МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
___Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки__

Кваліфікаційна робота / проєкт

_____Перший (бакалаврський)_____
(рівень вищої освіти)

на тему **_Удосконалення технології осадки заготовок зі сталі ЕП708-ВД бойками з осьовим отвором при співвідношенні діаметрів отвору і заготовки 0,350, 0,550 і 0,725**

Виконав: студент __IV_ курсу, групи 6.1363-омт-с2
спеціальності _____136 Металургія_____
(код і назва спеціальності)
освітньої програми ___Обробка металів тиском__
(код і назва освітньої програми)
_____І. С. Шевченко_____
(ініціали та прізвище)

Керівник
доц. каф. МТЕТБ, с.н.с., к.т.н. В.М. Проценко

Рецензент
доц. каф. МТЕТБ, доц., к.т.н. О.С. Воденнікова

Запоріжжя – 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально – науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра ____металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___
Рівень вищої освіти __перший (бакалаврський) рівень_____
Спеціальність _____136 «Металургія»_____
(код та назва)
Освітньо-професійна програма _____Обробка металів тиском_____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

_____Ю.О. Бєлоконь

“ 09 ” ___02_____2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____Шевченку Івану Сергійовичу_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) ***Удосконалення технології осадки заготовок зі сталі ЕП708-ВД бойками з осьовим отвором при співвідношенні діаметрів отвору і заготовки 0,350, 0,550 і 0,725_____***

керівник роботи (проєкту)__Проценко Віктор Максимович, к.т.н., с.н.с.____,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “23” 12 25 р. № 1831-с

2. Строк подання студентом роботи _____01 червня 2026 року_____

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проєкти, технічна документація КПЦ ПрАТ «Дніпроспецсталь», літературні джерела, інтернет-ресурси_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідження течії металу та механіко-кінематичних параметрів процесу осадження циліндричних заготовок

бойками з осьовим отвором для промислового застосування; знаходження формул для аналітичного визначення об'єму та площі поверхні бочки, встановлення видів бочок, утворення яких можливе на різних стадіях процесу осадження заготовки.

Надати характеристику і призначення процесу осадження циліндричної заготовки плоскими бойками з осьовим отвором; навести схеми процесу осадження циліндричних заготовок плитами з осьовим отвором при співвідношенні діаметрів отвору і заготовки 0,350, 0,550 і 0,725 зі сталі ЕП708-ВД; дослідити фактори, що впливають на характер формозміни заготовки і схеми течії матеріалу заготовки; визначити формули для розрахунку об'єму і площі поверхні заготовки при моделюванні осадки на пресі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення профілів вільної бокової поверхні зразка у програмному комплексі AutoCAD Mechanical, схеми обладнання, графіки залежностей, меридіальні розрізи зразків в залежності від ступеня обтиснення тощо.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–4, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання __09.02.2026 року.__

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	09.02.26 – 06.03.26	
2.	Розділи 2 - 3	09.03.26 – 30.04.26	
3.	Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	04.05.26 – 29.05.26	

Студент _____ (підпис) **Шевченко І.С.** (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ (підпис) **Проценко В.М.** (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ (підпис) **Бєлоконь Ю.О.** (прізвище та ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка бакалаврської роботи містить: _62_ с., _29_ рис., _14_ табл.; використано літературних джерела _15_.

Об'єкт дослідження – осадження заготовок плоскопаралельними плитами, зокрема з осьовим отвором.

Метою бакалаврської роботи є дослідження течії металу та механіко-кінематичних параметрів процесу осадження циліндричних заготовок бойками з осьовим отвором для промислового застосування; знаходження формул для аналітичного визначення об'єму та площі поверхні бочки, встановлення видів бочок, утворення яких можливе на різних стадіях процесу осадження заготовки зі сталі ЕП708-ВД.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків у програмних комплексах Mathcad Prime 11, Excel. Аналітичні розрахунки на основі математичних моделей і комп’ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020.

Отримані результати і їх новизна – в результаті поетапного обтисненні зразків встановлено, що інтенсивність затікання матеріалу зразка в отвір бойка збільшується для досліджених співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350; 0,550 і 0,725 при збільшенні ступеня обтиснення від 0,13 до 0,70. Затікання матеріалу зразка починається на перших стадіях обтисненні.

Отримано формули для аналітичного визначення об'єму та площі поверхні бочкоподібної заготовки, що утворюється в процесі осадки на пресі. Формули дають змогу моделювати форму і розміри бочкоподібної заготовки.

Отримані результати рекомендуються для впровадження у ковальсько-пресовому цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь» для ліквідації осьової усадочної порожнини злитків шляхом осаджування бойками з осьовим отвором.

ОСАДКА БОЙКАМИ З ОСЬОВИМ ОТВОРОМ, ЗОНИ ДЕФОРМАЦІЇ, ПОТОКИ ПЛАСТИЧНОЇ ТЕЧІЇ МЕТАЛУ, КОВКА, ЗАГОТОВКА, БОЧКА, ОБ’ЄМ, ПЛОЩА ПОВЕРХНІ.

ЗМІСТ

ВСТУП …….. 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА ..……..…... 10
1.1 Характеристика і призначення процесу осадження циліндричної заготовки плоскими бойками з осьовим отвором …… 10
1.2 Основні досягнуті раніше результати досліджень …… 12
1.3 Цілі та завдання дослідження параметрів процесу осадки ….. 20
1.4 Теоретичний аналіз ……..… 22
1.4.1 Схема процесу осадження циліндричних заготовок плитами з осьовим отвором ……..…….. 22
1.4.2 Фактори, що впливають на характер формозміни заготовки ……..…… 23
1.4.3 Схема течії матеріалу заготовки …….……... 23
1.4.4 Визначення зусилля осадки …….……... 25
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА. ..……..…… 26
2.1 Методика дослідження ……. 26
2.2 Результати експериментів ……..…….. 30
2.3 Обробка експериментальних даних ……. 32
2.4 Обговорення отриманих результатів експериментів ……. 35
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА …….…….. 41
3.1 Визначення об'єму і площі поверхні заготовки при моделюванні осадки на пресі ……..….. 41
3.2 Постановка задачі дослідження …….. 42
3.3 Визначення розрахункових формул ……..... 42
3.4 Порівняння отриманих формул із літературними даними ……. 46
3.5 Висновки за розділом …….. 47
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННІ БЕЗПЕКА ……..…….. 49
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів …….. 49
4.2 Санітарно-технічні вимоги …….. 50
4.3 Вимоги до освітлення лабораторії ……..…….. 51

4.4 Розробка заходів захисту від небезпечних і шкідливих виробничих факторів …… 52
4.5 Безпека життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях …….…….. 53
4.6 Ергономічні вимоги до роботи з ПЕОМ …….. 54
4.7 Розрахунок захисту від іонізуючого випромінювання при роботі з ЕОМ ……..….. 56
ВИСНОВКИ ……. 59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……...…. 61

ВСТУП

У зв'язку з процесом розвитку вітчизняної промисловості, що випускає вироби відповідального призначення, особливу увагу набуває розробка ресурсозберігаючих технологій, економії дорогих спеціальних сталей і сплавів і зменшення трудових витрат на випуск виробів.

У якості об'єкта дослідження кваліфікаційної роботи обрано процес осадки циліндричних заготовок бойками з осьовим отвором для отримання поковок типу дисків зі сталі ЕП708-ВД. Процес відноситься до ресурсозберігаючих та високоефективних за деформаційним впливом на структуру металу, що обумовлює актуальність даної роботи.

