних або пресованих напівфабрикатів;

- куванням для отримання складних форм з підвищеними механічними властивостями, а також:

- волочінням, штампуванням, висадкою, витяжкою, розкочуванням, роздачею, гнучкою і т. п.

Популярні деформовані алюмінієві сплави серії бxxx, які застосовують для виробництва пресованих алюмінієвих профілів, представлені нижче на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Основні алюмінієві сплави серії бxxx

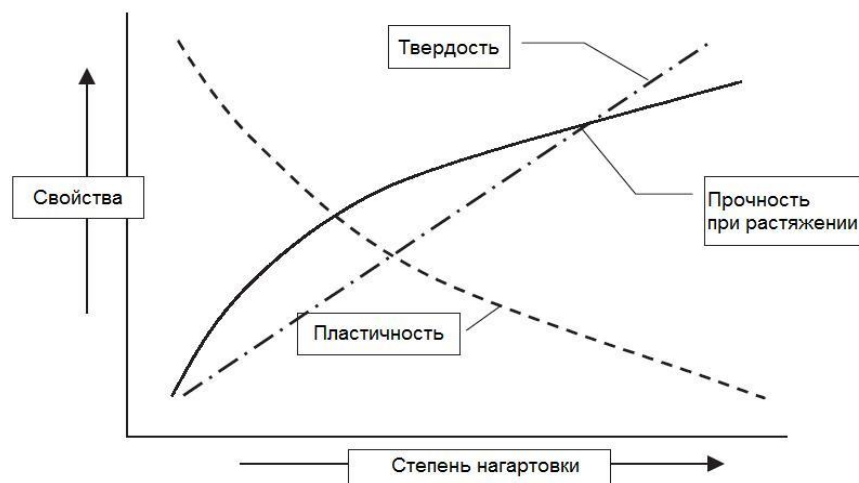


Рисунок 1.7 – Вплив холодної пластичної обробки - нагартування - на міцність, твердість і пластичність алюмінієвих сплавів

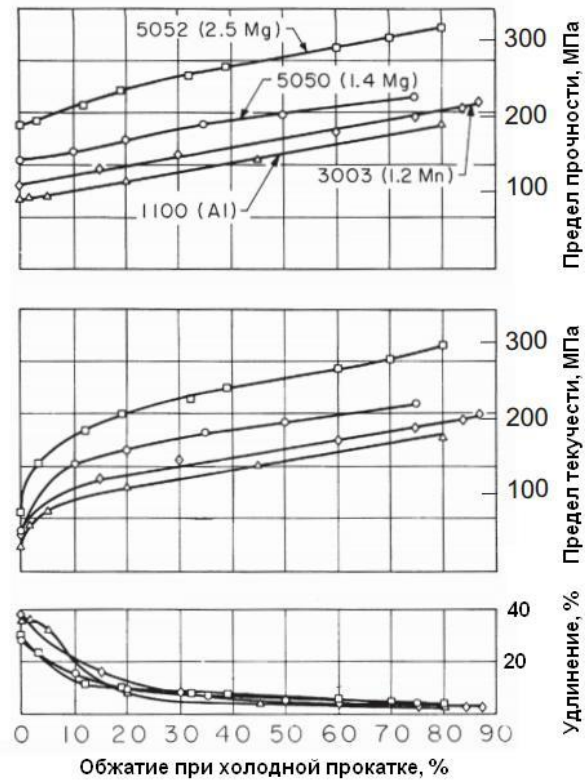


Рисунок 1.8 – Криві нагартовки (деформаційного зміцнення) термічно незміцнюючих алюмінієвих сплавів

Нелегований алюміній має межу міцності на розтягання близько 90 МПа. Однак, невеликими добавками легуючих елементів, таких, як мідь, магній, марганець, кремній, цинк, не великого кількості деяких інших елементів отримують алюмінієві сплави.

Алюмінієві сплави створюють для того, щоб отримати алюміній зі спеціальними властивостями, наприклад, з більш високими механічними властивостями (рисунки 1.9 і 1.10).



Рисунок 1.9 – Рейтинг міцності деформованих алюмінієвих сплавів

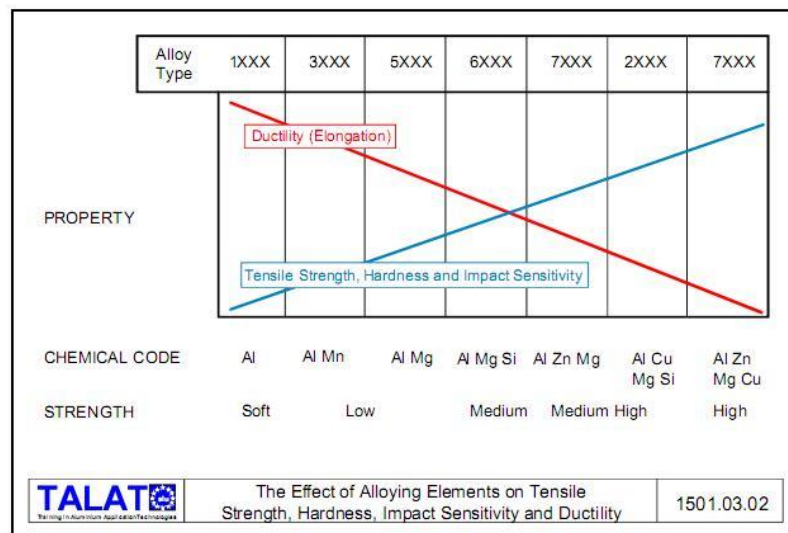


Рисунок 1.10 – Вплив легуючих елементів на міцність при розтягуванні, твердість, чутливість до удару і пластичність

При виборі алюмінієвого сплаву як конструкційний матеріал, головним чинником є забезпечення міцності виготовляється з нього конструкційного елемента. Однак конструкційну міцність різних типів елементів забезпечують різні властивості одного і того ж конструкційний матеріал.

Наприклад, міцність «товстої» колони буде залежати в основному від межі текучості металу, тоді як міцність «тонкої» колони буде залежати головним чином від модуля пружності матеріалу. Оскільки межа плинності

алюмінієвих сплавів нерідко можна порівняти з межами плинності рядових конструкційних сталей, то алюміній міг би цілком позмагатися з ними для «товстих» колон. З іншого боку, оскільки модуль пружності алюмінію і його сплавів становить всього лише десь третина від модуля пружності сталей, то алюміній навряд чи може змагатися зі сталями в «тонких» колонах.

Міцність, однак, не є єдиною робочою характеристикою конструкції або виробу. Такі додаткові фактори, як корозійна стійкість, легкість обробки, жорсткість (модуль пружності), пластичне руйнування (відносне подовження), вага (щільність), втомна міцність, а також вартість, повинні в тій чи іншій мірі враховуватися при виборі потрібного конструкційний матеріал.

Часто вартість матеріалу є критичним фактором. Однак порівняння алюмінієвих сплавів і сталей на основі вартості одиниці маси або обсягу може ввести в оману, тому що вони мають різні міцності, щільності та інші властивості.

Якщо потрібні профілі зі складними поперечними перетинами, як, наприклад, в огорожувальних фасадних конструкціях, то в таких випадках, вартість сталевго елемента набагато більше, ніж вартість його матеріалу. Справа в тому, що для виготовлення цього елемента зі сталевгої заготовки її треба механічно обробляти, піддавати холодному штампуванню або згинанню, а, може бути, і застосовувати зварювання. У той же час вартість виготовлення алюмінієвого профілю становить лише рису частку вартості «сирого» алюмінію.

Через високу вартість нержавіючих сталей вони застосовуються тільки, якщо вага елемента або конструкції не має значення, а важливі зовнішній вигляд і зварюваність. Зазвичай, коли нержавіюча сталь застосовується замість алюмінію, то причина часто тільки одна - обмеження алюмінієвих сплавів зі зварювання.

Алюмінієві сплави пропонують інженерам-конструкторам широкий вибір матеріалів. Кожен сплав має свої особливі характеристики, які служать

для забезпечення заданих властивостей. Коли корозійна стійкість, висока відношення міцності до ваги і легкість виготовлення є суттєвими конструкційними параметрами, тоді алюмінієві сплави заслуговують серйозного розгляду.

У таблицях 1.4 і 1.5 представлені деформуються алюмінієві сплави, які Євро коду 9 рекомендує і дозволяє для застосування в будівлях і спорудах [35].

Табл. 1.4 – Термічно не зміцнювальні алюмінієві сплави по євро коду 9

EN 573-3 EN AW-	Формула сплава	ГОСТ 4784	Основные легирующие элементы
3004	Al Mn1Mg1	Д12	1,0-1,5 Mn; 0,8-1,3 Mg
3005	Al Mn1Mg0,5	ММ	1,0-1,5 Mn; 0,20-0,6 Mg
3103	Al Mn1	-	0,9-1,5 Mn; 0,10 Zr+Ti
5005	Al Mg1	АМг1	0,50-1,1 Mg
5052	Al Mg2,5	АМг2,5	2,2-2,8 Mg; 0,15-0,35 Cr
5049	Mg2Mn0,8	-	1,6-2,5 Mg; 0,50-1,1 Mn
5454	Al Mg3Mn	-	2,4-3,0 Mg; 0,50-1,0 Mn; 0,05-0,20 Cr
5754	Al Mg3	-	2,6-3,6 Mg; 0,10-0,6 Mn+Cr
5083	Al Mg4,5Mn0,7	АМг4,5	4,0-4,9 Mg; 0,40-1,0 Mn; 0,05-0,25 Cr
8011A	Al FeSi	-	0,50-1,0 Fe; 0,40-0,8 Si

Таблиця 1.5 – Термічно не зміцнювальні алюмінієві сплави по євро коду 9

EN 573-3 EN AW-	Формула сплава	ГОСТ 4784	Основные легирующие элементы, %
6060	Al MgSi	АД31*	0,30-0,6 Si; 0,35-0,6 Mg
6061	Al Mg1SiCu	АД33	0,40-0,8 Si; 0,40-0,7 Mg; 0,15-0,40 Cu
6063	Al Mg0,7Si	АД31	0,20-0,6 Si; 0,45-0,9 Mg
6005A	Al SiMg	-	0,50-0,9 Si; 0,8-1,2 Mg; 0,12-0,50 Mn+Cr
6106	Al MgSiMn	-	0,30-0,6 Si; 0,40-0,8 Mg; 0,05-0,20 Mn
6082	Al Si1MgMn	АД35	0,7-1,3 Si; 0,8-1,2 Mg; 0,4-1,0 Mn
7020	Al Zn4,5Mg1	~ 1915	4,0-4,5 Zn; 1,0-1,4 Mg; 0,05-0,50 Mn; 0,10-0,35 Cr; 0,08-0,20 Zr; 0,08-0,25 Zr+Ti

* при Mg < 0.6 %

1.3 Вимоги до заготовок для холодного видавлювання

До заготовок для холодного видавлювання пред'являються підвищені вимоги по точності, геометричній формі, хімічному складу і структурі. Форму і розміри заготовок вибирають такими, щоб вони забезпечили отримання заданих форм і розмірів деталі при найменшому числі переходів і зусиль деформації. Початковий профіль і стан сталі вибирають по діючих ГОСТах і ТУ з урахуванням економічних міркувань, технологічності і вимог до якості. Застосовують прутки, труби, смуги, періодичний прокат, проволікатиму. Найдоцільніше застосовувати прутки і дріт. Ці види прокату мають низьку вартість і випускаються в широкому асортименті по розмірах, точності, стані (гарячекатані, холоднокатані, такі, що калібруються, термооброблені і тому подібне), хімічному складі. Трубні профілі не мають широкого застосування на заводах в якості початкової заготовки під видавлювання зважаючи на високу вартість і вузький сортамент труб, що випускається металургійною промисловістю.

Листи і смуги застосовують для отримання низьких заготовок з відношенням висоти до діаметру менше 0,3. отримання таких заготовок на пилах і токарних автоматах пов'язане з великим відносним відходом металу в стружку.

Об'єм штампованої заготовки визначається по кресленню з урахуванням припусків і напуску для дороблювальних операцій. При складній формі штамповану заготівлю ділять на окремі елементи, підсумовуванням яких отримують загальний об'єм. Об'єм технологічних відходів (в результаті пробивки отворів, обрізання облою і задилок, зачистки фасок і так далі) визначаються по кресленнях заготовок по переходах на підставі маршрутної технології. Для визначення розрахункового об'єму початкової заготовки суму об'ємів елементів штампованої заготовки і технологічних відходів збільшують на 3 - 7% залежно від складності форми

деталі і технологічного процесу її виготовлення. Це необхідно для обліку втрат металу при термічній, електрохімічній і хімічній обробці, а також неточностей розрахунку. Необхідний об'єм уточнюється зміною довжини (висоти) заготовки. Після визначення об'єму вибирають форму і розміри перерізи, по яких розраховують висоту заготовки.

Форми і розміри поперечного перерізу заготовки задаються технологією штампування. Її приймають такою, щоб забезпечувалася необхідна кінематика течії металу при найкоротшому шляху формозмінення, а отже, вийшли задані форми і розміри з найменшим числом переходів і навантаженнями на інструмент. Форму перерізу заготовки зазвичай задають круглій або відповідній конфігурації перерізу після першого переходу. Для отримання порожнистих деталей видавлюванням використовують суцільні заготовки: для круглих і шестигранних - круглі і шестигранні, для інших - форма перерізу заготовок повинна відповідати їх конфігурації (квадрату, прямокутнику і так далі). для прямого видавлювання і редукування суцільних деталей застосовують суцільні заготовки.

Заготовка для видавлювання повинна мати строго перпендикулярні торці і забезпечити рівномірний проміжок між бічними стінками матриці і заготівлею в межах 0,05 - 0,2 мм При видавлюванні коротких заготовок цей проміжок може бути збільшений до 0,4...0,5 мм При прямому видавлюванні порожнистих заготовок має бути передбачений, крім того, проміжок рівний 0,1. .0,2 мм по внутрішньому діаметру між заготівлею і оправлянням.

На якість заготовки значно впливає спосіб розрізання похилу. Існуючі способи розрізання забезпечують необхідну якість заготовок, проте у кожному конкретному випадку спосіб розрізання прутка на заготовки слід вибирати з урахуванням економічних показників і можливостей заводу. Прутки, дріт і труби можуть розрізати на заготовки в штампах, на спеціалізованих ножицях і пресах, пресах-автоматах; прутки і труби - на дискових і інших механічних пилах, на токарних верстатах. Найбільш продуктивний і економічний відрізок заготовок в штампі. Собівартість

відрізку в штампі в порівнянні з розрізанням на дисковій пилі або токарному багатопшпіндельному верстаті нижче в 4 - 5 разів. Заготовки з плоского прокату вирубують в штампах чистового вирубання на пресах.

1.4 Підбір мастил для видавлювання

Використання мастила дає зменшення контакту між заготовкою та інструментом що дає можливість зменшити коефіцієнт контактного тертя. Мастило при пластичній деформації призводить до руйнування мастильного шару і при при холодному деформуванні виникає тепловий ефект пластичної деформації. Мастило відновлює захисний шар в місцях його руйнування. На це впливає його в'язкість в залежності від тиску і температури.

На теперішній час вибір мастила для видавлювання кольорових металів і сплавів не проблема. Частіше це залежить від форми інструменту. Коефіцієнт тертя пов'язан зі станом поверхонь, якістю мастила і так далі. На коефіцієнт тертя істотно впливає тиск. При збільшенні тиску коефіцієнт тертя падає.

Холодне видавлювання характеризується високим тиском і значними силами тертя між заготовкою і інструментом. З метою зниження контактного тертя застосовують різні покриття для заготовок і інструменту і різні мастильні матеріали. До мастильних матеріалів для холодного видавлювання пред'являють граничні вимоги. Вони повинні мати здатність зменшувати коефіцієнт зовнішнього тертя μ , виключати задири на поверхні металу, що деформується, і його налипання на інструмент, мати високу адгезію до поверхні металу, що деформується, високою пластичністю (поверхня ковзання повинна проходити усередині мастильного шару), високою термостійкістю і теплоємністю. Вимога високої термостійкості і

теплоємності диктується тим, що при видавлюванні, внаслідок теплового ефекту, метал заготовки нагрівається до 250 - 400°C.

Для виключення контакту заготовки і інструменту товщина проміжного шару мастильного матеріалу має бути не менше 0,1 мкм. Товщина шару мастильного матеріалу, його здатність витримувати великі деформації без руйнування, окрім властивостей самого мастильного матеріалу, залежать від фізико-хімічної природи поверхні контакту. З метою збільшення адгезії (прилипання) мастильного матеріалу до металу заготовки поверхня останньою перед видавлюванням покривають підмастильним шаром. Утворення підмастильного шару - носія мастильного матеріалу, здійснюється зазвичай шляхом хімічної або електрохімічної обробки поверхні заготовки.

Мастила на біополімерній основі розроблені спеціально для використання в процесах металообробки. Вони мають унікальний компонент, який підвищує в'язкість рідини зі збільшенням нагріву і тиску при штампуванні та обробленні металу тиском. Високотехнологічні продукти забезпечують міцний в'язкий захисний плівковий бар'єр і таким чином дозволяють підвищувати продуктивність інструменту, термін його служби і знижувати кількість браку.

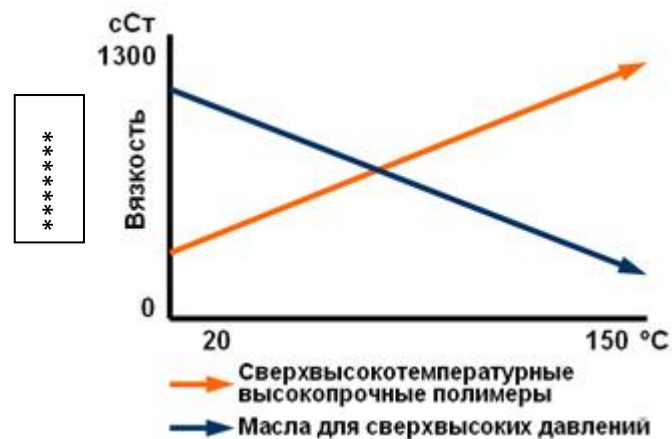


Рисунок 1.11 – Графік відмінності між біополімерними мастилами

На графіку показано відмінність між біополімерними мастилами (помаранчева стрілка) і традиційними маслами для обробки металів тиском (синя стрілка). Для складних процесів обробки металів тиском при використанні традиційних масел потрібно або дуже товстий шар, або масла зі збільшеною в'язкістю.