Існують резерви для покращення якості металу, і вони в першу чергу пов'язані з можливостями регулювання пластичного перебігу металу під час кування. Ці можливості складали предмет теоретичних досліджень, а також впровадження їх результатів у промисловості для виробництва відповідальних поковок, які покращили фізичні та механічні властивості, встановлені макробудовою та збільшенням надійності експлуатації та довговічності.

Поряд із перевагами економічного характеру, особливо у великому масштабі, обробка металів у ряді випадків є єдиним можливим способом виробництва продукції певної форми, особливо з високоміцних металів і сплавів, які мають спеціальні властивості, а в останні роки нові можливості його використання відкрили подальші шляхи розвитку та широку реалізацію в промисловості.

Застосування досягнень теорії обробки металів до аналізу течії металу дозволило отримати рішення, в яких умови реальних процесів деформації, а також їх відповідні напруги та сили є предметом дослідження в теорії обробки металів, зокрема в теорії кування.

Вплив багатьох фізичних та математичних факторів на процес пластичного утворення металів визначає труднощі побудови математичної моделі цих процесів. Отже, з однієї сторони, потреба в схематизації та

спрощенні припущень, тобто наближення математичного рішення проблеми, а з іншого боку, неминучість звернення до прямих експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження в обробці металів тиском необхідні як метод оцінки ступеня наближення теоретичних рішень проблеми, і як єдиний спосіб вирішити проблему, коли теоретичне рішення наразі неможливе.

У цій роботі було досліджено особливості поведінки циліндричної заготовки під час осаду плоскими бойками з осьовим отвором.

У практиці машинобудівних заводів, що мають власне металургійне виробництво, а також металургійних заводів, що випускають злитки і заготовки з них для машинобудівного переділу, зустрічаються випадки появи осьової усадочної порожнини (ОУП). ОУП може розташовуватися як на частині довжини злитка – в підприбутковій, середній і донній частинах, так і по всій його довжині.

Деформаційний вплив на осьову усадкову порожнину полягає в її закритті при осадці бойками з осьовим отвором. У зоні цапф і під ними розташовується нейтральна поверхня – поверхня розділу пластичних потоків. У бік до осі заготовки від цієї поверхні діють зустрічні потоки витіснення, що викликають закриття осьової усадочної порожнини з подальшим видавлюванням її в цапфи. Це також визначає актуальність даної роботи.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження течії металу та механіко-кінематичних параметрів процесу осадження циліндричних заготовок зі сталі ЕП708-ВД бойками з осьовим отвором для промислового застосування.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено такі завдання:

1. Дослідити перебіг матеріалів – пластичні потоки, положення нейтральних поверхонь та меж розділу потоків при осаді бойками з осьовим отвором.

2. Розробити конструкцію заготовок, оснастки та методику експерименту для дослідження процесу осідання бойками з осьовим отвором.

3. Вивчити механіко-кінематичні параметри процесу затікання матеріалу в осьовий отвір бойків при осаді.

4. Отримати кількісні дані про розподіл місцевих деформацій в обсязі заготівлі при осаді бойками з осьовим отвором.

5. Встановити конфігурацію та межі зон та осередку деформації в заготівлі при осаді бойками з осьовим отвором.

Для вирішення поставлених задач у роботі було застосовано фізичний метод пошарових заготовок. Також було застосовано комп’ютерні програми, зокрема AutoCAD Mechanical 2020.

Результати роботи можуть бути використані у ковальсько-пресовому цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь».

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

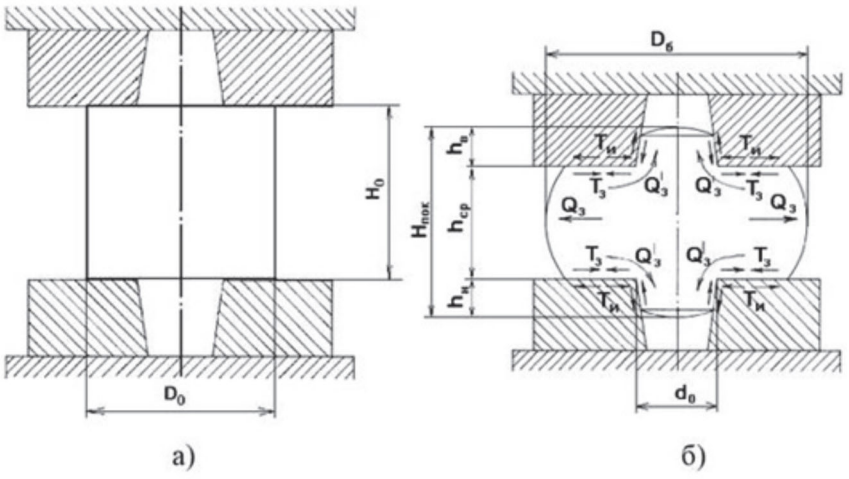
1.1 Характеристика і призначення процесу осадження циліндричної заготовки плоскими бойками з осьовим отвором

При побудові технологічного процесу, що містить унікальну ковальську операцію – осадку заготовок бойками з осьовим отвором, виникають складнощі через відсутність схеми осередку деформації для зазначеного процесу, що дає вичерпну інформацію про перебіг металу заготовки та вплив технологічних параметрів на зміну форми та властивості металу виробу. Так, наприклад, спостерігається різне формування заготовок при зміні таких технологічних параметрів, як співвідношення геометричних розмірів заготовки, співвідношення геометричних розмірів заготовки та інструменту. Це є позитивним або негативним приростом висоти заготовки в ході осадки, а також зміною профілю вільної бічної поверхні, який може бути як опуклим, так і увігнутим відносно осі заготовки.

При деякій схожості з процесом осадження заготовок плоскопаралельними бойками, досліджуваний процес має істотні відмінності. Ці відмінності викликані формою інструменту, який крім плоских ділянок, має осьові отвори. Течія металу крім радіального напрямку між плоскими частинами інструменту, супроводжується також течією в осьовому напрямку – в отвори. Між пластичними потоками металу знаходиться межа – лінія (або поверхня) розділу потоків – нейтральна лінія.

Для найбільш повного уявлення про структуру осередку деформації при осаджуванні заготовок бойками з осьовим отвором необхідно визначити і уточнити наступні важливі характеристики процесу: визначити місце розташування і конфігурацію ліній (поверхонь) розділу пластичних потоків, межі жорстких і пластичних областей, зони локалізації деформацій, розподіл локальних деформацій по перетину заготовки, зони максимального градієнта деформацій.

При осаджуванні заготовок плоскими бойками з осьовим отвором течія металу відрізняється від схеми течії при осадці наявністю потоків металу Q_3 і Q_3' відповідно до рис. 1.1. Радіальний перебіг металу від осі (Q_3) аналогічний течії при осаді суцільними плитами і спостерігається на периферії заготовки. Другий потік металу (Q_3') спрямований радіально до осі заготовки і вздовж неї в отвір кожної плити.



а – вихідне положення заготовки; б – заготовка в процесі осадження

Рисунок 1.1 – Схема осадження циліндричного зразка плитами з осьовим отвором

Щоб полегшити витягання поковки з отворів бойків, їх виготовляють з ухилом 5-7°. Наявність ухилів в отворах плит ускладнює переміщення металу, оскільки відростки в міру збільшення їхньої довжини зменшуються в поперечному перерізі. Між розглянутими потоками металу знаходиться поверхня розділу (або критична поверхня). Залежно від співвідношення розмірів вихідної заготовки (D_o/H_o) і відносної величини отвору в плитах (d_o/D_o), а також величини контактних сил тертя ($T_и$ і $T_з$) необхідна осадка для отримання заданої довжини відростків різна. Розрахунок деформацій з метою отримання відростків заданої довжини ускладнюється тим, що до моменту їх оформлення середня частина поковки повинна мати цілком певний розмір.

Течія металу відбувається зі збільшенням розмірів за трьома осями і в шести напрямках: в обидва боки вздовж осі обтиснення і в чотирьох поперечних напрямках.

Така осадка дає змогу видавити відростки з боку одного або одночасно обох торців заготовки. Так відковують деякі типи валків прокатних станів, короткі кулачкові вали тощо. За невеликої довжини і малого діаметра відростків отримати їх іншим способом дуже складно. Цей процес застосовують також під час кування великих злитків [1], зокрема для видалення дефектної зони злитка відповідно до рис. 1.2 (а) й оформлення бочки валу відповідно до рис. 1.2 (б).

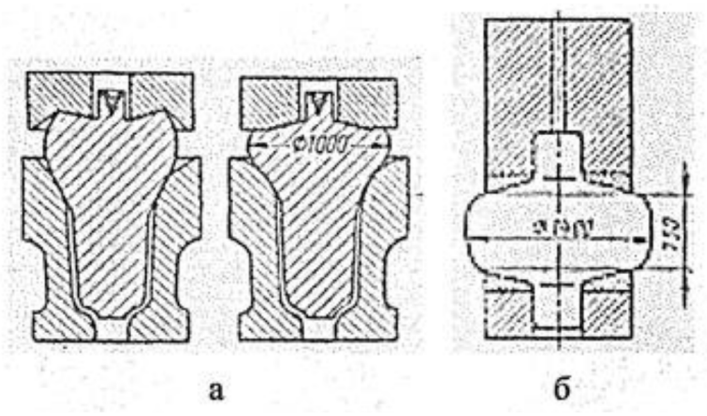


Рисунок 1.2 – Застосування процесу осадження заготовки бойками з осьовим отвором при куванні крупних зливків

1.2 Основні досягнуті раніше результати досліджень

Перша спроба теоретичного аналізу процесу осадження кільцями циліндричної заготовки була викладена в роботі Е. Ф. Шарапіна. Приблизно в той самий час А. Помп, Т. Мюнкер і В. Люег [3] опублікували результати експериментальних досліджень процесу осадження заготовок кільцями на гідравлічному пресі і на молоті.

За роки, що минули після цього, дослідники опублікували велику кількість робіт, присвячених теоретичному аналізу та експериментальним дослідженням процесу осадження кільцями [4, 5]. У дослідженнях проводився аналіз формозміни заготовок, аналіз напружено-деформованого стану заготовок, визначення положення нейтральних поверхонь, а також розрахунок силових параметрів процесу.

Аналіз літературних джерел показав, що формозміна заготовок під час осадки циліндричними бойками з осьовим отвором багато в чому схожа на формозміну під час відкритого видавлювання. Процес відкритого видавлювання застосовується, як самостійна операція для отримання поковок типу диска з виступами, а також є першою фазою деформації заготовки в разі закритого видавлювання і під час штампування поковок з виступами у відкритих штампах на молотах і пресах [9].

У найпростішому випадку одностороннього відкритого видавлювання вихідна циліндрична заготівля ($d_o h_o$), відповідно до рис. 1.3 (а), що перекриває циліндричну порожнину елементарного штампа (кільця), піддається деформації між плоскими паралельними плитками. У процесі деформації метал тече в напрямку від осі до периферії заготовки, утворюючи диск поковки і одночасно видавлюється у порожнину, що перекривається вихідною заготовкою, утворюючи виступ поковки. В результаті деформування заготовки від вихідної висоти h_o до кінцевої висоти $h_п$ отримується поковка, що складається з диску $D_п h_п$ і виступу $d_п l_п$.

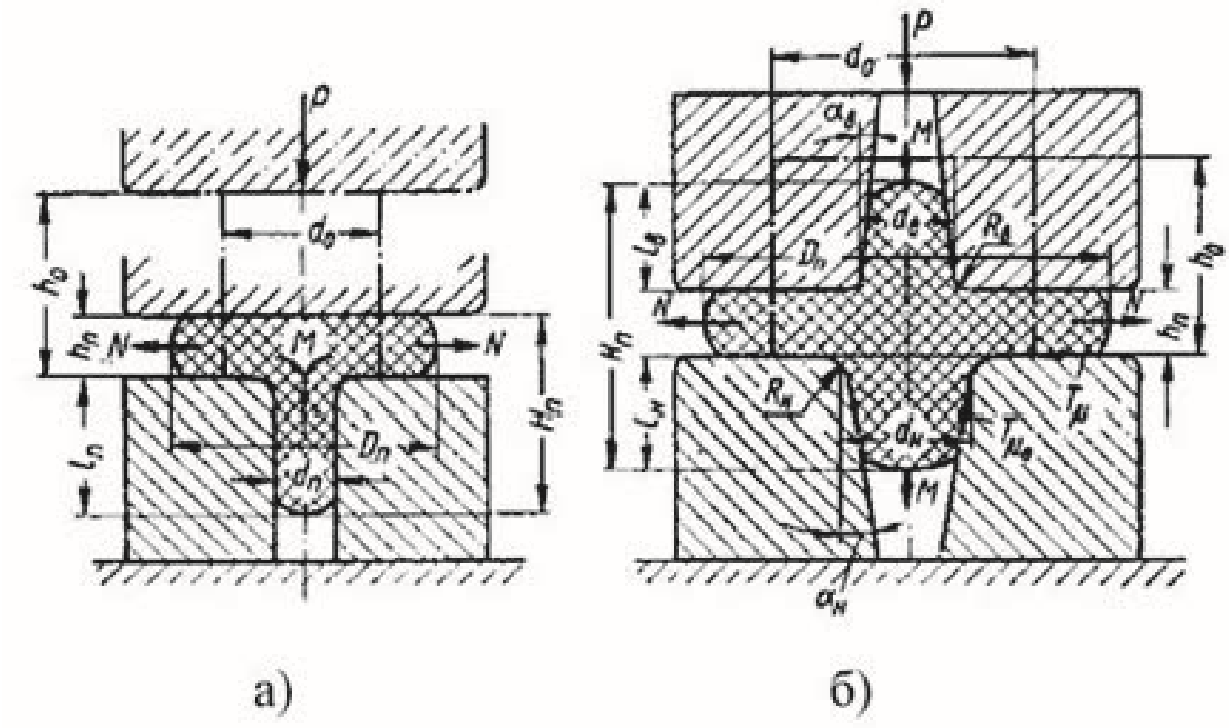


Рисунок 1.3 – Схема одностороннього (а) і двостороннього (б) видавлювання

У більш загальному випадку, відповідно до рис. 1.3 (б), вихідну циліндричну заготовку деформують між плоскими паралельними плитками, що мають конічні порожнини (кути нахилу $\alpha_в$ та $\alpha_н$) з плавно закругленими крайками (радіуси заокруглення $R_В$ і $R_Н$). При цьому одночасно відбувається осаджування і двостороннє видавлювання металу, в результаті чого утворюється поковка, що складається з диска $D_n h_n$ і двох виступів $d_В l_В$ і $d_n l_n$.