Через підвищення температури в'язкість масла зменшується, шар мастила стоншується, тому необхідний спочатку більш товстий шар масла, щоб у критичній точці процесу було досить мастила. Коли процес завершений, в'язкість масла повертається до вихідному показнику, і отримана деталь залишається покритою товстим шаром масла, для видалення якого необхідні агресивні миючі засоби. Для цих мастил не потрібно спочатку більш товстого шару, тому що при досягненні екстранизких температур високоміцні полімери ущільнюються і утворюють на поверхні металу захисну плівку, що зменшує тертя при деформації металу. Високоміцні полімери створюють захисний бар'єр, і штампування відбувається без тріщин, задирок або налипань металу на штамп.

Мастила на базі високоміцних полімерів, що створюють тонкі плівки, замінюють більшість традиційних хлоровмісних масел і дають прекрасні результати. Мастильні матеріали мають низьку в'язкість при нанесенні, і тому добре змочують поверхню. У процесі ж обробки - формування поверхні, температура підвищується, і полімери, що знаходяться в мастилі, стають більш густими, в'язкими і липкими. Високоміцні полімери фактично є "самонавідними" і прикріплюються до нагрітого металу, створюючи міцні бар'єрні плівки, що знижують тертя. Це дозволяє формувати інструменту (штампу) розтягувати і формувати метал без задирок або налипань металу на штамп навіть під час найскладніших операцій. Ці рідини - екологічно чисті рішення, які забезпечують чисте виробництво завдяки скороченню кількості часу. Cindolube 3130 , 3515, 4683 - Спеціальні продукти для обробки алюмінію.

Він містить спеціальні ND присадки, розроблені для волочіння алюмінію і операцій штампування, що вимагають різного змазування поверхонь. Більш того, плівка, утворена ND присадками, має низький коефіцієнт тертя під час волочіння алюмінію, ND присадки значно скорочують тертя і полегшують процедуру волочіння. Не містять хлор, фосфор, сірку.

Перевага продукту в тому, що він продовжує термін експлуатації волочильних деталей і може збільшити швидкість волочіння, або ж полегшити важку операцію. Заготовки з алюмінієвих сплавів для отримання шару носія мастильного матеріалу піддають анодуванню, який полягає в утворенні на поверхні металу плівки оксидів того ж металу при електролізі. Анодування алюмінієвих сплавів робиться в розчині сірчаної кислоти (190 - 200 г/л) при наступних режимах: щільність струму 0,8 - 1,0 А/дм²; напруга 11 - 12 В; відношення площ анода до катода 1-3; температура розчину 20 - 25°C; тривалість процесу 20 - 25 хв. Після анодування заготовки піддають просоченню технічним жиром, тваринним жиром, сумішшю бджолиного воску з машинною олією.

Основним недоліком прийнятих способів підготовки поверхонь є їх багатоопераційність і недостатня надійність покриттів при високих тисках і підвищених температурах. Ведуться пошуки нових способів покриттів і нових мастильних матеріалів.

1.5 Конструювання штампованих заготовок і деталей

Основні початкові дані при проектуванні переходів і конструюванні штампованої заготовки визначаються по кресленню деталі. У кресленні деталі закладена технологічність способу її виготовлення. При виготовленні пустотілих або ступінчастих деталей обробкою різанням велика частина матеріалу заготовки знімається у вигляді стружки і йде у відхід.

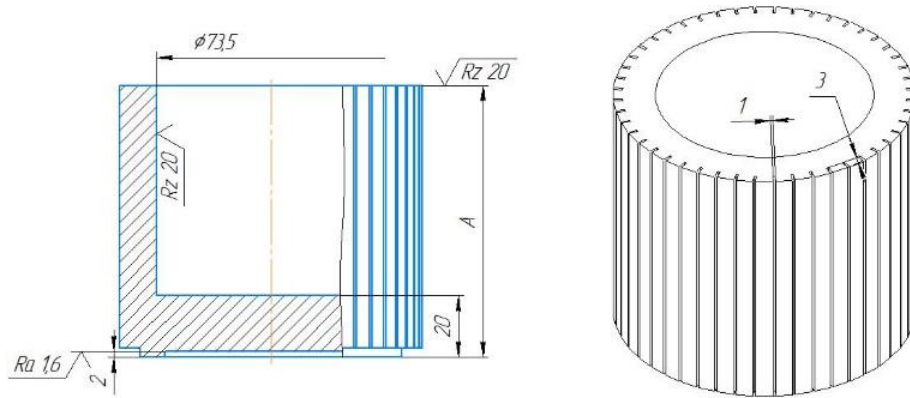
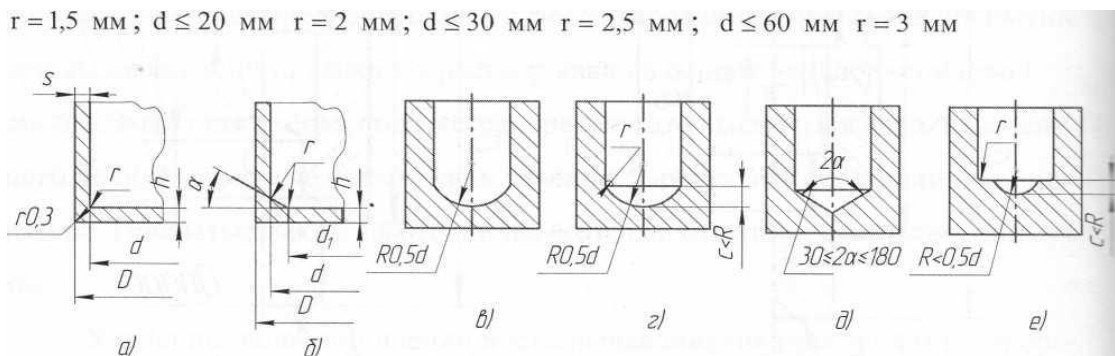


Рисунок 1.12 – Деталь після токарної обробки:

На кресленні деталі показують основні радіуси, що отримуються після обробки різанням. На кресленні заготовки передбачають розміри і допуск на них; на полі креслення вказують марку матеріалу згідно ДСТУ, вимоги до матеріалу (твердість), відхилення форми, вимоги до шорсткості поверхні, відомості про невказані на кресленні допуски, розміри, шорсткість поверхні і так далі, а також умови і методи контролю, маркування.

Форма донної частини і сполучення його із стінкою показані на рис. 1.13. При плоскому дні (рис.1.13а) мінімальний радіус сполучення донної частини і стінки знаходиться в прямій залежності від діаметру внутрішньої порожнини: при $d < 10$ мм



а - плоска поверхня; б - дно з кутом α і плоским майданчиком d_i ; в, г, е - сферичне дно; д - конічне дно

Рисунок. 1.13 – Контури порожнистих деталей

Виходячи з кінематики течії металу і умов роботи пуансона, дно порожнини рекомендується оформляти, як показано на рис. 1.13б. кут нахилу $\alpha = 3 - 27^\circ$. Відношення $d_1/d = 0,5$. Мінімальні радіуси переходів 1,5 мм.

Дно деталі може бути сферичним, конічним і у вигляді клину (рис. 1.13в-е).

Наявність сфери покращує умови течії, але зменшує стійкість пуансона при видавлюванні.

Шліці канавки, пази на зовнішній поверхні можуть мати різну форму (рис. 1.14). При $h < 2,5$ мм $r_1 > 0,5$ мм $r_2 > 0,3$ мм; при $h > 2,5$ мм $r_1 > 1$ мм і $r_2 > 0,3$ мм (рис. 1.14а).

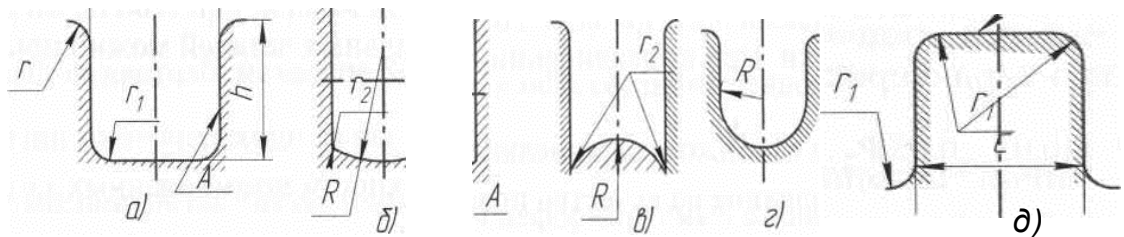


Рисунок - 1.14 – Контури деталей з канавками, шліцями і зубами

а - прямокутна канавка; б - увігнута западина; в - опукла западина; г - увігнуті бічні стінки; д - опуклі бічні стінки.

Поверхня Б може бути в усіх випадках увігнутої. Якщо поверхня Б має кривизну радіусу $R > 0,5C$, то $r_2 > 0,5$ мм (рис. 1.14б). Опуклість поверхні Б допускається до значення $R > 0,5C$, при цьому $r_2 > 1$ мм. Зовнішні виступи (рис. 1.14д) можуть мати профіль конічного і циліндричного зубчастого колеса з елементами поверхонь А і Б радіусами переходів аналогічно канавкам і шліцам (див. рис. 1.14 а-в).

Накопичений досвід впровадження холодного видавлювання показує, що деталі можуть мати допуски на розміри наступного порядку:

Кольорові метали \varnothing від 3 до 100 - допуск $\pm 0,03 \div 0,05$;

S від 0,05 і більше - допуск $\pm 0,03 \div 0,05$;

товщина фланця і дна від 0,2 і більше - допуск $\pm 0,05 \div 0,20$;

довжина деталі від 15 до $(5 \div 10)d$ -допуск $\pm 0,05 \div 0,1$.

Допуски на розміри залежать від нестабільності розміру видавленої деталі, визначуваної двома чинниками : пружною деформацією інструменту і пресу і зносом робочих поверхонь інструменту.

Зусилля видавлювання змінюється на величину ΔP із-за цілого ряду випадкових чинників (коливань твердості заготовки, нагріву і охолодження інструменту, відмінності режимів фосфатування і інших випадкових чинників.

Тому товщина фланця або дна змінюється в межах допуску:

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{c} \quad (1.1)$$

де c - жорсткість системи прес - штамп; при видавлюванні деталей можна прийняти $\Delta P = (0,03 - 0,05)P_d$.

Найбільший вплив на якість поверхні штампованих заготовок роблять: спорідненість металу, що деформується, і матеріалу інструменту; конструкція і якість поверхні робочих частин інструменту; спосіб і якість підготовки поверхні заготовки під штампування.

1.6 Вибір переходів

Зусилля видавлювання збільшується прямо пропорціональна міри деформації. Враховуючи високі питомі тиски, що виникають при холодному видавлюванні міру деформації слід обмежувати при видавлюванні кольорових металів 80% і 60%. У більшості випадків початкова для

видавлювання заготівля вимагає попереднього калібрування. Калібрування потрібне для отримання оптимальної форми заготовки, що забезпечує заповнення порожнини штампу при найменших навантаженнях на інструмент, а також усунення погрешностей форми початкової заготовки.

Отримана після калібрування заготівля може піддаватися подальшим формозмінним операціям без проміжного відпалу, якщо міра деформації при калібруванні не перевищувала 15%. Число переходів залежить від складності форми, штампованої металу і обсягу випуску. Можливість штампування в цьому переході визначається з допустимих навантажень на пуансон і мір деформації. Ефективний варіант видавлювання може бути розроблений у кожному конкретному випадку лише з урахуванням більшості чинників.

При проектуванні технології холодного видавлювання зазвичай застосовують два способи виконання процесу. Перший спосіб полягає в дробленні сумарної деформації по перерізу на декілька одиничних, другий - в послідовному отриманні різних частин об'єкта штампування. При дробленні сумарної деформації по перерізу міра деформації від відпалу визначається по рівнянню

$$\sum e_i = e_1 + e_2 + \dots + e_i \quad (1.2)$$

де e_1, e_2, \dots, e_i - логарифмічна міра деформації по переходах; i - число переходів.

Переклад величин e в ε і назад робиться по таблицях, наявних в довідковій літературі (згідно з рівнянням $e = \ln(1-\varepsilon)$).

Ступінчасті суцільні деталі можливо отримати редукуванням або видавлюванням. При редукуванні величина питомого і повного зусилля значно менша, ніж при видавлюванні. Міра деформації при редукуванні $\varepsilon = 0,15 + 0,33$. Утворення ступеня редукування може здійснюватися послідовно або спільно з обох кінців поковки з однаковою і різною мірою

деформації. При більш високих мірах деформації здійснено тільки видавлювання. При отриманні ступінчастих деталей по довжині поковки видавлюванням і редукуванням міра деформації по довжині поковки змінюється ступінчасто.

Початкову заготовлю (рис.1.15а) осаджують і калібрують (рис.1.15б), потім видавлюють склянку (рис.1.15в) зворотним способом і просікають дно (рис.1.15г). Порожниста заготовля відпалює до $HV < 130$, фосфатується і подається на останній перехід для прямого видавлювання зубів шестерні (рис. 1.15д). Після видавлювання робиться доопрацювання різанням (торцювання, зняття фаски, проточка канавки), цементація і шліфівка поверхні діаметром 32 мм.

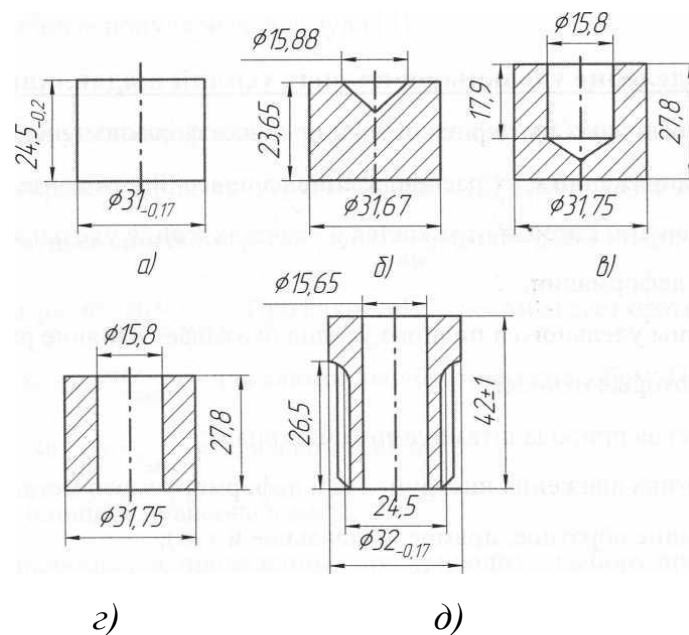


Рис. 1.15 – Переходи при видавлюванні шестерні.

Слід враховувати, що при великих мірах деформації ϵ - питомі зусилля видавлювання можуть досягати критичних величин, при яких відбувається руйнування робочого інструменту. Тому необхідно враховувати це.

Встановивши міру деформації, що допускається ϵ_d можна визначити

мінімально допустимі розміри напівфабрикатів, що отримуються холодним видавлюванням за один перехід, застосовуючи залежності:

при прямому видавлюванні

$$d_{\min} = D\sqrt{(1-\varepsilon_d)} \quad (1.3)$$

де D - діаметр заготовки; S - товщина стінки; d - діаметр видавленого стержня.

1.7 Визначення питомих і повних зусиль видавлювання

Основним критерієм формозмінення є величина напруги і їх розподіл на поверхні контакту металу з інструментом, яка відбивається в розрахунках у вигляді питомого і повного зусилля деформації.

На величини питомого і повного зусилля робить вплив ряд чинників, до числа яких відносять:

- 1) фізична природа штампованого матеріалу;
- 2) кінематика руху інструменту і матеріалу, що деформується (видавлювання зворотне, пряме, радіальне і так далі);
- 3) міра деформації при видавлюванні і її рівномірність;
- 4) умови тертя;
- 5) форма, розміри, якість деформувальних частин інструменту (матриці, пуансони, оправляння і так далі.);
- 6) тепловий ефект при деформації і його вплив на структуру металу, що деформується, і умови тертя;
- 7) швидкість деформації.

Окрім цього, у кожному окремому випадку необхідно враховувати

умови геометричної і фізико-хімічної подібності, масштабний і інші чинники. У зв'язку з цим рекомендується зіставити отримані розрахунком дані з результатами експериментальних вимірів, проведених в умовах, найбільш близьких до проєктованих.

Найбільш популярна формула [2]:

$$P = p \cdot F \quad (1.4)$$

де p - питоме зусилля видавлювання в $\text{кг}/\text{мм}^2$ або в МПа; вибирається по довідковій літературі. Наприклад [2] рекомендує для алюмінію зворотним способом $p = 80-120 \text{ кг}/\text{мм}^2$ (800 - 1200 МПа); прямим способом

$p = 40 - 80 \text{ кг}/\text{мм}^2$; Прозоров Л.В.[30] - рекомендує брати $p = 80 - 160 \text{ кг}/\text{мм}^2$ - для алюмінію зворотним способом; Пономарев О.И.[20] – $p = 140 - 170 \text{ кг}/\text{мм}^2$ - для алюмінію і так далі

F - площа пуансона в мм^2 .

Оленін Л.Д. [3] рекомендує питоме зусилля видавлювання розраховувати по формулі:

$$p = \sigma_s \left[\frac{D_0^2}{D^2} \ln R + \frac{H}{D} \left(1 + \frac{d}{D} \right) R \right] \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \mu \frac{D^3 - d^3}{D^2 H} \right) \quad (1.5)$$

де H - висота заготовки;

$R = \frac{D_0^2}{D_0^2 - D^2 + d^2}$ - показник міри деформації;

D_0 - зовнішній діаметр порожнистої склянки, заготовки;

D - внутрішній діаметр порожнистої склянки;

μ - коефіцієнт тертя;

d - діаметр стержня, отриманий при прямому видавлюванні.