Процес відкритого видавлювання протікає в першій фазі деформації заготовки під час штампування поковок з виступами у відкритих штампах на молотах і пресах, згідно з рис. 1.4. Якщо штампування такої поковки відбувається безпосередньо лише в остаточному струмку, то в першій фазі відбувається деформація осаджування початкової заготовки ($d_o h_o$), що супроводжується видавлюванням металу в порожнині під виступи, згідно з рис. 1.4, а. Друга фаза штампування настає в момент зіткнення металу з бічними стінками остаточного струмка штампа, коли по площині роз'єму залишається деякий зазор Δh між штампами. У другій фазі, відповідно до рис. 3, б, частина металу видавлюється в проміжок між штампами, утворюючи задирок, який створює підвищений опір розтіканню металу від осі до периферії і тим самим сприяє інтенсивнішому видавлюванню металу в порожнині штампа і заповненню всього остаточного струмка.

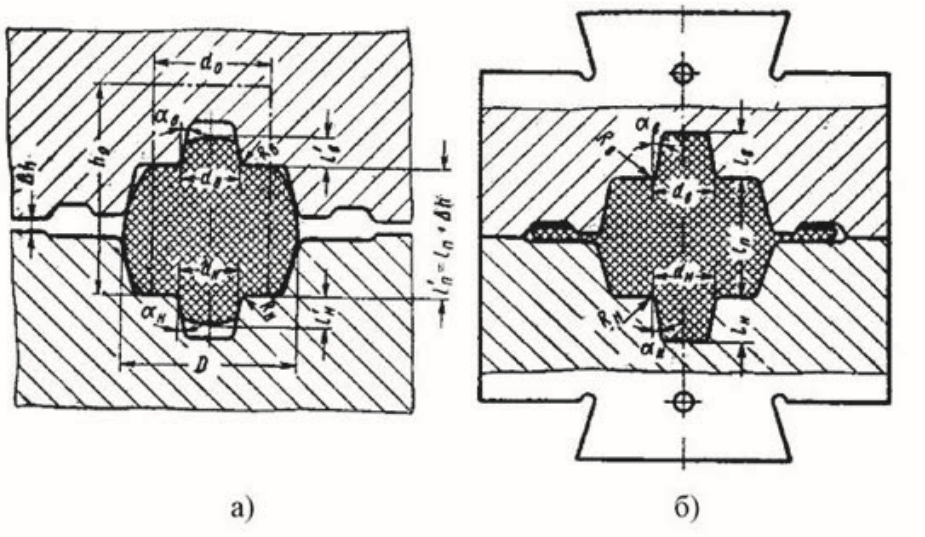
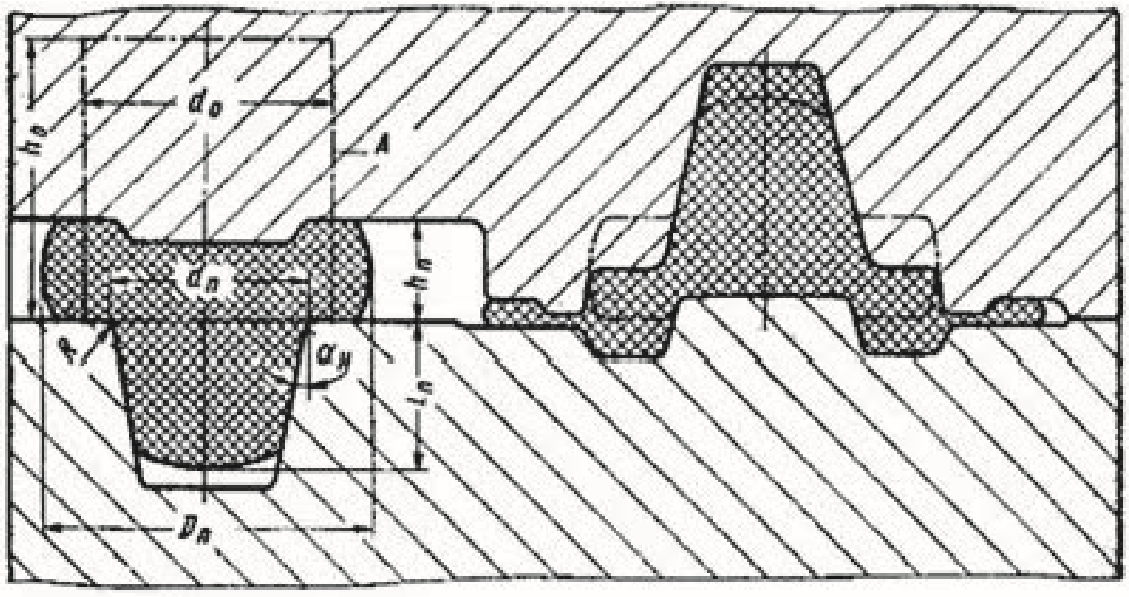


Рисунок 1.4 – Схема процесу штамповки у кінцевому струмку

Фаза відкритого витікання металу може мати місце також під час штампування поковок з виступами на горизонтально-кувальних машинах.

Поковки з відносно високими виступами часто не можуть бути отримані штампуванням тільки в одному остаточному струмку. Для штампування поковок такого типу застосовують заготівельно-підсадковий струмок, у якому шляхом відкритого видавлювання отримують проміжну заготовку у вигляді диска з виступом згідно до рис. 1.5. Таку заготовку встановлюють у перевернутому положенні в остаточний струмок, у якому піддають штампуванню до необхідних розмірів.

Операція відкритого видавлювання трапляється також у заготівельних струмках під час штампування поковок із виступами на горизонтально-кувальних машинах.



А – вихідна заготовка

Рисунок 1.5 - Схема процесу штампування в штампі із заготівельно-підсадковим струмком, що має порожнину для намітки виступу поковки

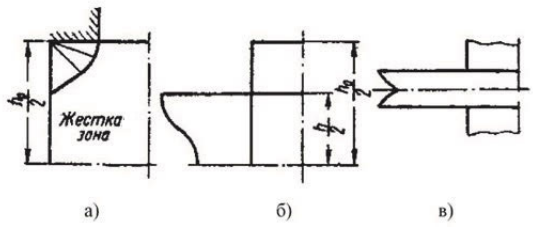
Експериментами було встановлено, що значний вплив на характер формозміни чинить ступінь наближення діаметра отвору до діаметру вихідної заготовки. При відносно високій заготівлі (співвідношення "висота заготовки / діаметр заготовки" більше 1 і порівняно невеликій величині відношення "діаметр

заготовки/діаметр отвору" (менше 1,5), фланець, який осідає під час вільного видавлювання, набуває не бочкоподібної форми, а конічної, згідно з рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Свинцеві зразки, отримані відкритим видавлюванням із заготовок діаметром 40 мм і висотою 60 мм

Зі зменшенням відношення "діаметр заготовки/діаметр отвору" більш виразно проявляється утворення конічної форми фланця вже з перших стадій деформації під час відкритого видавлювання. Такий характер формоутворення пояснюється тим, що за вказаного співвідношення розмірів пластична зона розташовується близько до порожнини матриці, а ділянку, повернуту до пуансона, можна розглядати як пружну зону аналогічно до того, як це має місце під час закритого видавлювання. Л.А. Шофман [1], базуючись на схемі жорсткопластичного тіла, вказує на особливість такого деформування, яка полягає в тому, що жорсткі зони виходять на вільну поверхню тіла. Очевидно, що під час двостороннього видавлювання такого виду, відповідно до рис. 1.7, утворюється увігнута поверхня, яка в міру наближення опорних площин матриці та пуансона може призвести до утворення затиску.