Вважаючи у формулі (14) $D_0 = D$ можна отримати формулу для визначення питомого зусилля видавлювання "р" при прямому видавлюванні

$$p = \sigma_s \left[\ln \frac{D^2}{d^2} + \frac{H(D+d)}{d^2} \right] \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \mu \frac{D^3 - d^3}{D^2 H} \right) \quad (1.6)$$

Вважаючи, $d=0$ отримаємо формулу для визначення питомого зусилля видавлювання при зворотному способі:

$$p = \sigma_s \left[\frac{D_0^2}{D^2} \ln \frac{D_0^2}{D_0^2 - D^2} + \frac{H}{D} \cdot \frac{D_0^2}{D_0^2 - D^2} \right] \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \mu \frac{D}{H} \right) \quad (1.7)$$

Фаворский В.Е. [6] для зворотного видавлювання рекомендує формулу:

$$P = k_1 \sigma_b \left(2 + \frac{0,5 \mu D}{S} \right) \cdot F_n \quad (1.8)$$

де $k_1=1,2-1,5$ – коефіцієнт, що враховує вплив швидкості деформації

Губкин С.И. [6] рекомендує наступну формулу прямого видавлювання:

$$P = \left[\sigma_s \left(2 + \frac{4 \mu h}{D-d} + \frac{\mu D}{3h} \right) \right] \cdot F_n \quad (1.9)$$

де h - висота робочого поясочка матриці.

Прозоров Л.В. [6] для визначення питомого зусилля зворотного видавлювання пропонує формулу:

$$p = C\sigma_s \left(2 + \frac{4\mu h_n}{D-d} + \frac{\mu}{0,3} \right) \quad (1.10)$$

де $h_n = \sqrt{r(R-r)}$; D_n - діаметр пуансона; r - радіус пуансона; R - радіус матриці; D - діаметр матриці; d - діаметр пуансона.

$$C = \frac{D}{d}$$

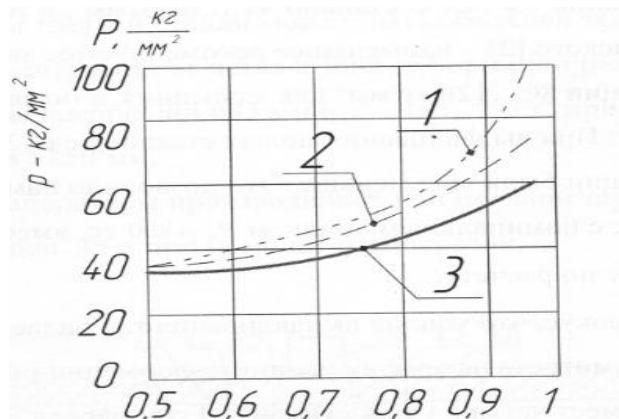
Чопин [6] пропонує формулу

$$p = (15 + 0,7HRB) \cdot f \cdot \lg \frac{f}{F} - f \lg \frac{3H}{S} \quad (1.11)$$

де f - переріз пуансона;

F - переріз заготовки.

Всі вище приведені формули добре дозволяють визначати зусилля видавлювання для деталей середніх розмірів (про 10 - 50 мм), з мірою деформації до 90%, оскільки розкид значень в цьому діапазоні незначний (див. рис. 1.16).



1 - по Elliott; 2 - по Angus; 3 - експериментальна крива.

Рис. 1.17 – Залежність питомих зусиль деформації від міри деформації при зворотному видавлюванні алюмінію

Якщо холодне видавлювання порожнистих деталей $\varnothing 10 - 50$ мм добре висвітлені у вітчизняній і зарубіжній літературі, то видавлювання деталей \varnothing більше $\varnothing 100$ мм ніхто не займався із-за невивченості деяких параметрів технологічного режиму і особливо необхідних величин питомих зусиль деформації і повного зусилля видавлювання, що стримувало поширення цього методу на виробництві.

Встановлено, що видавлювання великогабаритних виробів має свої технологічні особливості і, в першу чергу, в силовому режимі процесу. Максимальне питома зусилля деформації при мірі деформації $\varepsilon = 98\%$ складало $45...58$ кг/мм², тоді як найменше рекомендоване значення питомого зусилля деформації $80... 120$ кг/мм² для алюмінію, а по заводських нормах $120... 150$ кг/мм². При видавлюванні порожнистих склянок с $\varnothing 125$ мм питома зусилля деформації були ще менше.

Тепловий ефект під час видавлювання призводить до помітного зменшення питомого зусилля деформації. Показники міцності для алюмінію залежно від температури помітно змінювалися див. табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Зміна показників міцності від температури нагріву зразка. Алюміній - марки АО.

t°C	20	50	100	150	200
σ_B МПа	74,0	58	47,5	37,8	26,1
σ_S МПа	38,6	34	28,6	23,8	17,3

Залежність температури від ходу повзуна для алюмінію представлена на рис. 1.18

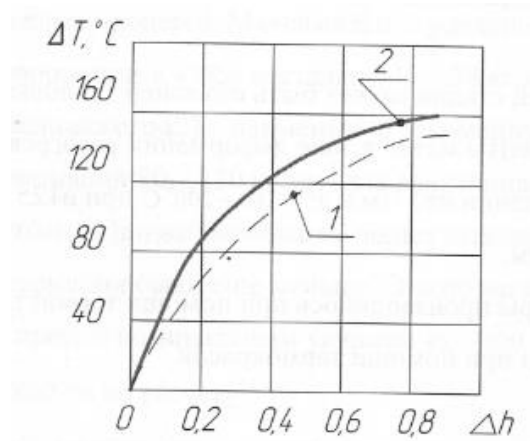


Рис. 1.18 – Залежність температури від переміщення повзуна для алюмінію ($V = 100$ мм/сек) Заготовка $\varnothing 85$ мм, міра деформації $\epsilon = 96\%$. 1 - теоретична крива, 2 - експериментальна крива.

Як ми помітили, при холодному видавлюванні має значне місце тепловий ефект, що підвищує значно температуру виробу і відповідно, зменшує міцні властивості металу.

Для визначення зусилля видавлювання з урахуванням теплового ефекту автор рекомендує наступну формулу:

$$P = [C_1 (B + \epsilon)^n e^{-\alpha \Delta T} + D \ln(1 + B_1 \epsilon)] \cdot F_{\text{п}} \quad (1.12)$$

$$\text{де: } C_1 = \frac{\sigma_{S0}}{B^n}; \quad C = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_{\text{ш}}} \cdot \psi_{\text{ш}}^{-n}$$

$$C_1 = \frac{4,4}{0,222^{0,25}} = 6,45; \quad n = \frac{0,2}{0,8} = 0,25$$

для алюмінію

$\psi_{\text{ш}}$ - коефіцієнт поперечного звуження;

$$B = 0,222; \quad D = 0,12; \quad B_1 = 1,1$$

$$n = \frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}$$

$$\Delta t = \frac{\sigma_m \cdot \varepsilon}{\gamma \cdot \rho \cdot C_0}$$

Δt - збільшення температури;

$$\sigma_m = C(B + \varepsilon)^n;$$

γ = механічний еквівалент теплоти

ρ = питома вага металу

C_0 = питома теплоємність металу

На зусилля видавлювання помітний вплив робить форма робочою частини пуансона, що дозволяє зменшити зусилля до 15 - 20%.

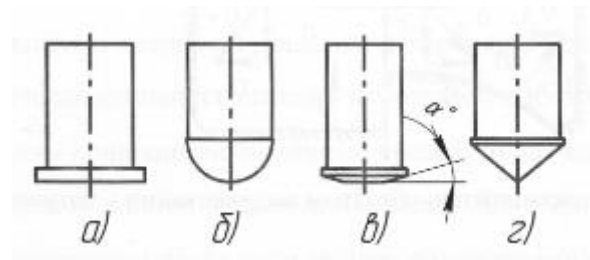


Рисунок. 1.19 –Типів торців пуансонів

На рис. 1.19 представлені пуансони. Найбільш сприятливою формою є 1.19б і 1.19в. При видавлюванні великогабаритних деталей помітний вплив на силовий режим також впливає геометрія матриці.

1.8 Устаткування для холодного видавлювання

Холодне видавлювання здійснюють на кривошипних, кривошипно-колінних і гідравлічних пресах, універсальних і спеціальних. Застосування кривошипних і кривошипно-колінних пресів дозволяє здійснювати

видавлювання з високою продуктивністю в порівнянні з гідравлічними пресами. Гідравлічні преси мають значно більший хід, що особливо важливо для виготовлення високих деталей і забезпечує спокійніші умови роботи інструменту.

У промисловості найбільше застосування знаходять кривошипні преси. Випускають преси кривошипно-колінні закритого типу для холодного видавлювання сталевих деталей моделей K0030, K0032, K0034, K0036, K0038 с $P_n = (1-6,3) \text{ МН}$, прес-автомат моделі AC5100 $P_n = 4 \text{ МН}$. Преса моделі A9034 $P_n = 2,5 \text{ МН}$. Привід у цих пресів типу редуктора, розташований вгорі, із заднього боку пресу. Регулювання робочого простору здійснюється поворотом верхньої ексцентрикової осі коліноричажного механізму від електродвигуна через двоступінчатий черв'ячний редуктор.

Висновок

Аналіз технічної літератури присвячено теоретичному та експериментальному дослідженню видавлювання виробів на пресах.

Виходячи за аналізу можна зробити наступні висновки:

1. В більшості дослідження видавлювання проводились для першої підгрупи виробів.
2. Визначення температури виробу під час видавлювання необхідно проводити тільки теоретичним шляхом.
3. Відсутня оцінка процесу механічної обробки і видавлювання з урахуванням всіх факторів.
4. Видавлювання представляє інтерес для теоретичного дослідження і практичного застосування для виробництва.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження холодного штампування проводились для виробів діаметром не більше 45-50мм.

У зв'язку з цим в роботі поставлені наступні завдання:

1. Розробити технологію виготовлення деталі сердечник.
2. Порівняти існуючу технологію виготовлення деталі з запропонованою.
3. Порівняти аналіз видавлювання та процесу на станках з ЧПК.

Необхідно визначити:

- 1) залежність зусиль деформації при прямому видавлюванні від ступеня деформації та швидкості деформації;
- 2) характер діаграм при видавлюванні деталі сердечник зі ступенями деформації $\epsilon=90-98\%$;

При дослідженні холодного видавлювання деталі сердечник, необхідно дати рекомендації по вибору обладнання для холодного видавлювання.

Для вибору оптимальної геометрії інструменту необхідно вирішити наступні питання:

- а) вибрати раціональні форми і матеріал робочого інструмента;
- б) виявити вплив геометрії інструменту на силовий режим;
- в) розробити технологію отримання деталі та вибрати вид технологічного мастила.

Виходячи з завдання були проведені теоретичні та експериментальні дослідження виготовлення деталі сердечник.

При аналізі процесу штампування важливе місце займає експериментальне дослідження.

Переміщення повзуна гідравлічного преса реєструвалася за допомогою мірної шкали.

Для експериментального дослідження силового режиму при видавлюванні деталей був розроблений спеціальний штамп.

Експериментальний штамп відрізнявся від штампів, що можуть застосовуватись у виробництві тим, що можливо установити різні за розмірами заготовки;

На рисунках 2.1 та 2.2 показаний штамп для видавлювання середніх розмірів деталей $\varnothing 97,5\text{мм}$ з алюмінієвих заготовок.

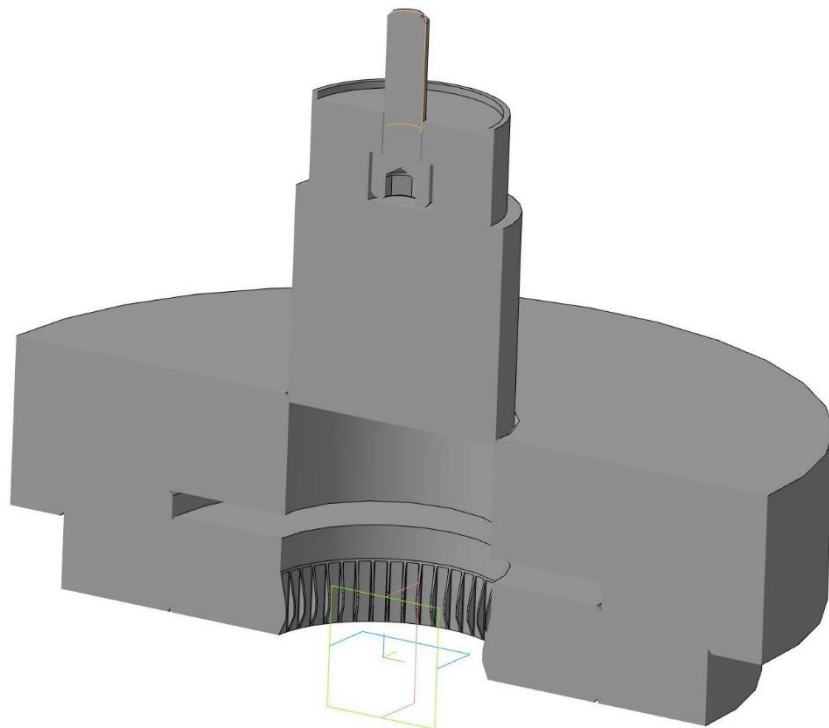


Рисунок 2.1 – 3D модель штампа для холодного видавлювання алюмінієвої деталі сердечник.

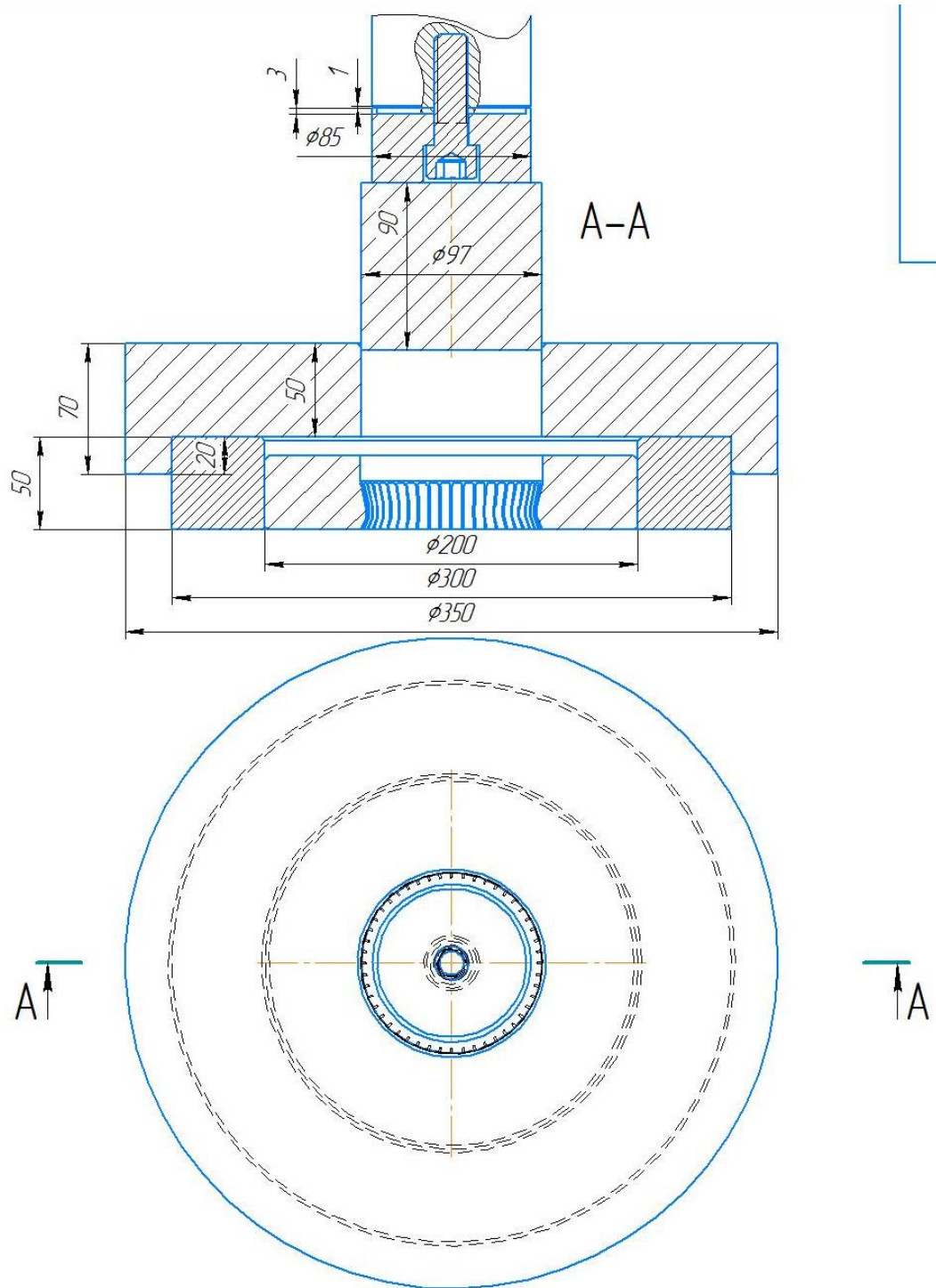


Рисунок 2.2 – Штамп для холодного видавлювання алюмінієвої деталі сердечник.

Дослідження силового режиму при прямому видавлюванні деталі сердечник проводився на зразках з алюмінію марки АД31 ГОСТ 4784-97. Вибір матеріалу диктувався технічним завданням деталі що

використовується на промислових підприємствах в світильниках див. Рисунок 2.3 Вплив виду мастила на процес видавлювання досліджувався частково. Були використані різні типи мастила. Для отримання великих коефіцієнтів тертя деформація деталі сердечник здійснювалась без мастила. Поверхня заготовки і інструмент знежирювався промиванням в ацетоні.

Зразки були виготовлені з одного і того ж матеріалу та з однієї партії.

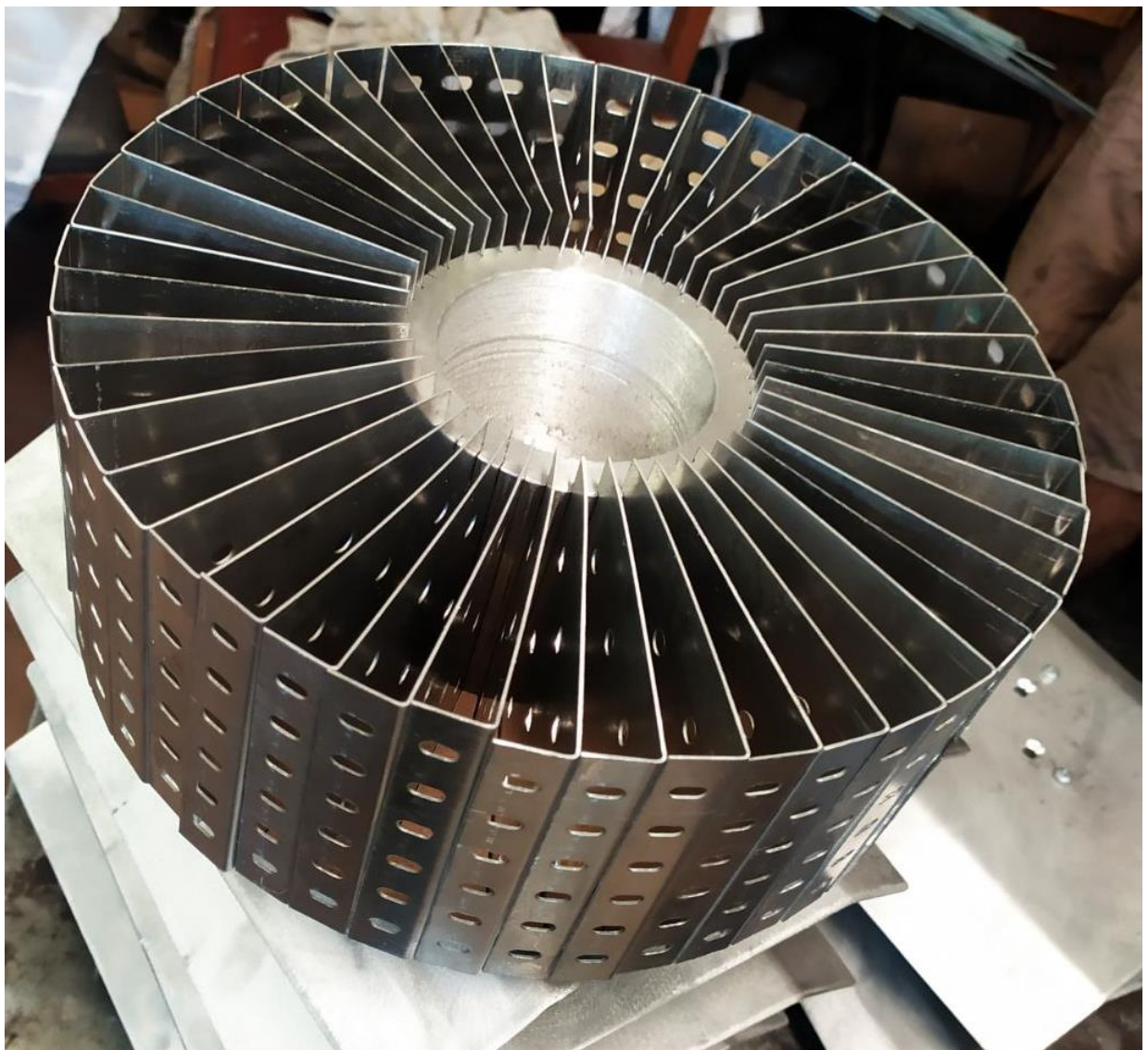


Рисунок 2.3 – Штамп для холодного видавлювання алюмінієвої деталі сердечник.

2.1 Теоретичне дослідження силового режиму видавлювання

Потужність, що викликана зовнішніми силами під час пластичної деформації, може бути виражена як сума потужностей внутрішніх сил:

$$W = \int_V \sigma_i \dot{\epsilon}_i dV + \int_F \tau_S \Delta V dF + \int_S \tau_K \Delta V_T dS, \quad (2.1)$$

де ΔV і ΔV_T - тангенціальні переміщення відносно часу по поверхні розриву швидкостей усередині матеріалу;

τ_K - опір тертя на поверхні, що має розрив швидкості; $\tau_K = \mu \cdot \sigma_s$;

τ_S - інтенсивність дотичних напружень; $\tau_S = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}$;

$\dot{\epsilon}_i$ - інтенсивність швидкостей деформації;

σ_i - інтенсивність напружень (при відсутності зміцнення $\sigma_i = \sigma_s$).

Напруга і швидкість є автономними від полярного кута θ і є функцією виключно радіусу r і осі z . Використана модель плинності може бути описана подальшими залежностями для радіальних і осьових швидкостей:

$$\begin{aligned} V_{r_1} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{V_\partial}{h} \cdot r \\ V_{r_2} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{V_\partial}{h} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{r_2^2 - r^2}{r} \\ V_{z_1} &= -V_\partial \cdot \frac{h-z}{h} \\ V_{z_2} &= \frac{V_\partial}{h} \cdot (h-z) \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

де V_∂ - швидкість переміщення інструменту;

V_{r_1} - радіальна швидкість зміни положення частинок в зоні 1;

V_{z_1} - осьова швидкість зміни положення частинок в зоні 1.

Залежності для визначення переміщень:

$$\begin{aligned}
 U_{r_1} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{U_\partial}{h} \cdot r = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot r; \\
 U_{z_1} &= -\frac{U_\partial}{h} \cdot z = -\varepsilon (h - z); \\
 U_{r_2} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{U_\partial}{h} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{r_2^2 - r^2}{r}; \\
 V_{z_2} &= \frac{U_\partial}{h} (h - z) \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} = \varepsilon (h - z) \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2};
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

де U_∂ – невід’ємне обтиснення заготовки по висоті за рівний проміжок часу $\Delta\tau$.

Обтиснення центральній частині заготовки визначається

$$\varepsilon = \frac{U_\partial}{h} \tag{2.4}$$

Очевидно, що $\varepsilon_z = -\varepsilon$. Відносні деформації в напрямку інших осей:

$$\varepsilon_{r_1} = \frac{1}{2} \varepsilon; \quad \varepsilon_\theta = \frac{1}{2} \varepsilon; \quad \varepsilon_z = -\varepsilon; \quad \gamma_{r_1 z_1} = 0. \tag{2.5}$$

Компоненти швидкостей деформації представлені таким чином:

$$\dot{\varepsilon}_r = \frac{\partial v_r}{\partial r}; \quad \dot{\varepsilon}_\theta = \frac{v_r}{r}; \quad \dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial v_z}{\partial z}; \quad \dot{\gamma}_{rz} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial z}; \tag{2.6}$$

а інтенсивність швидкостей деформації

$$\dot{\mathcal{E}}_l = \sqrt{\frac{2}{3} (\dot{\mathcal{E}}_r^2 + \dot{\mathcal{E}}_\theta^2 + \dot{\mathcal{E}}_z^2) + \frac{1}{3} \dot{\gamma}_{rz}^2} \quad (2.7)$$

Виходячи з рівнянь (2.6) і (2.7), визначаємо інтенсивні швидкості деформації для кожної з зон.

Зона 1. Просте стиснення.

$$\dot{\mathcal{E}}_1 = \frac{\partial V_z}{\partial z} = \frac{V_\partial}{h}; \quad (2.8)$$

Зона 2.

$$\dot{\mathcal{E}}_2 = \sqrt{\frac{2}{3} (\dot{\mathcal{E}}_r^2 + \dot{\mathcal{E}}_\theta^2 + \dot{\mathcal{E}}_z^2) + \frac{1}{3} \dot{\gamma}_{rz}^2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_\partial}{h} \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \sqrt{3 + \frac{r_2^4}{r_1^4}}; \quad (2.9)$$

але знаючи, що $\dot{\mathcal{E}}_r = \frac{\partial V_r}{\partial r}$; $\dot{\mathcal{E}}_\theta = \frac{V_r}{r}$; $\dot{\mathcal{E}}_z = -(\dot{\mathcal{E}}_r + \dot{\mathcal{E}}_\theta)$ і $\dot{\gamma}_{rz} = 0$, знаходимо

$$\dot{\mathcal{E}}_z = -\left(\frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_r}{\partial r}\right); \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} \dot{\mathcal{E}}_2 &= \sqrt{\frac{2}{3} \left[\dot{\mathcal{E}}_r^2 + \dot{\mathcal{E}}_\theta^2 + (\dot{\mathcal{E}}_r + \dot{\mathcal{E}}_\theta)^2 \right]} = \sqrt{\frac{2}{3} (\dot{\mathcal{E}}_r^2 + \dot{\mathcal{E}}_\theta^2 + \dot{\mathcal{E}}_r \dot{\mathcal{E}}_\theta)^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_\partial}{h} \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \sqrt{3 + \frac{r_2^4}{r_1^4}}; \end{aligned} \quad (2.11)$$

При переході від однієї зони в іншу відбувається зміна напрямку швидкості.

Перехід із жорсткої зони в пластичну зону :

$$\Delta V = V_{T'} - V_T. \quad (2.12)$$

Із умови пластичності і умови сталості об'єму можливе написання наступного рівняння:

$$\dot{\epsilon}_r + \dot{\epsilon}_\theta + \dot{\epsilon}_z = 0. \quad (2.13)$$

Умова сталості обсягу можна представити у вигляді

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0. \quad (2.14)$$

Після інтегрування отримуємо:

$$\begin{aligned} V_z &= - \left(\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} \right) z + f_1(r) \\ V_r &= - \frac{\partial V_z}{\partial z} \cdot \frac{1}{2} \cdot r + \frac{1}{r} \cdot f_2(z). \end{aligned} \quad (2.15)$$

Нормальна швидкість V_H до поверхні S буде в областях 1 і 2 матиме однакові значення по обидві сторони однієї поверхні S . Тангенціальна частина швидкості зазнає розрив при переході з однієї області в іншу.

$$\Delta V = V_{z_2} - V_{z_1} = -(V_{r_2} - V_{r_1}) \cdot \operatorname{tg} \theta, \quad (2.16)$$

де V_{z_2} - відображення тангенціальної складової швидкості в області 2 на ось z ;

V_{z_1} - відображення тангенціальної складової швидкості в області 1 на ось z ;

V_{r_2} і V_{r_1} - відповідають відображенням тангенціальної складової швидкості в області 2 і 1 на ось r .

Поверхня торця пуансона шорстка і контактне дотичне напруження має максимальне значення $\tau_K = \tau_S = \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}}$.

Потужність внутрішніх сил в зоні 1

$$W_1 = \iiint \sigma_S \dot{\epsilon}_1 dV = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \int_0^h \sigma_S \cdot \frac{V_\partial}{h} \cdot r \cdot d\theta \cdot dr \cdot dz. \quad (2.17)$$

Інтегрування дає:

$$W_1 = \bar{\pi} \cdot r_1^2 \cdot \sigma_S \cdot V_\partial. \quad (2.18)$$

Інтенсивність внутрішніх сил в зоні 2:

$$W_2 = \iiint \sigma_S \dot{\epsilon}_2 dV = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \int_0^h \sigma_S \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_\partial}{h} \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \sqrt{3 + \frac{r_2^4}{r_1^4}} \cdot r \cdot d\theta \cdot dr \cdot dz. \quad (2.19)$$

Інтегрування дає:

$$W_2 = \bar{\pi} \cdot \sigma_S \cdot V_\partial \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot C, \quad (2.20)$$

де

$$C = \left[\frac{2r_2^2}{\sqrt{3}} - \frac{r_2^2}{\sqrt{3}} \cdot \ln \frac{3}{\sqrt{3}} \right] - \left[\sqrt{\frac{r_2^4}{3} + r_1^4} - \frac{r_2^2}{\sqrt{3}} \ln \left(\frac{\frac{r_2^2}{\sqrt{3}} + \sqrt{\frac{r_2^4}{3} + r_1^4}}{r_1^2} \right) \right]. \quad (2.21)$$

$$W_3 = \int_0^{2\pi} \int_0^h \tau_S \cdot \Delta V_{12} \cdot r_1 \cdot d\theta \cdot dz = 2\pi r_1 \cdot \tau_S \int_0^h (V_{z_2} - V_{z_1}) dz. \quad (2.22)$$

Підстановка V_{z_2} і V_{z_1} із формул (2.2) дають:

$$W_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \sigma_S \cdot V_\partial \cdot h \cdot \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.23)$$

Інтенсивність зрізу у рамках зон 2 і 3:

$$W_4 = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \tau_S \cdot \Delta V_{23} \cdot r \cdot d\theta \cdot dr = 2\pi \cdot r_1 \tau_S \int_{r_1}^{r_2} V_{r_2} \cdot r \cdot dr. \quad (2.24)$$

Підстановка V_{r_2} із формул (2.2) і урахування того, що $\tau_S = \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}}$, інтегрування і спрощення призводять до вираження:

$$W_4 = \frac{\pi \cdot \sigma_S}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{V_\partial}{h} \cdot C_1, \quad (2.25)$$

$$\text{де} \quad C_1 = \left[\frac{2}{3} \cdot r_2^3 - r_1 (r_2^2 - \frac{1}{3} r_1^2) \right]. \quad (2.26)$$

Інтенсивність сил тертя під торцем пуансона:

$$W_5 = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \tau_K \cdot V_{r_1} \cdot r \cdot d\theta \cdot dr = \pi \cdot \tau_K \cdot \frac{V_\partial}{h} \int_0^{r_1} r^2 dr. \quad (2.27)$$

Беручи до уваги що, у першому наближенні контактні дотичні напруження τ_K розміщені по робочій поверхні пуансона рівномірно і мають максимальні значення $\tau_K = \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}}$, отримаємо після інтегрування

$$W_5 = \frac{1}{3} \pi \cdot r_1^3 \cdot \tau_K \cdot \frac{V_\partial}{h} = \frac{1}{3\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot \sigma_S \cdot r_1^3 \cdot \frac{V_\partial}{h}. \quad (2.28)$$

В цьому випадку, коли деформується висока заготовка, осередок деформації має постійну величини h_x до розділу пластичної зони від жорсткої зони (рис. 2.2), приходиться враховувати і інтенсивність зрізу у рамках зон 1 і 2 з жорсткою зоною 3.

$$W_6 = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \tau_S \cdot V_{r_1} \cdot r \cdot d\theta \cdot dr + \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \tau_S \cdot V_{r_2} \cdot r \cdot d\theta \cdot dr. \quad (2.29)$$

Підставляючи V_{r_1} і V_{r_2} із рівняння (2.2) після інтегрування і спрощення надходимо до такого виразу:

$$W_6 = \frac{1}{3} \pi \cdot r_1^3 \cdot \tau_S \cdot \frac{V_\partial}{h} + \pi \cdot \tau_S \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{V_\partial}{h} \cdot C_1. \quad (2.30)$$

Інтенсивність зрізу W_6 необхідно брати в розрахунок тільки при стаціонарній стадії деформування високої заготовки, тобто коли $h > h_x$. Після того, як осередок пластичної деформації h_x досягає дна матриці, інтенсивність зрізу W_6 з усіх наступних розрахунків має бути виключена. Тому запишемо інтенсивність зрізу W_6 у такому вигляді:

$$W_6 = \frac{K}{3\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot r_1^3 \cdot \sigma_S \cdot \frac{V_\partial}{h} + \frac{\pi K \sigma_S}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{V_\partial}{h} \cdot C_1, \quad (2.31)$$

де $K = 1$ при стабільній стадії деформації,
 $K = 0$ при нестабільній стадії деформації.

Інтенсивність зовнішньої деформуючої сили P , яка прикладена до пуансона, може бути виражена таким чином:

$$W = P \cdot V_\partial = \pi \cdot r_1^2 \cdot n_\phi \cdot \sigma_S \cdot V_\partial, \quad (2.32)$$

звідкіля зусилля деформації

$$P_D = n_\phi \cdot \sigma_S \cdot V_\partial \cdot F, \quad (2.33)$$

тут n_ϕ це відносне питоме зусилля деформації, яке залежне від розмірів деформованої заготовки, ступеня деформації і умов контактної тертя. Повна потужність деформації буде дорівнювати:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 \quad (2.34)$$

Ставимо значення всіх потужностей з рівнянь (2.17)-(2.32) в рівняння (2.34) і отримаємо:

$$W = \pi \cdot r_1^2 \cdot \sigma_S \cdot V_\partial + \pi \cdot \sigma_S \cdot V_\partial \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot C + \pi \cdot r_1 \cdot \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}} \cdot V_\partial \cdot h_x \cdot \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{\pi \sigma_S}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot$$

$$\frac{V_{\partial}}{h_x} \cdot C_1 + \frac{1}{3\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot r_1^3 \cdot \frac{V_{\partial}}{h_x} + \frac{1}{3\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot r_1^3 \cdot \frac{V_{\partial}}{h_x} + \frac{\pi \sigma_S \cdot r_1^2}{\sqrt{3} \cdot r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{V_{\partial}}{h_x} \cdot C_1. \quad (2.35)$$

Далі після перетворення отримуємо:

$$n_{\phi} = \left(\frac{\rho}{\sigma_S} \right) = 1 + \frac{2}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{r_1}{h_x} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{h_x}{r_1} + \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot C + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{h_x} \cdot C_1 \quad (2.36)$$

або після заміни $\frac{r_2}{r_1} = \frac{D}{d} = x$, отримаємо:

$$n_{\phi} = 1 + \frac{C}{x^2 - 1} + \left(\frac{2}{3\sqrt{3}} + \frac{2}{\sqrt{3}} + \frac{C}{x^2 - 1} \right) \cdot \frac{r_1}{h_x} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{x^2}{x^2 - 1} \cdot \frac{h_x}{r_1}. \quad (2.37)$$

Чисельне значення коефіцієнта $n_{\phi} = \left(\frac{\rho}{\sigma_S} \right)$ можливо обчислити за формулою (2.37), якщо відома глибина розширення осередку пластичної деформації h_x .