а – початкова стадія процесу; б – проміжна стадія; в – утворення затиску металу у кінці процесу двостороннього видавлювання

Рисунок 1.7 – Схема формоутворення при затіканні металу у два отвори

При проєктуванні технологічного процесу важливе значення має визначення величини затікання металу в отвір, тобто висоти виступу, що утворюється. Якщо визначити цю величину затікання металу в отвір, то на підставі відомих об’ємних співвідношень можливо визначити інші розміри форми, що отримується, на різних стадіях деформування.

У літературі зустрічаються вказівки на те, що під час деформування на пресах спостерігається більш інтенсивне заповнення нижньої порожнини штампів. Результати експериментів не підтверджують це припущення [10]. За однакових розмірів отворів у кільцях у верхнє і нижнє кільце затікає однаковий об'єм металу. За однорідного температурного поля і відсутності зміцнення матеріалу, що деформується, температура зразка не впливає на характер формозміни за умови збереження інших рівних умов незмінними і спричиняє лише зміну питомих тисків і зусиль.

Експерименти, під час яких було застосовано кільця з різним діаметром верхнього і нижнього отворів, показали, що глибина затікання металу в першому наближенні пропорційна площі цих отворів.

Глибина затікання металу в отвір є одним з основних параметрів, що характеризують формозміну під час об'ємного деформування металу плоскими бойками з осьовим отвором [9]. Цей параметр залежить головним чином від таких чинників:

- геометричних параметрів інструменту, діаметра отвору, величини кутів нахилу стінок отворів, величини радіусів заокруглень;

- співвідношення розмірів вихідної заготовки;

- стану і чистоти обробки контактних поверхонь і виду застосовуваного мастила, що зумовлюють величину коефіцієнта тертя по контактних поверхнях;

- температурного режиму деформації і характеру охолодження різних частин заготовки, що також значною мірою впливають на величину коефіцієнта контактного тертя;

- ступеня деформації;

- швидкості деформування.

Сукупність перерахованих чинників визначає напружено-деформований стан заготовки, що виникає в процесі осадження і обумовлює величини її кінцевої формозміни, потрібного зусилля та роботи деформації.

При деформуванні циліндричної заготовки плоскими бойками з осьовим отвором метал у кожен момент деформації тече як у боки (осаджування), так і в напрямі осі, заповнюючи отвори. Отже, в кожен момент деформації в заготовці спостерігаються зони, в яких метал тече в різних напрямках. Між цими зонами є поверхня розділу течії.

Як показали досліди [11], межі розділу в поздовжньому перерізі мають криволінійну форму і розташовуються в районах місцевих осередків деформації при утворенні ступиць поковки, відповідно до рис. 1.8, а. Під час подальшого обтиснення межі розділу проходять деякою складною кільцевою поверхнею, яка приблизно оцінюється діаметром $D_{кр}$, відповідно до рис. 1.8, б.

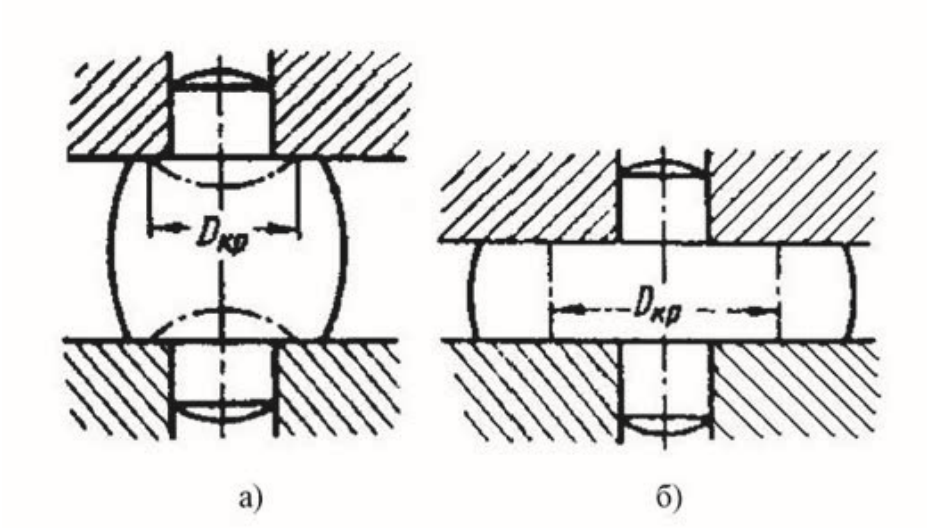
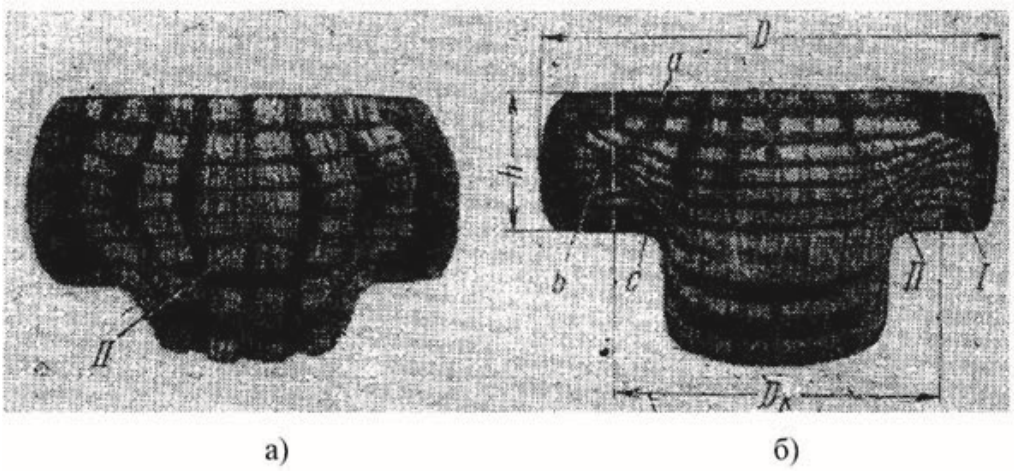


Рисунок 1.8 – Положення поверхні розділу течії при осаджуванні циліндричної заготовки плоскими бойками з осьовим отвором

Експерименти з відкритого видавлювання (кування на підкладних кільцях) дають змогу з деяким наближенням судити про форму і величину зазначених зон течії металу і характер поверхні розділу течії [9]. Під час деформування порівняно високих зразків осередок деформації видавлювання

(зона II відповідно до рис. 1.9) розташований у безпосередній близькості до отвору в плиті й охоплює лише невелику частину об'єму заготовки.



а) б)

Рисунок 1.9 - Зразки з координатною сіткою після деформування відкритим видавлюванням

У міру збільшення ступеня деформації ця зона зростає, і її гранична поверхня все більше наближається до контактної площини верхньої плити. За деякого ступеня деформації і відповідного відношення D/h, відповідно до рис. 1.9, б, зона витікання поширюється на всю висоту h дискової частини і з цього моменту починається найбільш інтенсивне витікання металу в порожнину плити. Розділ течії проходить складною поверхнею, форма якої зумовлена наявністю контактного тертя і нерівномірністю напруженого стану (утворююча, що проходить через точки a, b і c відповідно до рис. 1.9, б).

З метою спрощення ця поверхня може бути замінена усередненою (зі збереженням об'єму зони витікання) циліндричною поверхнею $D_х = D_к$ відповідно до рис. 1.9, б).