Розмір осередку деформації:

$$\frac{\partial n_{\phi}}{\partial h_x} = 0. \quad (2.38)$$

Проводимо диференцію (2.37) по h_x , і отримаємо:

$$\frac{h_x}{r_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{x - 1} \quad \text{або} \quad \left(\frac{h_x}{d} \right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{x - 1} \quad (2.39)$$

Як бачимо з формули (2.39), розміри осередку деформації в процесі видавлювання не змінюються. Це значить, що при видавлюванні високої заготовки має місце стаціонарна стадія деформації.

Коли підставляємо розмір осередку деформації h_x з (2.39) в рівняння (2.37) це приводить останнє до виду:

$$n_{\phi} = \left(\frac{\rho}{\sigma_S} \right) = 1 + \frac{C}{x^2 - 1} + \frac{(x-1)^{-\frac{1}{2}}}{\sqrt{3}} + \frac{2x^2 \sqrt{x-1}}{3(x^2-1)} + \frac{C_1}{(x^2-1)\sqrt{x-1}}. \quad (2.40)$$

Для нестабільної стадії видавлювання, без можливості урахування потужності зрізу W_6

$$n_{\phi} = 1 + \frac{c}{x^2-1} + \frac{1}{2\sqrt{3}\sqrt{x-1}} + \frac{2x^2\sqrt{x-1}}{3(x^2-1)} + \frac{c_1}{2(x^2-1)\sqrt{x-1}}. \quad (2.41)$$

2.2. Оцінка умов тертя о поверхню інструменту що видавлює

Коефіцієнт зовнішнього тертя при холодному видавлюванні (0 до 0,5). Основними факторами, що визначає його величину є чистота поверхні робочого інструменту, матеріал заготовки та вид мастила.

Інтенсивність сил тертя на робочому торці пуансона:

$$W_5 = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \tau_K \cdot V_{r_1} \cdot r \cdot d\theta \cdot dr \quad (2.42)$$

Враховуючи що у першому наближенні контактна дотична напруга τ_K розподілена по робочій поверхні пуансона рівномірно і має значення $\tau_K = \mu \cdot \sigma_S$, то отримаємо після інтегрування:

$$W_5 = \frac{1}{3} \pi \cdot r_1^3 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot \frac{V_{\partial}}{h}. \quad (2.43)$$

Інтенсивність сил тертя на калібрувальному пояску пуансона

$$W_7 = \int_0^{2\pi} \int_0^L \tau_K (V_{z_2} - V_{z_1}) \cdot r_1 \cdot d\theta \cdot dz = 2\pi \cdot r_1 \cdot \tau_K \cdot \int_0^L \tau_K (V_{z_2} - V_{z_1}) dz. \quad (2.38)$$

Скориставшись співзв'язком з формулою (2.2), отримуємо після інтегрування:

$$W_7 = 2\pi \cdot r_1 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot L \cdot V_\partial \cdot \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.44)$$

Інтенсивність сил тертя на поверхні матриці в зоні 2
при $r=r_2$ і $0 \ll z \ll h$

$$W_8 = \int_0^{2\pi} \int_0^h \tau_K \cdot V_{z_2} \cdot r_2 \cdot d\theta \cdot dz = 2\pi \cdot r_2 \cdot \tau_K \cdot \int_0^h V_{z_2} \cdot dz. \quad (2.45)$$

Скориставшись співзв'язком з формулою (2.2) отримаємо після інтегрування:

$$W_8 = \pi \cdot r_2 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot h \cdot V_\partial \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.46)$$

Інтенсивність сил тертя на поверхні матриці в зоні 4 при $r=r_2$ і $z = h$

$$W_9 = \int_0^{2\pi} \int_0^{h_B} \tau_K \cdot V_{z_3} \cdot r_2 \cdot d\theta \cdot dz = 2\pi \cdot r_2 \cdot \tau_K \cdot \int_0^{h_B} V_{z_3} \cdot dz. \quad (2.47)$$

Швидкість часток в зоні 4 не залежить від координати z і визначається формулою (2.2) постановкою $z = 0$

$$V_{z_3} = V_{z_3/z=0} = V_\partial \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.48)$$

Після інтегрування і спрощення маємо вираз:

$$W_9 = 2\pi \cdot r_2 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot V_\partial \cdot h_B \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.49)$$

Величина h_B визначається з умови того що об'єм сталей :

$$\pi r_2^2 h_0 = \pi r_2^2 h + \pi (r_2^2 - r_1^2) h_B, \quad (2.50)$$

де:

$$h_B = (h_0 - h) \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.51)$$

тоді:

$$W_9 = 2\pi \cdot r_2 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot V_\partial \cdot (h_0 - h) \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.52)$$

Щоб видавлена деталь не залишалась матриці, величину h_B можна приймати $h_B = L$.

Підставив в формулу (2.49), отримуємо:

$$W_9 = 2\pi \cdot r_2 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot V_\partial \cdot L \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.53)$$

Повна потужність деформації складе:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7 + W_8 + W_9. \quad (2.54)$$

Підставляючи значення (2.18-2.32, 2.43-2.50), отримаємо:

$$\begin{aligned}
W = PV_{\partial} = & \pi \cdot r_1^2 \cdot \sigma_S \cdot V_{\partial} + \pi \sigma_S \cdot V_{\partial} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot C + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \sigma_S \cdot V_{\partial} \cdot h_x \cdot \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + \\
& \frac{\pi \cdot \sigma_S}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{V_{\partial}}{h} \cdot C_1 + \frac{K}{3} \cdot \pi \cdot r_1^3 \cdot \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V_{\partial}}{h} + \frac{\pi K \sigma_S}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{V_{\partial}}{h_x} \cdot C_1 + \frac{1}{3} \pi \cdot r_1^3 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot \frac{V_{\partial}}{h_x} + \\
& 2\pi \cdot r_1 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot L \cdot V_{\partial} \cdot \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \pi \cdot r_2 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot h_x \cdot V_{\partial} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + 2\pi \cdot r_2 \cdot \mu \cdot \sigma_S \cdot L \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (2.55)
\end{aligned}$$

З урахуванням рівняння (2.33) отримаємо:

$$n_{\phi}' = \left(\frac{\rho}{\sigma_S} \right) = a + a_1 \left(\frac{r_1}{h_x} \right) + a_2 \left(\frac{h_x}{r_1} \right), \quad (2.56)$$

$$\text{де } a = 1 + \frac{C}{x^2 - 1} + 2\mu \cdot K_n \cdot \frac{x}{x^2 - 1} (1 - x);$$

$$a_1 = \frac{K}{3\sqrt{3}} + \frac{(1+K)C_1}{\sqrt{3}(x^2-1)} + \frac{\mu}{3};$$

$$a_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{x}{x^2 - 1} + \frac{\mu \cdot x}{x^2 - 1}.$$

Величина збільшення осередку деформації h_x :

$$\left(\frac{r_1}{h_x} \right) = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} = \sqrt{\frac{(x^2-1)+3(1+K)C_1+\mu\sqrt{3}(x^2-1)}{3(x^2+\mu\sqrt{3}x)}}. \quad (2.57)$$

Т.я. величина осередку деформації h_x відома можна визначити значення відносного питомого зусилля деформації:

$$n_{\phi}' = a + 2\sqrt{a_1 a_2} \quad (2.58)$$

або:

$$\begin{aligned}
n_{\phi}' = & 1 + \frac{C}{x^2 - 1} + 2\mu \cdot K_n \cdot \frac{x(x-1)}{x^2 - 1} + 2\sqrt{\left(\frac{K}{3\sqrt{3}} + \frac{(1+K)C_1}{\sqrt{3}(x^2-1)} + \frac{\mu}{3} \right) \cdot \left(\frac{x^2}{\sqrt{3}(x^2-1)} + \frac{\mu \cdot x}{x^2-1} \right)}. \\
& \quad (2.59)
\end{aligned}$$

Для нестационарної стадії видавлювання:

$$n_{\phi}' = 1 + \frac{C}{x^2-1} + 2\mu \cdot K_n \cdot \frac{x(x-1)}{x^2-1} + 2 \sqrt{\left(\frac{2}{3}\mu + \frac{(1+K)C_1\mu}{(x^2-1)} + \frac{\mu}{3}\right) \cdot \left(\frac{x^2}{\sqrt{3}(x^2-1)} + \frac{\mu \cdot x}{x^2-1}\right)}. \quad (2.60)$$

При коефіцієнті зовнішнього тертя $\mu=0,1$, який відповідає холодному видавлюванню добре змащеної заготовки, відносне питоме зусилля деформації n_{ϕ} , яке було обчислене за формулою (2.40), практично не відрізняється від відносного питомого зусилля деформації, обчисленого по формулі (2.59).

Отримані залежності використовуються при холодному видавлюванні.

2.3 Тепловиділення при видавлюванні

Енергетичний метод крім величини питомого зусилля деформації дозволяє також визначити зміну температури деформації металу під час процесу видавлювання. Опір деформації, який є функцією корисної напруги, залежить від ступеня швидкості деформації, геометрії інструменту і тертя, початкової температури заготовки і температури, що було обумовлено деформацією металу.

При відомих величинах ступеня швидкості і температури деформації за формулою (2.32) дозволяє доволі точно визначити зусилля деформації.

При видавлюванні великогабаритних деталей з відносними розмірами $\frac{D}{S}=180-220$ і $\frac{D}{h}=30-100$ (h - товщина дна, S - товщина стінки) на величину зусилля видавлювання справляє помітний вплив величина температури заготовки, яка викликана тепловим ефектом деформації. Час процесу

деформування при великих швидкостях деформації, має характерність для зворотного видавлювання на кривошипних пресах, що становить 0,05-0,3сек. В цьому випадку тепло, яке виділилося в деформованому зразку в результаті теплового ефекту деформації, не встигає розсіюватися в навколишнє середовище, тому температура деформованого металу підвищується, а сам процес наближається до адіабатичного. При цьому зміна температури буде знаходитись в прямій залежності від ступеня деформації і швидкості деформації.

Зростання температури тіла, що деформується відбувається звичайно в початковій стадії деформування, поки осередок пластичної деформації не досягне певного значення, а потім процес стабілізується і ступінь підвищення температури деформованого металу дещо зменшується, вже незважаючи на триваюче впровадження пуансона в заготовку.

2.4 Вплив температури, величини і швидкості деформації на істинний опір

2.4.1 Залежність напруги плинності від величини пластичної деформації

Процес пластичної деформації супроводиться зміцненням металу. Зі зміною величини деформації властивості міцності металу теж змінюються. Зміна напруги плинності в залежності від величини деформації носить досить складний характер. При знаходженні наближених залежностей, які враховують вплив зміцнення на процес деформування, в теорії обробки металів тиском часто використовують лінійну апроксимацію кривої зміцнення.

В якості прямої, яка приблизно характеризує зміни напруження плинності в залежності від деформації, [4] пропонує дотичну, що проведена до кривої зміцнення в точці, відповідній початку утворення шийки. Рівняння

цієї прямої згідно роботам [4] у координатах $\sigma_S - \varepsilon$ може бути записано у вигляді:

$$\sigma_S = \sigma_{T_0} - П\varepsilon, \quad (2.61)$$

де σ_{T_0} - екстрапольована границя плинності,

П - модуль зміцнення.

Більш точно описує дійсну залежність напруги плинності від величини ε статежна функція виду

$$\sigma_S = c\varepsilon^n, \quad (2.62)$$

або виду

$$\sigma_S = c(B + \varepsilon)^n, \quad (2.63)$$

При $B=0$ залежність формули (2.101) набуває вигляду $\sigma_S = c\varepsilon^n$, де c , B , n – це константи

$$c = \frac{\sigma_m}{\psi_m^n}, \quad (2.64)$$

або через границю міцності σ_B

$$c = \frac{\sigma_B}{1-\psi_m} \cdot \psi_m^{-n}; \quad n = \frac{\psi_m}{1-\psi_m}, \quad (2.65)$$

де σ_m , ψ_m – це напруга плинності та відносне зменшення площі поперечного перерізу зразка при розтягуванні, що відповідає початку утворення шийки. Константа B характеризує стан матеріалу.

Для матеріалів, що використовуються в промисловості, значення показника n знаходиться десь в межах від 0,2 до 0,5, а константа B – від 0 до 0,3. Формули (2.62) і (2.63), як показали порівняння розрахункових значень σ_S з фактичними даними, мають досить правильно відображати характер і ступінь впливу зміцнення на величину істинного опору.

2.4.2 Вплив температури деформації на величину напруги плинності

Температура - це важливий чинник, що визначає величину опору деформації. Експериментально було встановлено, що зміни всіх показників істинного опору через зміну температури (а також зміну межі текучості і тимчасового опору і в більшості випадків істинних опорів, взятих при одній і тій же мірі деформації) підпорядковується приблизно одному і тому ж закону. Відомо, що з підвищенням температури деформування показники опору деформуванню (тимчасовий опір) будуть знижуватися по деякій експоненціальній кривій. Експоненціальна залежність опору деформації від температури [4] дається в виді

$$\sigma_{\partial_1} = \sigma_{\partial_2} \cdot e^{\alpha(t_2 - t_1)}; \quad (2.66)$$

де σ_{∂_2} і σ_{∂_1} - показники опору деформації при температурах t_2 та t_1 , причому $t_2 > t_1$;

α - температурний коефіцієнт, що залежить від виду показника опору деформації, швидкості деформації і ступеня деформації.

Якщо відомий температурний коефіцієнт α і границя плинності при будь-якій температурі, наприклад, кімнатній $t_1 = t_{\text{кімн}}$, $\sigma_{\partial_1} = \sigma_{S_0}$, то межа плинності σ_S при будь-якій температурі t визначається виразом:

$$\sigma_S = \sigma_{S_0} \cdot e^{-\alpha \Delta t}; \quad (2.67)$$

де $\Delta t = t - t_{\text{кімн}}$.

Температурний коефіцієнт α можливо визначити, прологарифмувавши вираз (2.67):

$$\log \sigma_S = \log \sigma_{S_0} - \alpha \Delta t \log e, \quad (2.68)$$

$$\text{звідки } \alpha = \frac{\log \sigma_{S_0} - \log \sigma_S}{\Delta t \log e}. \quad (2.69)$$

2.4.3 Вплив температури деформації і величини деформації на величину напруження плинності

Виведемо залежність опору деформації від величини деформації ε та температури t .

Вважаємо, що опір деформації буде функцією двох змінних – величин деформації і температури, зробимо це в такий спосіб.

Напишемо повний диференціал для σ_S :

$$d\sigma_S = \frac{\partial \sigma_S}{\partial \varepsilon_i} d\varepsilon_i + \frac{\partial \sigma_S}{\partial t} dt = \left(\frac{\partial \sigma_S}{\partial \varepsilon_i} + \frac{\partial \sigma_S \cdot dt}{\partial t \cdot d\varepsilon_i} \right) d\varepsilon_i. \quad (2.70)$$

З попередніх пунктів а і б перепишемо вирази формул (2.62) і (2.67)

$$\begin{aligned} \sigma_S &= c(B + \varepsilon_i)^n \text{ при } t = \text{const} \\ \sigma_S &= \sigma_{S_0} \cdot e^{-\alpha \Delta t} \text{ при } \varepsilon_i = \text{const} \end{aligned} \quad (2.71)$$

Беремо приватні похідні від виразів (2.62) та (2.67)

$$\frac{\partial \sigma_S}{\partial \varepsilon_i} = \frac{n \cdot \sigma_S}{(B + \varepsilon_i)} \quad (2.72)$$

$$\frac{\partial \sigma_S}{\partial t} = -\sigma_{S_0} \cdot \alpha \quad (2.73)$$

Від рівняння (2.76) напишемо:

$$\frac{dt}{d\varepsilon_i} = \frac{\sigma_S}{\zeta \cdot \rho \cdot c} \quad (2.74)$$

Підставляючи значення з рівнянь (2.72), (2.73), (2.74) у вираз (2.70), маємо:

$$\frac{d\sigma_S}{d\varepsilon_i} = \frac{n \cdot \sigma_S}{(B + \varepsilon_i)} - \frac{\alpha \cdot \sigma_S^2}{\zeta \cdot \rho \cdot c} \quad (2.75)$$

Інтегруючи і дотримаючи первинних умов, отримаємо:

$$\int \frac{d\sigma_S}{\sigma_S} = - \int \alpha \cdot \frac{\sigma_S \cdot d\varepsilon_i}{\zeta \cdot \rho \cdot c} + \int \frac{n}{B + \varepsilon_i} \cdot d\varepsilon_i, \quad (2.76)$$

враховуючи рівняння (2.71), де $\frac{\sigma_S \cdot d\varepsilon}{\zeta \cdot \rho \cdot c} = dt$ та знаючи, що $\Delta t = t_2 - t_1 = t$, отримаємо:

$$\begin{aligned} \ln \sigma_S &= -\alpha \Delta t + n \ln(B + \varepsilon_i) + c, \\ \sigma_S &= c_1 (B + \varepsilon_i)^n \cdot e^{-\alpha \Delta t} \end{aligned} \quad (2.78)$$

Значення c_1 постійної може бути знайдено за умови $\sigma_S = \sigma_{S_0}$, при $\Delta t = 0$; $\varepsilon_i = 0$:

$$c_1 = \frac{\sigma_{S_0}}{B^n} \quad (2.79)$$

де σ_{S_0} - границя плинності металу при $t = 20^\circ$ і $\varepsilon = 0$. Константи B , n і α визначено вище.

2.4.4 Залежність межі плинності від швидкості деформації

В даний час є кілька теорій, які встановлюють опір деформації від швидкості деформації. Найбільш поширена це теорія з [27]. За цією теорією хід пластичного деформування визначається «конкуренцією» двох процесів: зміцнення і відпочинку. Зміцнення, в основному, визначається з ступенем деформації. Під відпочинком маємо на увазі зняття зміцнення з плином часу. Ступінь відпочинку при даній температурі визначається за часом.