Таке пояснення характеру течії металу, що деформується між плитами з отворами, було дано А.Ф. Головіним і отримало експериментальне підтвердження та подальший розвиток у роботах І.Я. Тарновського, С.Б. Кірсанової та Л.А., Шофмана. В роботах вказується, що залежно від стадії деформації та зумовленої нею поверхні розділу течії (критичної поверхні) більший або менший об'єм металу надходить із центральної зони заготовки до

кільцевої області або навпаки. Цим пояснюється наявність на ранніх стадіях деформації негативного або позитивного приросту загальної висоти поковки, залежно від розмірів вихідної заготовки та діаметра отвору в інструменті та їх співвідношень, від ступеня деформації, режиму й умов деформації, що зумовлюють величину сил тертя, може вийти різне співвідношення тривалості зазначених стадій деформації та, як наслідок цього, різне співвідношення розмірів початкової висоти заготовки та поковки: зменшення початкової висоти, збільшення початкової висоти та, практично рідко, збереження незмінної початкової висоти.

Теоретичний аналіз процесу осадження циліндричних заготовок плоскими бойками з осьовим отвором показує, що формозміна кільцевого фланця принципово не відрізняється від процесу осадження кільцевої заготовки, яка перебуває під дією рівномірного внутрішнього тиску.

1.3 Цілі та завдання дослідження параметрів процесу осадки

Процеси обробки металів тиском здійснюються в умовах нерівномірного розподілу напружень і деформацій. Неоднорідність напруженого і деформованого стану є наслідком впливу неоднорідної будови полікристалічних матеріалів, зовнішнього тертя, форми зразка і нерівномірного температурного поля.

Неоднорідність напруженого і деформованого стану під час різних процесів оброблення металів тиском здійснює значний вплив на характер формозміни заготовки, що деформується. Зовнішнє тертя створює зони ускладненої течії, які примикають до поверхонь зіткнення металу, що деформується, та інструменту. Протяжність окремих ділянок утрудненої течії та їхній розподіл у загальному об'ємі зразка в процесі деформування змінюються. У зв'язку з цим поряд із ділянками зі слаборозвиненою деформацією є ділянки, де деформація значно перевершує середню величину.

Аналогічний вплив здійснює інтенсивне охолодження тих ділянок попередньо нагрітих зразків, які тривалий час контактують із холоднішими поверхнями інструменту, а також неминучий перепад між зовнішніми і центральними шарами матеріалу, що деформується. Нерівномірність температурного поля в тілі, що деформується, спричиняє значну нерівномірність напруг, а опір металу деформації на ділянках із різною температурою сильно відрізнятиметься від середнього значення.

Форма зразка також істотно впливає на неоднорідність напруженого і деформованого стану. Так, наприклад, під час осадження циліндричних зразків із різним співвідношенням діаметра до висоти зона утрудненої течії охоплює різну частину загального об'єму зразка. Тому розподіл напружень і деформацій не буде однаковим за різного співвідношення лінійних розмірів тіла, що деформується.

Розподіл деформацій і напружень залежить від співвідношень об'ємів металу, які зміщуються в різних напрямках. Нерівномірність напруженого стану підвищує середній питомий тиск, знижує пластичність, що може призвести до передчасного руйнування і створює в деформованому тілі залишкові напруження.

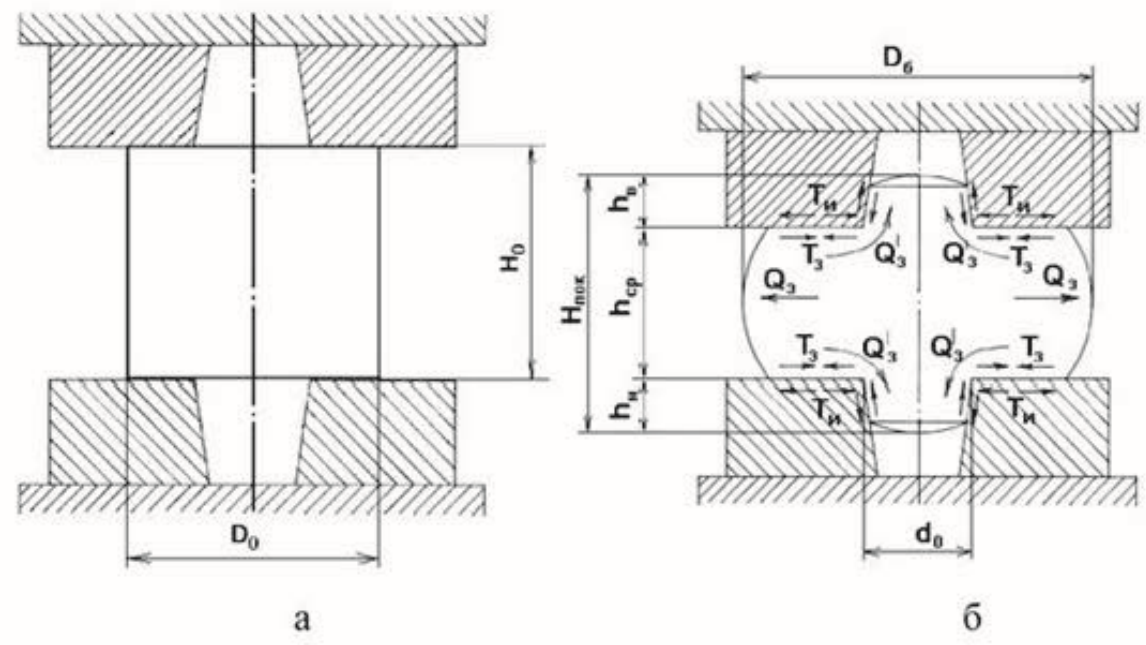
У переважній більшості випадків складного й неоднорідного напруженого стану неможливо експериментально виміряти напруження в різних точках деформованого тіла.

Напруги і деформації, що виникають у формозмінюваних заготовках, пов'язані між собою залежностями, встановлюваними розрахунково-дослідним шляхом. Визначення характеру цих залежностей є важливим завданням під час побудови технологічного процесу.

1.4 Теоретичний аналіз

1.4.1 Схема процесу осадження циліндричних заготовок плитами з осьовим отвором

Осадження здійснюється за допомогою двох плоскопаралельних плит відповідно до рис. 1.10, з яких одна або дві мають отвори [1]. Простота виготовлення плит і їхня невисока вартість дають змогу успішно застосовувати цю операцію під час виготовлення поковок у вигляді тіл обертання типу коротких кулачкових валів, шестерень і дисків, що мають відносно габаритних розмірів поковки невисокі одно- або двосторонні ступиці (бобишки), одержання яких вільним куванням є ускладненим або неможливим (наприклад, унаслідок їхньої малої висоти).



а – вихідне положення заготовки; б – заготовка в процесі осадки

Рисунок 1.10 - Схема осадження циліндричної заготовки плоскими бойками з осьовим отвором

1.4.2 Фактори, що впливають на характер формозміни заготовки

На характер формозміни під час осаджування циліндричних заготовок плоскими плитами з осьовим отвором і на співвідношення об'ємів металу, що зміщуються в диск, впливають:

- відношення вихідних розмірів заготовки D_0/H_0;
- ступінь деформації ε_{OH}, яку можна прийняти рівною

$$\varepsilon_{OH} = \frac{H_0 - h_{ср}}{H_0} \cdot 100\% \qquad (1.1)$$

- відношення діаметра отворів до початкового діаметра заготовки d_o/D_o;
- величина радіуса заокруглення вхідної кромки отворів у плиті;
- кут нахилу отворів;
- умови на контактних поверхнях заготівля-інструмент;
- швидкість деформування та інші фактори.