Тут мається на увазі відпочинок, який протікає протягом процесу деформування. В залежності від швидкості деформації чи від часу, протягом якого відбувається процес деформування, напруга в тій або іншій мірі знижується завдяки відпочинку. [27] пропонує формулу для визначення межі текучості у залежності від швидкості деформації в наступному вигляді:

$$\sigma_S = \sigma_{S_0} \left(\frac{l_0}{l} \right)^{b - \frac{a}{\dot{\epsilon}}} \quad (2.80)$$

- де σ_S - границя плинності за будь-якої швидкості;
 σ_{S_0} - границя плинності при нульовій швидкості;
 b - коефіцієнт зміцнення, який не залежить від температури;
 a - коефіцієнт, який залежить від температури та речовини;
 $\dot{\epsilon}$ - швидкість деформації.

Формула (2.80) в основному правильно відображає залежність опору деформації від швидкості деформації, але і вона має ряд істотних недоліків, на які вказано в [27]. У зв'язку з цим, для визначення значення межі плинності залежності від швидкості деформації була прийнята формула, яка

виведена на основі експерименту задля постійної істинної деформації і температури:

$$\sigma_S - \sigma_{S_1} = D \cdot \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_1} \right), \quad (2.81)$$

де σ_{S_1} - границя плинності, що відповідає швидкості деформації $\dot{\epsilon}_1$;

σ_S - границя плинності, що відповідає швидкості деформації $\dot{\epsilon}$.

Можна представити відношення $\left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_1} \right)$ у вигляді:

$$\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_1} = 1 + \frac{\dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}_1}{\dot{\epsilon}_1}. \quad (2.82)$$

І, якщо швидкість деформації $\dot{\epsilon}_1$ вважати повільною (статичною), то і проведені випробування при ній дадуть статичну межу плинності σ_{S_0} і

$$\dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}_1 \approx \dot{\epsilon}. \quad (2.83)$$

Підставляючи значення рівнянь (2.82) і (2.83) у рівняння (2.81), отримаємо:

$$\sigma_S - \sigma_{S_0} = D \cdot \ln(1 + B' \cdot \dot{\epsilon}), \quad (2.85)$$

де D , B' це емпіричні постійні, що визначаються експериментальним шляхом.

З проведених випробувань на відпаленій міді було знайдено, що B' близько одиниці, а $\frac{D}{\sigma_{S_0}}$ близько 0,04; для алюмінію B' теж порядку одиниці, а $\frac{D}{\sigma_{S_0}}$ близько 0,022.

Значить:

$$\text{для алюмінію} \quad \frac{\sigma_S - \sigma_{S_0}}{\sigma_{S_0}} = 0,022 \cdot \ln(1 + \dot{\epsilon}). \quad (2.86)$$

2.4.5 Залежність істинного опору від ступеня температури і швидкості деформації

З урахуванням формул (2.79) і (2.85), вираз для елементарного уявлення залежності істинного опору від величини деформації, швидкості деформації і температури буде мати вигляд:

$$\sigma_{\partial} = c_1 (B + \epsilon_i)^n \cdot e^{-\alpha \Delta t_m} + D \cdot \ln(1 + B' \cdot \dot{\epsilon}). \quad (2.87)$$

Висновок

Теоретичний аналіз силового режиму і тепловиділення при видавлюванні дає такі результати:

При видавлюванні заготовки з мастилом коефіцієнт зовнішнього тертя дорівнює 0,1 питоме зусилля деформації практично не відрізняється від отриманого експериментально [24].

Проаналізована можливість використання наведених формул для визначення істинного опору в залежності від температури нагріву заготовки, швидкості деформації і самої деформації при видавлюванні.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ І МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

3.1 Способи холодного видавлювання

В літературі згадується 3 способи холодного видавлювання.

Пряме видавлювання - течія металу відбувається в напрямку прикладання тиску тобто в бік руху пуансона. Застосовується для отримання масивних виробів. Діаметр деталей від 3мм до 100мм.

В якості заготовок для видавлювання можуть бути використані: суцільна масивна деталь, товстостінна порожниста деталь, шайба. Відношення між товщиною заготовки і товщиною стінки виробу повинно складати приблизно від 25:1 до 4:1.

Процес видавлювання здійснюється в короткий проміжок часу $\left(\frac{1}{15} \div \frac{1}{60} \text{ сек}\right)$ і тепло не встигає передатися інструменту.

Зворотне видавлювання - течія металу відбувається в напрямку, зворотному прикладанню тиску, тобто у зворотний бік робочого ходу повзуна. Виготовляють деталі круглої, квадратної, прямокутної, овальної і іншої складної форми з однаковим поперечним перерізом по всій довжині та діаметром від 8 до 100мм.

Комбіноване видавлювання – симбіоз прямого та зворотного видавлювання. Метал тече одночасно в напрямку прикладання тиску і в зворотному напрямку. Застосовується для виготовлення порожнистих виробів складної форми з відростками різного профілю і багатьох інших.

Кращим, з точки зору обробки, після свинцю і олова є алюміній марки А00. Застосування алюмінієвих сплавів обмежується міцністю інструменту. Відмінні результати видавлюванням показує алюміній,.

3.2 Теоретичні основи процесу холодного видавлювання

3.2.1 Напружено-деформований стан при видавлюванні

Під дією силового впливу метал деформуються і форма змінюється без руйнування металу. При видавлюванні пластичність металу ґрунтується на властивості ковзання без порушення цілісності взаємно ковзаючих шарів.

Перехід тіла з стану вільного в стан пружне, а потім в пластичний стан здійснюється під дією виникаючих в тілі напружень, що є наслідком впливу зовнішніх сил, в тому числі і сили тертя.

Цей перехід відбувається, не в повному об'ємі тіла одночасно, а в першу чергу в певних зонах – осередках деформації. При холодному видавлюванні осередок деформації прогресує поблизу зазору що калібрує.

Будь-який нескінченно малий елемент, виділений в осередку деформації, відчуває дію навколишнього металу або стінок інструменту, яка приводить до його формозміни.

В загальному випадку, напружений і деформований стан у будь-якій точці тіла визначається тензором напружень та тензором деформацій. Тензор напружень T_σ є сукупністю корисних σ і дотичних τ напружень, які діють за трьома взаємно перпендикулярними майданчикам нескінченно малого елемента тіла, або що також, в напрямку осей x, y, z . Тензор деформації T_ϵ це сукупність лінійних ϵ і кутових γ деформацій, які відбуваються за тими ж майданчикам виділеного елемента.

Можна представити тензор напружень як суму двох тензорів: кульового тензора та девіатора напруги:

$$T_\sigma = [T_\sigma^\circ] + [D_\sigma]. \quad (3.01)$$

Девіатору напруги відповідає зміна форми елемента тіла без зміни об'єму, інакше кажучи пластична формозміна.

Кульової тензор напруги $[T_\sigma]$ виражає собою виділений із загального напруженого стану середнє всебічне рівномірне розтягування чи стиснення.

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_{\text{ср}} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\text{ср}} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\text{ср}} \end{vmatrix} \quad (3.02)$$

Йому відповідає зміна об'єму тіла. Величина $\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}$ називається середнім (або гідростатичним) тиском у точці.

При деформації кристалічної структури металу та при видавлюванні необхідно, щоб діючі дотичні напруги або різниця головних напруг досягали певного граничного значення (K_f), що зазвичай визначаються як істинна напруга при лінійному статичному розтягуванні.

Таким чином, при видавлюванні справедливою є умова пластичності, за якою слідує що

$$\sigma_z - \sigma_x = K_f = 2T_{\text{max}}; \quad (3.03)$$

де σ_z - напруга стиснення, яка діє уздовж осі;

σ_x - напруга стиснення, яка діє в поперечному напрямку;

$$\sigma_x = \sigma_y.$$

Тіло чи його частина переходить у пластичний стан тоді, коли інтенсивність напружень стає рівною межі плинності:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \frac{1}{2}(\sigma_y - \sigma_z)^2 + \frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 3\tau_{xy}^2 + 3\tau_{yz}^2 + 3\tau_{zx}^2} = \sigma_T. \quad (3.04)$$

Зі збільшенням напруги всебічного стиснення пластичність матеріалів збільшується.

3.3 Опис конструкції штампів для холодного видавлювання

В нашому випадку для проведення експерименту з отримання деталі сердечник із алюмінію (АД31 ГОСТ 4784-97) (див. рис. 3.1)

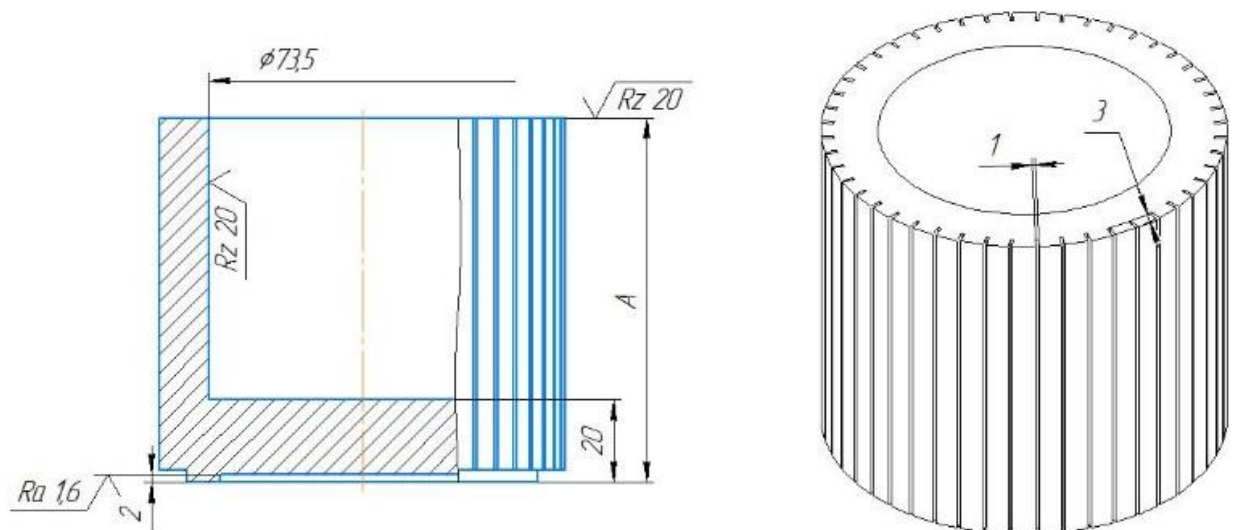


Рисунок 3.1 – Креслення деталі сердечник

Сконструйована та виготовлена матриця (див. рис. 3.1 та 3.2)

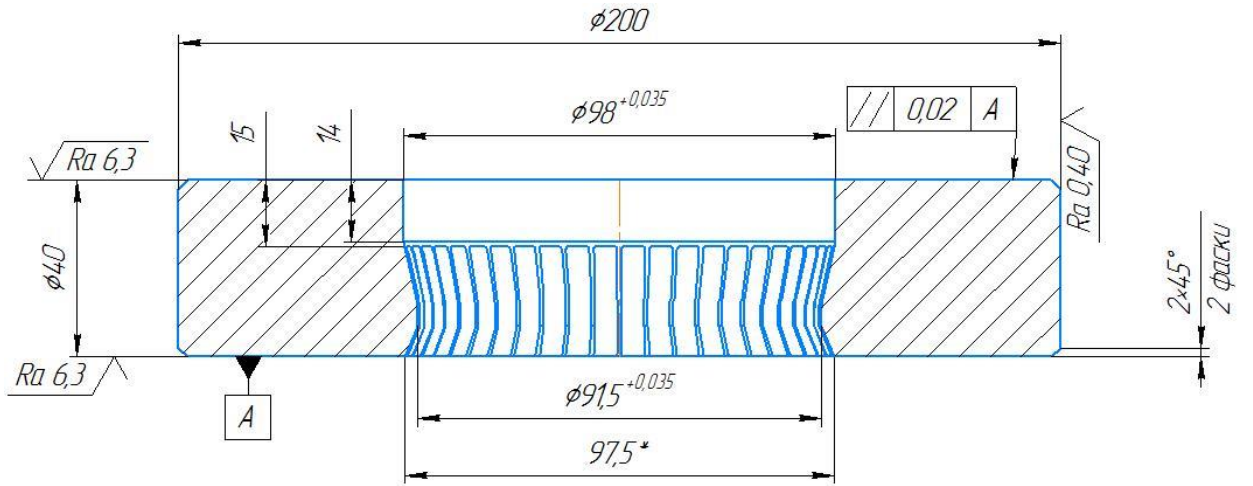


Рисунок 3.2 – Креслення експериментальної матриці



Рисунок 3.3 – Експериментальна матриця



Рисунок 3.4 – Експериментальна матриця встановлена на пресі

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИДАВЛЮВАННЯ ПАЗІВ ДЕТАЛІ

Експериментальні дослідження були виконані з ціллю оцінки правильності обраної технології виготовлення деталі сердечник.

Випробування проводилися на пресі типу ПГ-100А(УВМ100) (рис. 4.1) котрий має наступні параметри:

- Максимальна статична загрузка при випробуваннях на стиснення – 100 т;
- Максимальний згинаючий момент при випробуваннях на поперечний згин – 7.5т/м;
- Розтягнення між опорами на стиснення – 1000 мм;
- Граничний хід поршня грузового циліндру– 200 мм.



Рис. 4.1 – Експериментальне устаткування для витягування.

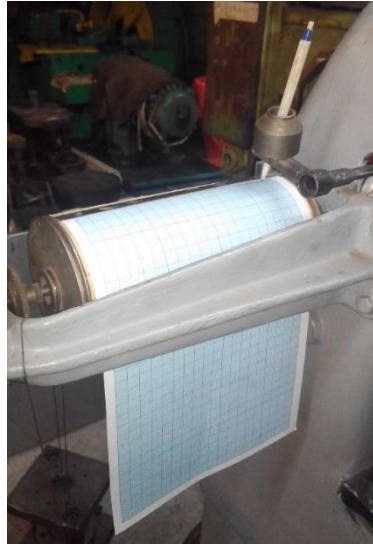


Рис.4.2 – Самописець



Рис. 4.3 – Экспериментальный штамп

4.1. Експериментальне моделювання процесу видавлювання

Експериментальні випробування проводились з метою оцінки правильності обраної технології виготовлення деталі сердечник. Для аналізу була вибрана деталь стакан, матеріал – алюмінію (АД31 ГОСТ 4784-97).

Для змащення при видавлюванні застосовувалося веретенне масло, солідол, та ін.

При видавлюванні вимірювалися такі параметри:

- зусилля штампування;
- величина ходу;
- висоти по переходах;
- використання різних типів змащування.
- форма, розміри, якість частин інструменту
- швидкість деформації

4.2. Експериментальні дослідження впливу зусилля при видавлюванні

Видавлювання є поширеним технологічним процесом. Особливістю процесу є те, що максимальне значення зусилля деформації досягається на початку процесу деформування і знижується до нуля наприкінці процесу. У цьому випадку зміни активного ходу повзуна не відбувається, тобто база деформації не змінюється, а зміщується тільки максимум зусиль.

Під час проведення експерименту реєструвалися: переміщення пуансона з інтервалом в 5мм, зусилля деформації. Розшифровка отриманих

результатів дозволила встановити, що максимальне зусилля деформації 50 кН.