1.4.3 Схема течії матеріалу заготовки

Схема течії металу в процесі осадження плоскими бойками з осьовим отвором відрізняється від схеми течії при звичайному осадженні наявністю передбачених потоків [12], що діють уздовж осі заготовки і потоків витіснення Q_3 і Q_3' відповідно до рис. 1.10, б. Радіальний потік металу від осі аналогічний потоку при осадці плоскими бойками. Другий потік металу спрямований радіально до осі заготовки і вздовж неї в отвір бойка. На контактних поверхнях діють сили тертя $T_и$ і $T_з$, що мають подвійний характер - активні і ті, що оказують опір. При цьому радіальне зміщення металу до периферії дає приростання радіуса фланця, а до центру - приростання висоти ступиць (бобишок).

Між цими потоками металу знаходиться поверхня розділу, або критична поверхня, що характеризується критичною висотою $H_{кр}$, і критичним діаметром. У процесі осадження поверхня розділу постійно змінюється і залежить від величин ε_{OH}, D_o/H_o, d_o/D_o та ін.

Процес зміни форми умовно можна розділити на три стадії відповідно до рис. 1.11:

1) На першій стадії сумарна висота ступиці і диска безперервно зменшується, тобто $H_{пок}$ менше H_o, при цьому частина металу з центральної ділянки, обмеженої $H_{кр}$ і $D_{кр}$ відповідно до рис. 1.11, а, тече в отвори плит, а решта металу переміщається в радіальному напрямку до периферії в диск. На початку осадки $D_{кр}$ приблизно дорівнює d_o.

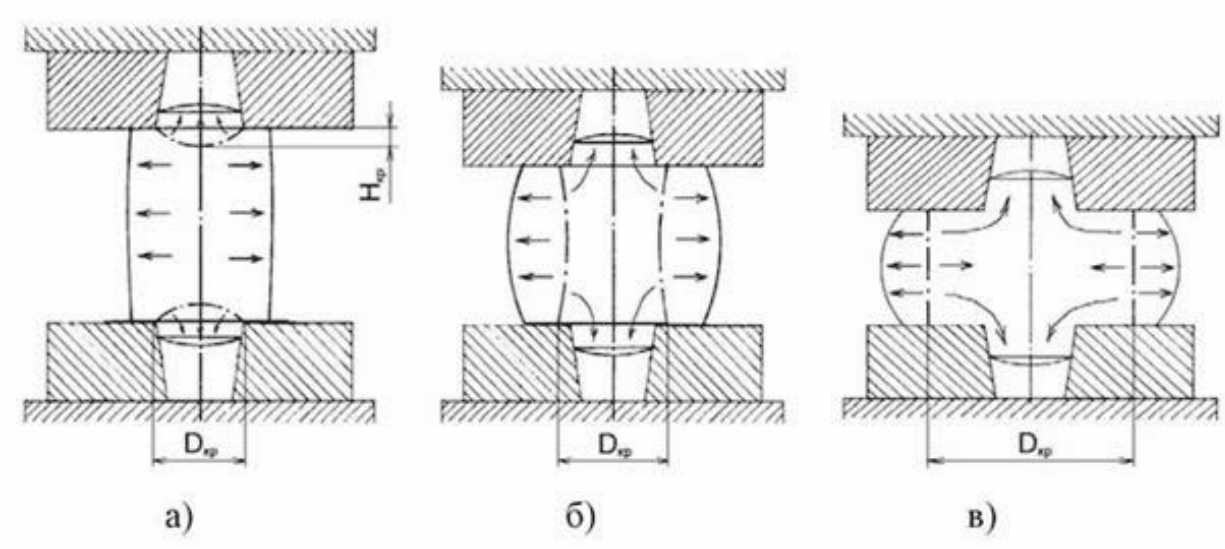


Рисунок 1.11 – Положення поверхні розділу течії металу при різних стадіях осадження

2) Зі збільшенням ступеня деформації з певного моменту висота поковки $H_к$ починає зростати і досягає величини вихідної заготовки, тобто $H_{пок}$ дорівнює H_o. При цьому $H_{кр}$ і $D_{кр}$ збільшуються. Коли критична висота $H_{кр}$ буде дорівнювати половині висоти середньої частини поковки $H_{ср}/2$ положення поверхні розділу потоків металу визначається тільки величиною $D_{кр}$ відповідно до рис. 1.11, б. На цій стадії формозміни збільшується об'єм центральної ділянки, з якої метал тече в отвори бойків, і зменшується об'єм металу, що переміщається в радіальному напрямку до периферії.

3) Сумарна висота поковки зростає, перевищуючи початкову висоту заготовки, тобто $H_{пок}$ більше H_o. При цьому велика частина металу зміщується

від периферії до центру і потім в отвори бойків, збільшуючи висоту ступиць відповідно до рис. 1.11, в.

Складний характер зміни форми при осадці плоскими бойками з осьовим отвором ускладнює визначення розмірів вихідної заготовки, необхідних для отримання заданих розмірів поковки.

1.4.4 Визначення зусилля осадки

Питоме зусилля при осадці плоскими бойками з осьовим отвором можна визначити за формулою:

$$p_p = \sigma_s \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot D_{\text{ср}}}{3 \cdot H_{cp}}\right), \tag{1.2}$$

а величину повного зусилля:

$$P_p = p_p \cdot \frac{\pi \cdot \left(D_{cp}^2 - d_0^2\right)}{4}, \tag{1.3}$$

де σ_s – межа текучості матеріалу, МПа;

μ – коефіцієнт тертя між заготовкою і бойками;

$D_{ср}$ – середній діаметр заготовки при осадженні, мм.

$$D_{cp} = \frac{D_{\text{б}} + D_{\text{т}}}{2}, \tag{1.4}$$

де $D_{б}$ – максимальний діаметр диску, мм;

$D_{т}$ –діаметр торця, мм;

$H_{ср}$ – висота диску, мм;

$d_{о}$ – діаметр отвору, мм.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Методика дослідження

Об'єктами дослідження були зовнішні ознаки процесу - затікання матеріалу зразка в отвір бойка і зміна форми вільної бічної поверхні зразка, а також внутрішні ознаки = характер течії шарів зразка і розподіл значень місцевих деформацій по перетину зразка.

Стискання проводилося на випробувальній машині. В якості деформуючого інструменту застосовуються три комплекти плоских циліндричних бойків з осьовим отвором. Співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка» вибрали рівним 0,350; 0,550 і 0,725. Стисненню піддавалися зразки, зібрані з різнокольорових пластилінових дисків однакової товщини. Співвідношення «висота зразка/діаметр зразка» вибрали рівним 0,8.

Обтиснення проводили по стадіях зі ступенями обтиснення 0,13; 0,30; 0,50; 0,60 і 0,70. На кожній стадії обтиснення проводилося вимірювання затікання матеріалу зразка в отвір бойка, а також проводилася зйомка зміни форми вільної бічної поверхні зразка.

Для трьох ступенів обтиснення (0,30; 0,60 і 0,70) і трьох співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» (0,350; 0,550 і 0,725) отримували зображення розрізу зразка по меридіональному перетину.

Для здійснення деформації спроєктовані та виготовлені три комплекти плоских бойків з діаметрами отворів 14; 22 і 29 мм, зовнішнім діаметром 75 мм і товщиною 20 мм зі сталі 40Х (рис. 2.1). Отвори виконані з ухилом в 7^{o}, який передбачений для полегшення вилучення продеформованого зразка з отвору бойка.