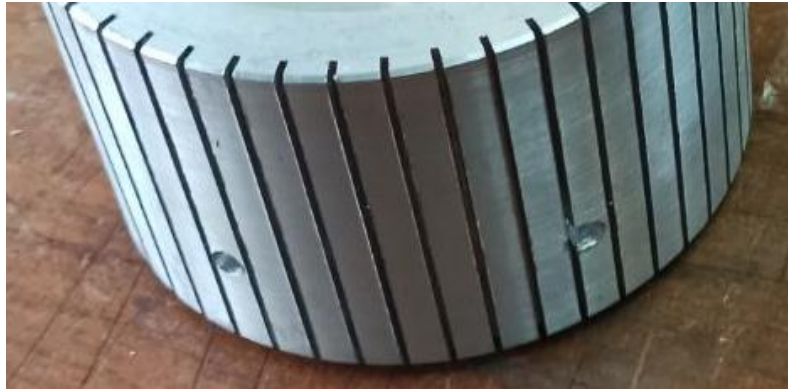


Рисунок 4.4 – Фотографія отриманих пазів за допомогою механічної обробки



Рисунок 4.5 – Фотографія отриманих пазів за допомогою видавлювання



Рисунок 4.6 – Фотографія отриманих зразків



Рисунок 4.7 – Фотографія отриманих зразків

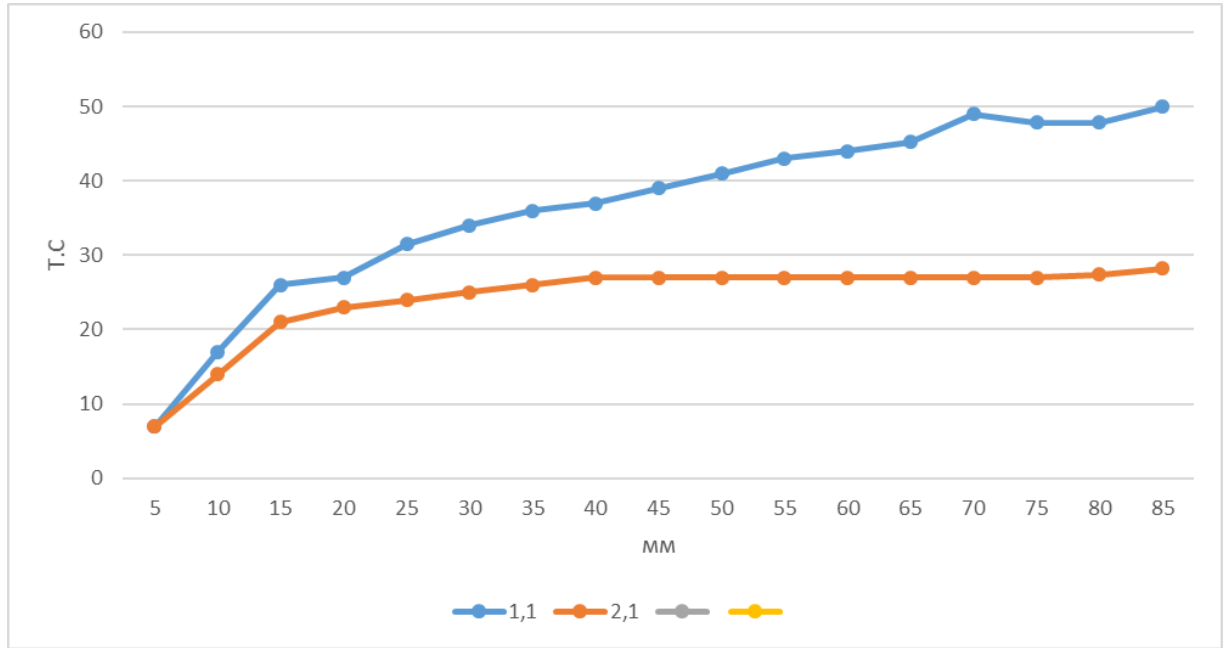


Рис. 4.8 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі (без отв)90

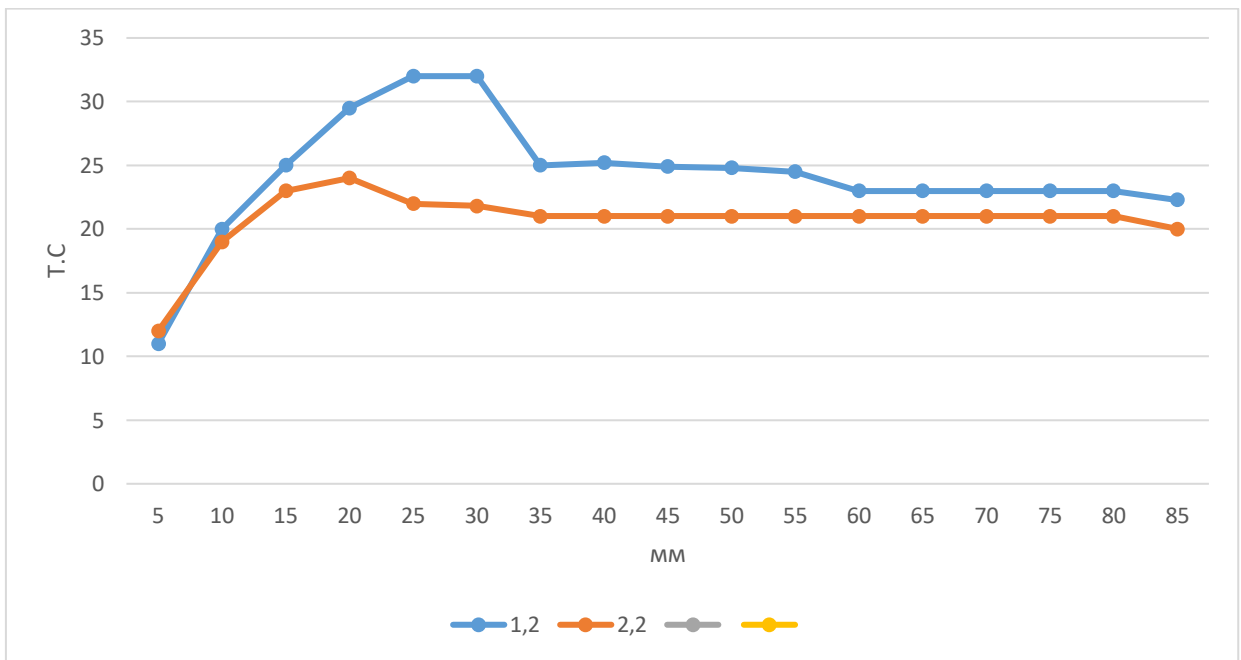


Рис. 4.9 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі 1(с отв)90

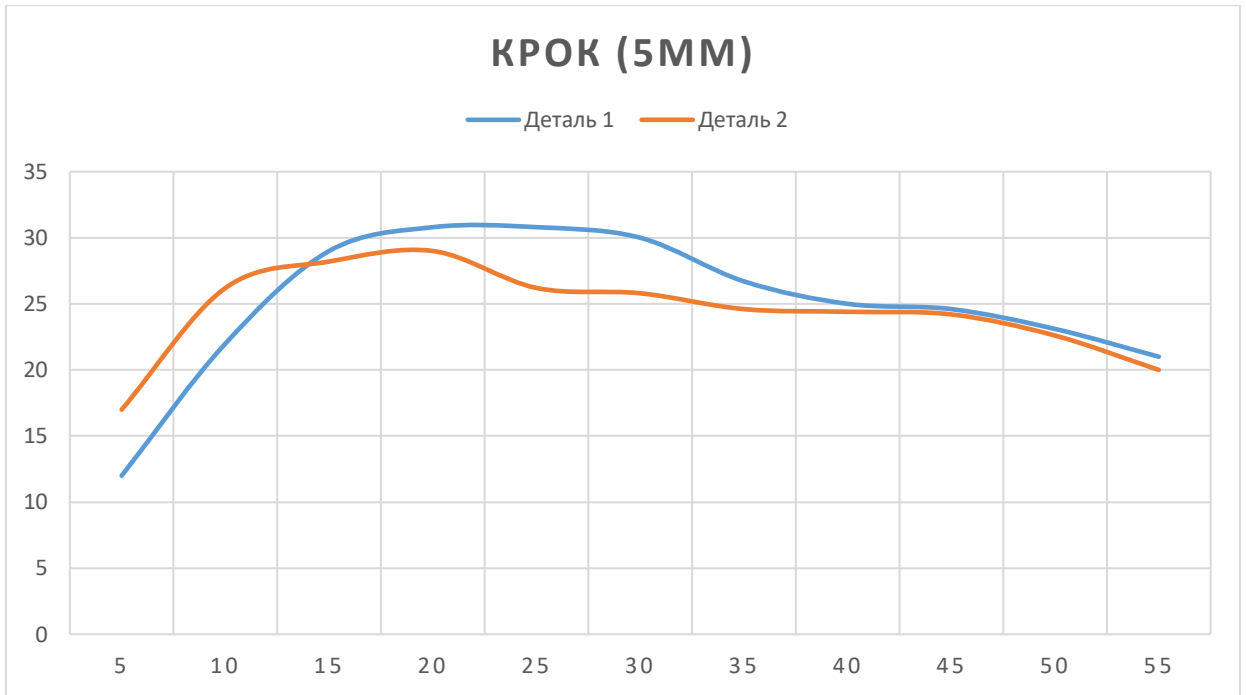


Рис 4.10 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі 2(5мм)с отвором

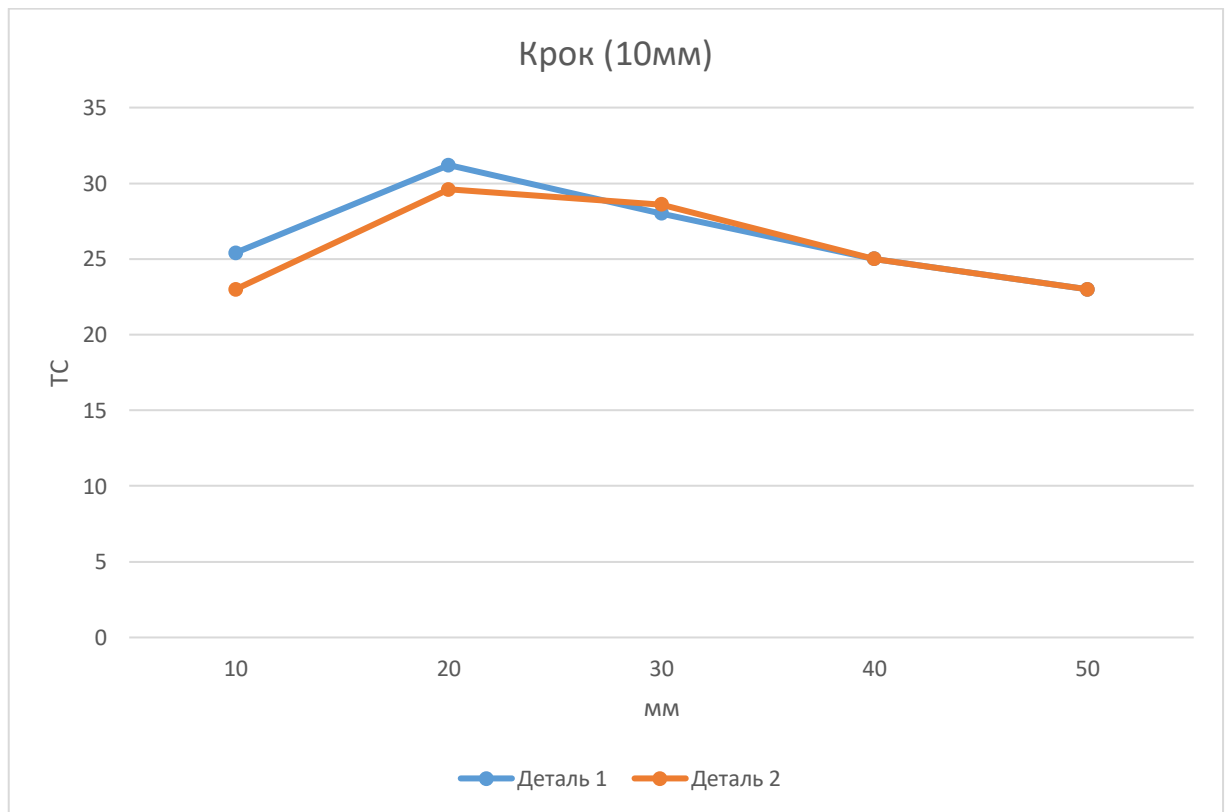


Рис. 4.11 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі 2(10мм)с отвором

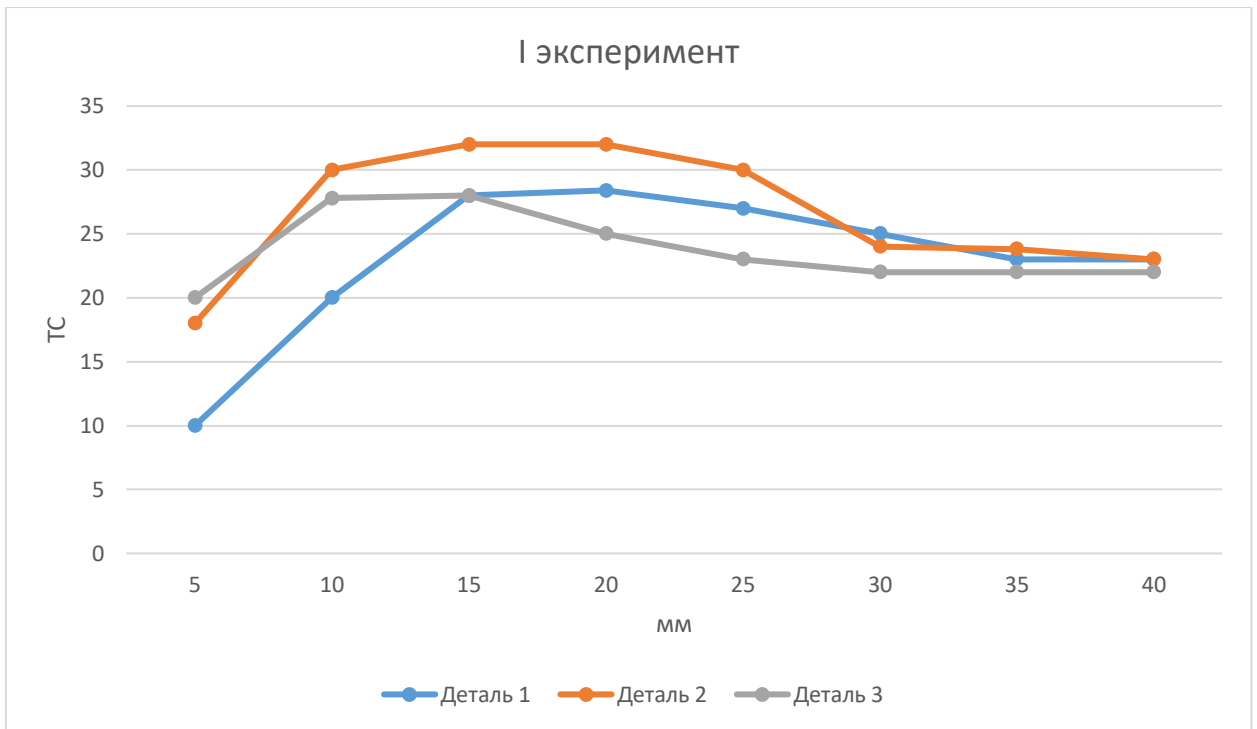


Рис. 4.12 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі 3.1

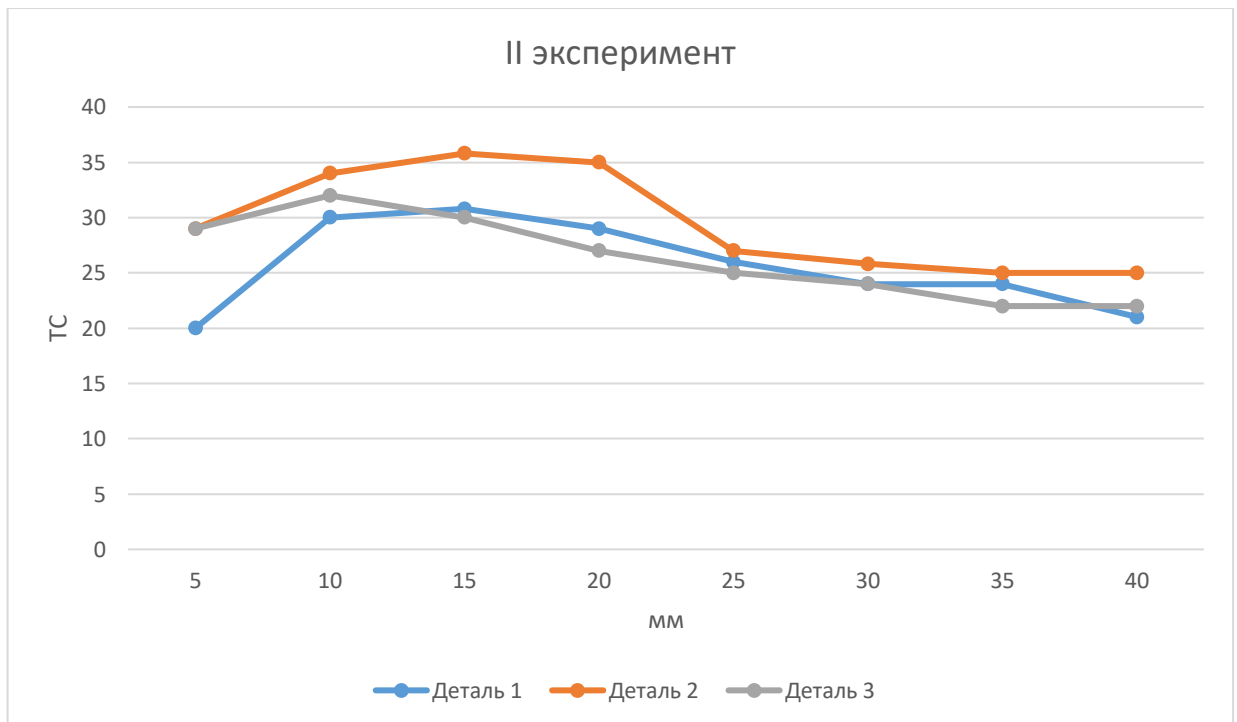


Рис. 4.13 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі 3.2

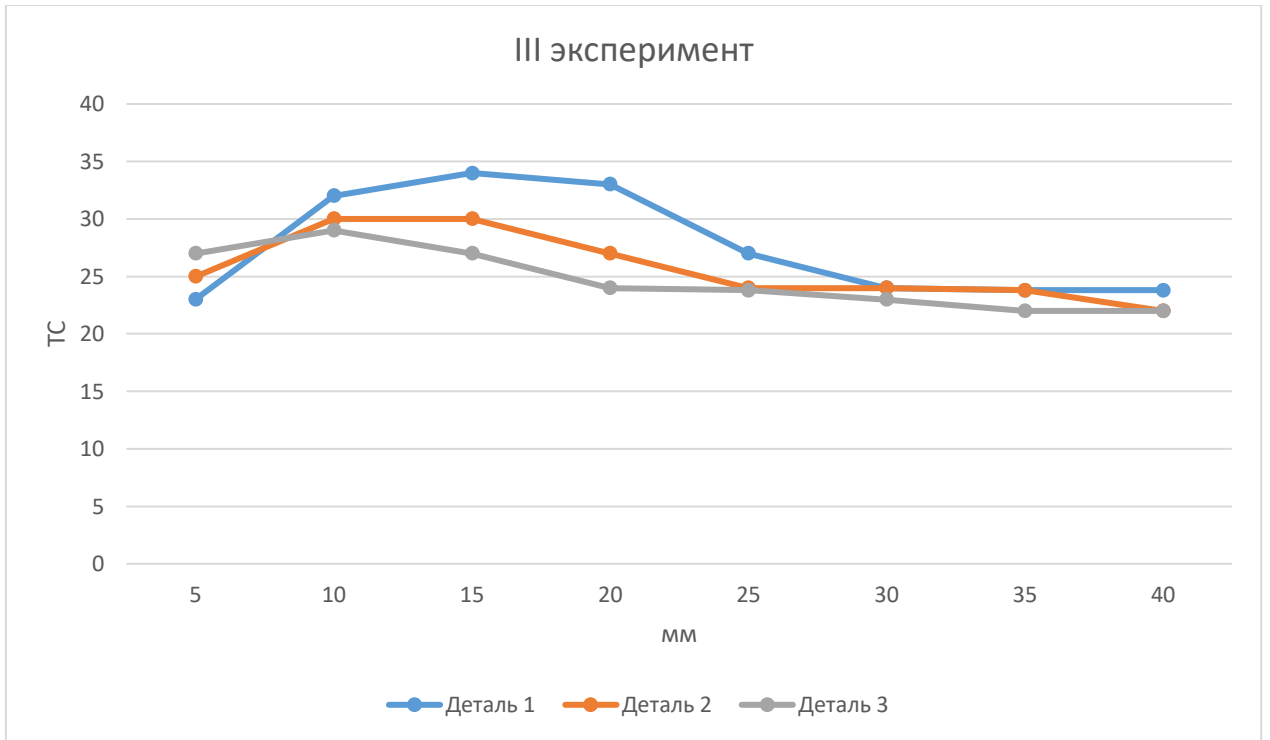


Рис.4.14 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі 3.3

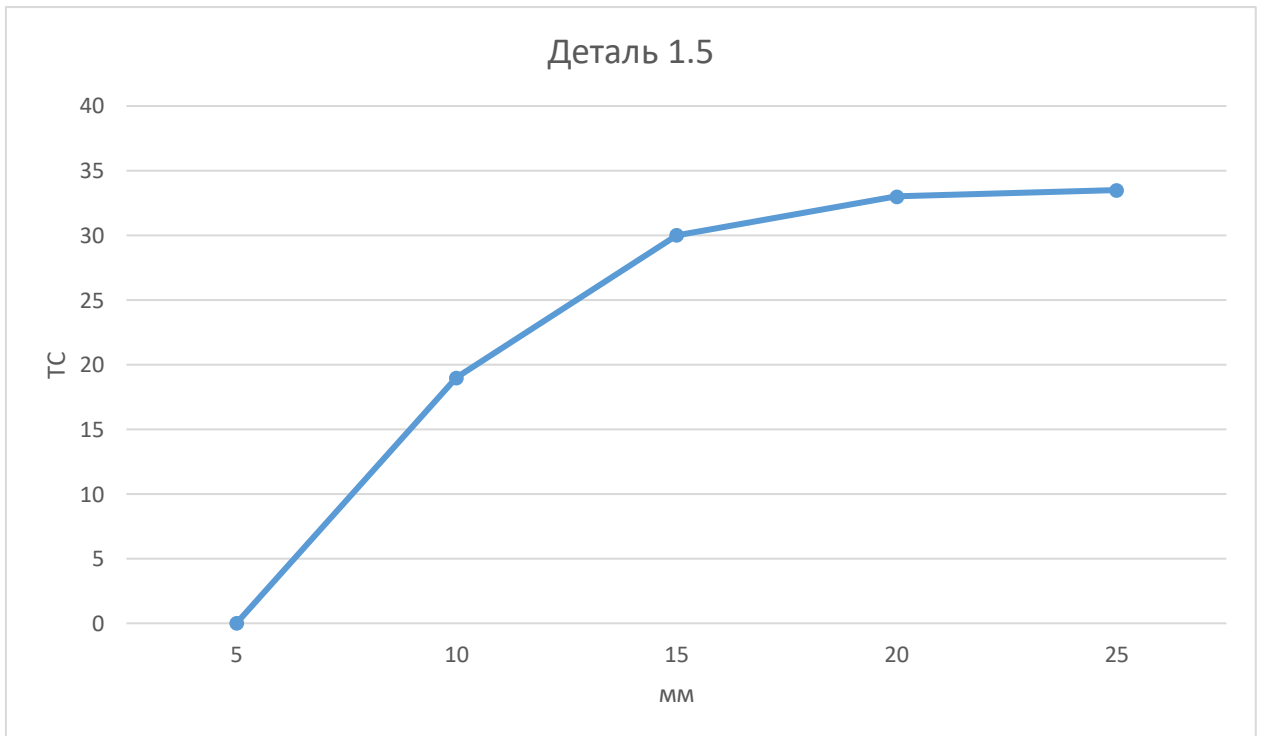


Рис. 4.15 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі 1.5

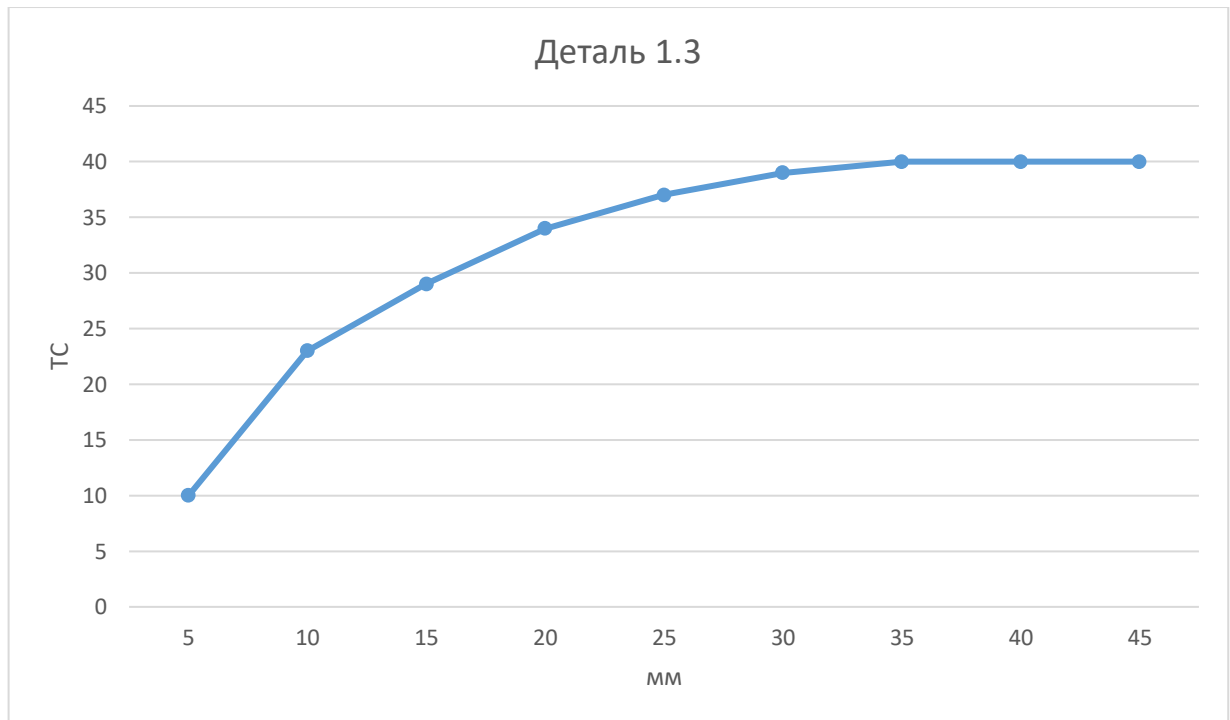


Рис.4.16 – Залежність зусилля від деформованої частки деталі 1.3

4.3. Методика оцінки величини розбіжності експериментальних даних і відтворюваності результатів

Оцінку величини розбіжності експериментальних даних проводили в наступній послідовності [73, 78]:

- визначили абсолютну похибку і-того виміру

$$\Delta a = a - a_i, \quad (4.1)$$

де: a - істинне значення вимірюваної величини;

a_i - безпосередньо і-те вимірювання величини.

- визначили середнє арифметичну величину математичного очікування

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=5} a_i, \quad (4.2)$$

де: n - число вимірювань знайдене раніше.

- знайшли величину

$$a_o = \bar{a} + \frac{1}{n} \sum (a_i - \bar{a}), \quad (4.3)$$

- визначили різницю середньоарифметичної величини математичного очікування

$$\bar{a} - a_o, \quad (4.4)$$

- визначили середньоквадратичну помилку похибка результату серії вимірювань

$$S_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (a_i - a_o)^2 - n \left(\bar{a} - a_o \right)^2}{n(n-1)}}, \quad (4.5)$$

- при заданому коефіцієнті Стюдента $t\alpha$ визначили величину абсолютної похибки

$$\Delta a = t\alpha \cdot S_{\bar{a}}, \quad (4.6)$$

- визначили інтервал, в який потрапляє істинне значення вимірюваної величини із заданою вірогідністю α (в нашому випадку $\alpha = 0,95$)

$$Ia = \left(\bar{a} - \Delta a; \bar{a} + \Delta a \right), \quad (4.7)$$

- визначили відносну похибка вимірювання:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta a}{\bar{a}} \cdot 100\% . \quad (4.8)$$

За викладеної вище послідовності справили відповідні обчислення. Результати обчислень для найбільш важливих параметрів наведені в таблиці 4.1.

4.4. Оцінка відтворюваності результатів

Оцінку відтворюваності результатів провели за критерієм Кокрена:

$$G_1 \leq G_{kp}. \quad (4.9)$$

В нашому випадку

$$G_{kp} = 0,5063. \quad (4.10)$$

Використовуючи результати обчислень для найбільш важливих параметрів, визначили величину:

$$\sum S \bar{a}^2. \quad (4.11)$$

Визначаємо коефіцієнт

$$G = S \bar{a}^2_{\max} / \sum S \bar{a}^2. \quad (4.12)$$

Перевіряємо умову, наведене вище

$$G \leq G_{kp}$$

Результати обчислень для параметрів, за якими проводилась оцінка величини розбіжності експериментальних даних наведені на рис.4.8 - 4.9.

Наведені обчислення показують, що все вибірки однорідні, отже, фактора, що вносить велику похибку, не буде. Гіпотеза однорідності також підтверджується, оскільки:

$$G = 0,28 < G_{kp} = 0,5063$$

Далі представлені результати експериментального моделювання процесів штампування.

Висновки

Порівняння процесів механічної обробки та видавлювання проводили на деталі сердечник із алюмінію (АД31 ГОСТ 4784-97), яка зображена на

рисунку 4.4. Необхідно було отримати 48 пазів (ширина 1мм, глибина 3мм). Висота деталі 90мм.

Механічна обробка здійснювалась на фрезерному верстаті з ЧПК. Пази на одній деталі виготовлялись на протязі однієї години.

Через властивості матеріалу що обробляється під час виготовлення пазу підвищувалась температура як матеріалу так і інструменту. В результаті по всій довжині паз мав відхилення від геометричних розмірів. Після нарізання всіх 48 пазів ще додалися суттєві відхилення по кроку між пазами (рисунок 4.5).

Для отримання пазів за допомогою операції видавлювання була спроектована та виготовлена експериментальна матриця (рисунок 4.6, 4.7) зі змінним кутом нахилу робочої частини.

Заготовка прошовувалась крізь робоче вікно матриці (рисунок 4.7) і одночасно видавлювались 48 пазів. Операція здійснювалась на гідравлічному пресі.

В даному випадку холодне видавлювання має переваги в порівнянні з механічною обробкою. Основна перевага полягає в тому, що впровадження цієї технології дозволяє усунути повністю або ж знизити до мінімуму втрати металу в відходи, наприклад, стружку. Холодне видавлювання дозволяє досягти за одну операцію виключно велику міру деформації (до 99%), знизити трудомісткість і собівартість деталей за рахунок скорочення кількості операцій і залученого обладнання, збільшити продуктивність праці завдяки комплексної механізації і автоматизації процесу. Чистота поверхні деталі після видавлювання коливається від 1 до 6мк. Безумовно, що поряд з певними перевагами цьому процесу властиві і недоліки: обмеженість числа сплавів, що піддаються обробці холодним видавлюванням (особливо для деталей складної форми) та великі питомі зусилля деформації.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У розділі представлені основні заходи при дослідженні способів виготовлення деталей складної форми з алюмінієвих сплавів, які подані у додатку А.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Романовський В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовський // Машиностроение, Ленинград, изд-во. – 1971. – 783с.
2. Шофман Л.А. Элементы теории холодной штамповки [Текст]/ Л.А. Шофман // Оборонгиз, изд-во. –1952.
3. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением [Текст]/ М.В. Сторожев, Е.А. Попов // М: Машиностроение изд-во. – №2. –1963.
4. Губкин С.И. Теория обработки металлов давлением [Текст]/ С.И. Губкин // Металлоиздат, изд-во. –1947.
5. Филимонов Ю.Ф. Холодное выдавливание стержневых и пустотелых деталей. Прогрессивная технология и вопросы автоматизации кузнечно-штамповочного производства [Текст]/ Ю.Ф. Филимонов // ЭНИКМАШ Кн.3. Машгиз, – 1960.
6. Фаворский В.Е. Холодная штамповка выдавливанием [Текст]/ В.Е. Фаворский // М-Л, Машиностроение, – 1966.
7. Глебов И.Ф. Холодное выдавливание металлов [Текст]/ И.Ф. Глебов // М, – 1961.
8. Морин И.С. К вопросу жесткости кривошипных прессов. Сб.МВТУ. Машины и технологи обработки металлов давлением [Текст]/ И.С. Морин // М. Машгиз, – 1951.
9. Овчинников А.Г. О выборе кривошипного прессы для вытяжки. Кузнечно-штамповочное производство [Текст]/ А.Г. Овчинников // – 1961, –№1.
10. Назаренко Е.С. Расчет энергетической характеристики кривошипных прессов простого действия. Исследования и расчеты

машин кузнечно-штамповочного производства [Текст]/ Е.С. Назаренко // ЭНИКМАШ. Кн.1. – М. Машгиз, – 1959.

11. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование “Прессы” [Текст]/ Л.И. Живов, А.Г. Овчинников // Харьков. издательство ХГУ им. А.И. Горького, – 1966.

12. Ланской Е.П. Кузнечно-штамповочное производство [Текст]/ Е.П. Ланской //, – 1965, – №2

13. Живов Л.И. Цикловые к.п.д. и потери энергии кривошипных прессах [Текст]/ Л.И. Живов //– Известия вузов. Машиностроение, –1965, – №5.

14. Живов Л.И. Коэффициент полезного действия рабочего хода кривошипных прессов [Текст]/ Л.И. Живов // – Известия вузов. Машиностроение, – 1964, – №8.

15. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. Том 3 [Текст]/ С.И. Губкин // М, Metallurgizdat, – 1961.

16. Живов Л.И. Обратное выдавливание на кривошипных прессах крупногабаритных алюминиевых деталей [Текст]/ Л.И. Живов, В.И. Дубина // Машиностроение, – 1965, – №5.

17. Живов Л.И. Особенности термомеханического режима обратного выдавливания [Текст]/ Л.И. Живов, В.И. Дубина // Технологии машиностроения. Киев, КПИ, – 1966, – №3.

18. Живов Л.И., Усовершенствование технологии производства алюминиевой тары [Текст]/ Л.И. Живов, В.И. Дубина //– технический. отчет по теме №16., – 1964.

19. Кириллов И.Г. Теория обработки металлов давлением [Текст]/ И.Г. Кириллов // изд-во «Высшая школа», – 1965.

20. Пономарев В.И. Исследование некоторых факторов, влияющих на удельное давление при холодном выдавливании полых, тонкостенных деталей из легких сплавов [Текст]: Дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук./ В.И. Пономарев // – 1961.

21. Ураков Ю.Ф. Исследование температурного эффекта пластической деформации при некоторых операциях обработки металлов давлением [Текст]: автореф. канд. дис. / Ю.Ф. Ураков // МВТУ, –1965.

22. Головин В.А., Технология холодной штамповки выдавливанием [Текст] / В.А Головин, А.Н. Митькин, А.Г. Резников. // М, Машиностроение, – 1970. – 152с.

23. Е.И. Семенов Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах [Текст] / Семенов Е.И. // М Машиностроение, – 1987.

24. Дубина В.И. Исследование энергоемкости штамповки полых изделий при обратном выдавливании и вытяжке на кривошипных прессах [Текст] / В.И. Дубина; Дис. ...канд.тех.наук. // – Харьков, – 1966. – 200с.

25. Эверхарт Д. Холодное прессование [Текст]/ Д. Эверхарт // М. Машиностроение, – 1968. – 145с.

26. Евстратов В.А. Оптимизация технологических процессов и конструкций штампов для холодного и полугорячего выдавливания [Текст]/ В.А. Евстратов // М. ВНИИ-ТЭМП, – 1989. – 192с.

27. Уик Ч. Обработка металлов без снятия стружки [Текст]/ Ч. Уик // М. Мир, – 1980. – 250с.

28. А.В. Алифанов Технологические процессы пластического деформирования в машиностроении [Текст]: учеб. пособие для студентов технических вузов/ А.В. Алифанов, Л.В. Захаревич, Е.М. Макушок, Л.Д. Оленин, // Минск. Наука и техника, – 1989. – 208с.

29. Навроцкий Г.А. Холодная объемная штамповка [Текст]/ Г.А. Навроцкий // М. Машиностроение, – 1973. – 496с.

30. Прозов Л. В. Прессования стали и тугоплавких сплавов [Текст]/ Л.В. Прозов // М. Машиностроение, Москва, издание. – 1969.— 244 с

31. ДНАОП 1.1.10-1.01-2000 [Электронный ресурс]. Правила безпечної експлуатації електроустановок – споживачів.[Затверджено наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 6 жовтня 1997 р. N 257]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0011-98#Text>

32. НПАОП 0.00–4.12.05 [Электронный ресурс]. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (32368) [затверджений наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 N 15]. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/32368/doc%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00%E2%80%934.12.05

33. ДБН В.2.5-28-2006 [Электронный ресурс].Природне і штучне освітлення.[затверджений наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 15 травня 2006 р. № 168]. – Режим доступу: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf>

34. ДСП 173-96 [Электронный ресурс].Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів.[Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р. N 173]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text>

35. ДСН 3.3.6.042-99 [Электронный ресурс]. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [затверджено: постановою Головного Державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>»

36. ДБН В.2.5-67:2013 [Электронный ресурс]. Опалення, вентиляція та кондеціонування [затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 25.01.2013 р. № 24 та від 28.08.2013 р. №410].

– Режим доступа:
https://dnaop.com/html/32609/doc%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%92.2.5-67_2013

37. Сплавы алюминия [Электронный ресурс].– Режим доступа:
<https://aluminium-guide.com/aluminievye-splavy-klassifikacija-primenenie-svojstva-kharakteristik/>