Для забезпечення соосного переміщення бойків був створений контейнер з листового плексигласу (рис. 2.2).

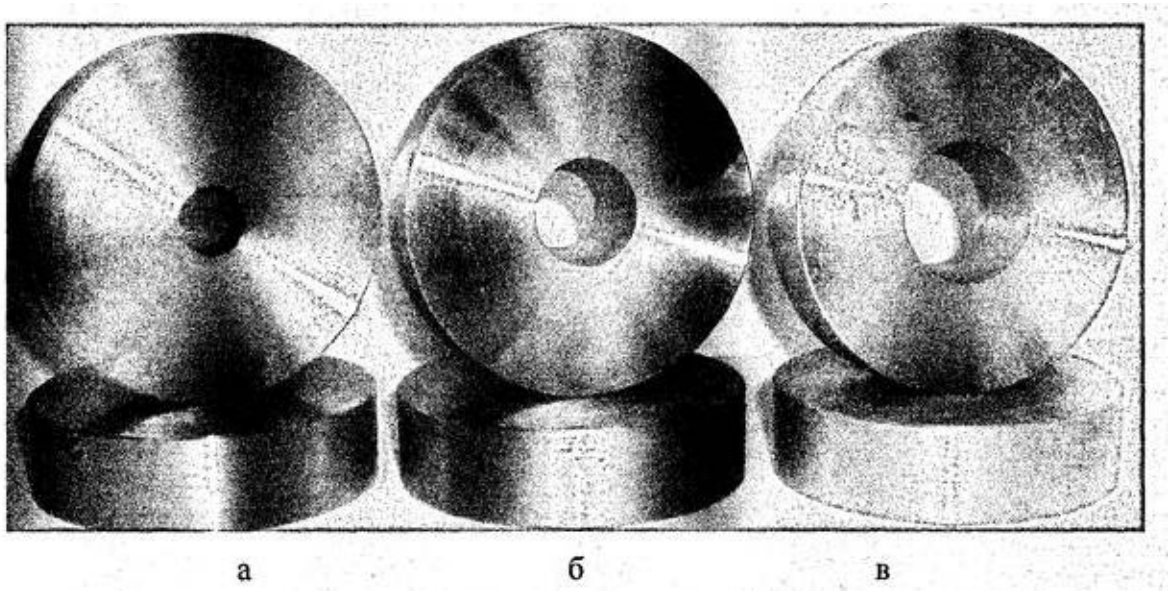
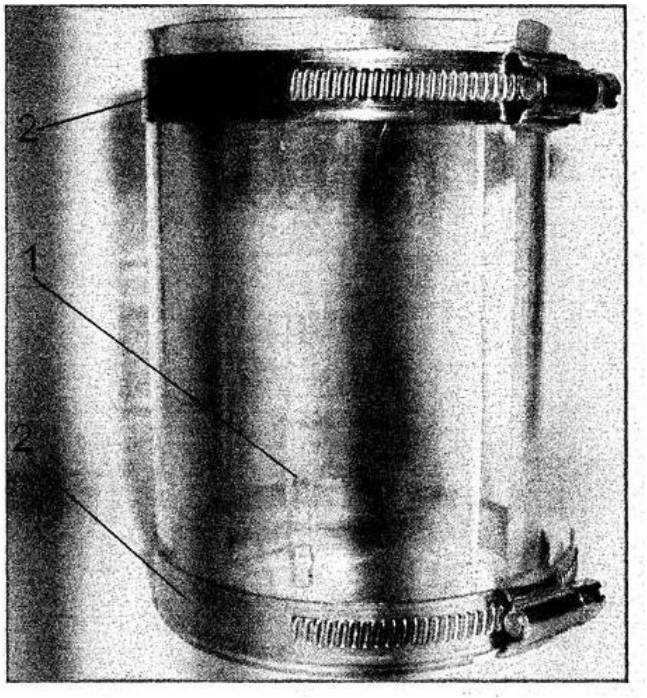


Рисунок 2.1 – Плоскі бойки з осьовим отвором діаметром 14 мм (а), 22 мм (б) і 29 мм (в)



1 – технологічні отвори; 2 - хомути

Рисунок 2.2 – Контейнер

У стінках контейнера передбачені технологічні отвори, які використовуються для розміщення в них пристосування для встановлення

заготовки, а також для розміщення вставок, що обмежують переміщення верхньої плити по висоті. Хомути забезпечують фіксоване положення бойків.

За результатами аналітичного огляду літератури [3-5] обрано конструкцію зразків, зібраних із шарів пластиліну, що мають різне забарвлення (рис.2.3).

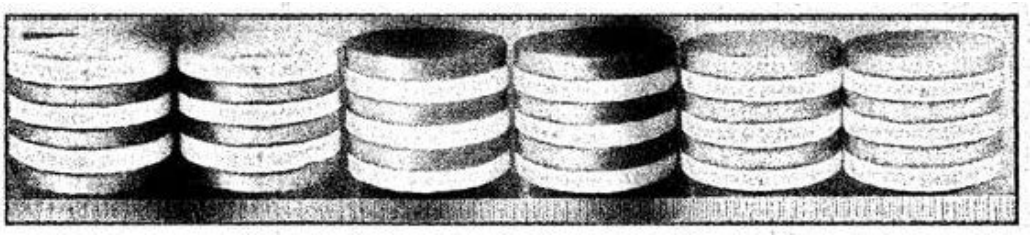


Рисунок 2.3 – Зразки, зібрані з різнокольорових пластилінових дисків

Даний тип зразків має такі переваги:

- стадії кінцевої зміни форми визначаються за чисто геометричними ознаками, однаковими як для металу, так і для пластиліну;

- різнокольорові, відносно однакові за товщиною і механічними властивостями пластилінові шари утворюють суцільну структуру, дуже податливу до зміни форми і фізичного різу моделі;

- можливість отримання картини розміщення деформованих шарів після фізичного різу по площині, що цікавить дослідника;

- можливість розрахунку деформованого стану;

- можливість зіставлення напружено-деформованого стану пластилінової моделі та реального металу;

- доступність і невисока вартість матеріалу;

- простота обробки пластиліну.

Однак поряд із зазначеними перевагами, пластилінові моделі мають ряд недоліків, зокрема:

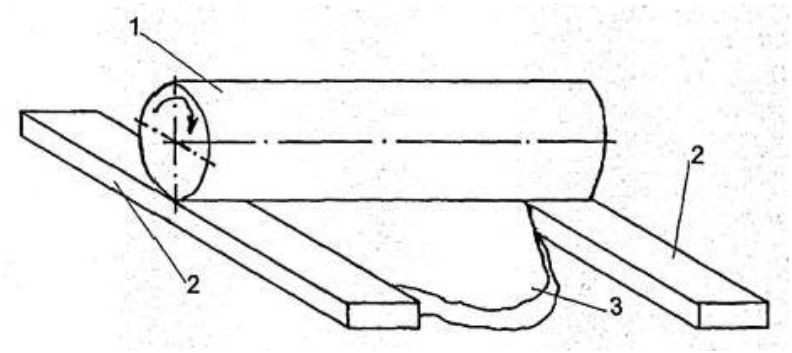
- недостатня (з точки зору вимірювальної техніки) чіткість ліній розмежування окремих шарів, а отже, і обмежена точність результатів вимірювання товщини вихідних і деформованих шарів зразка;

- неможливість отримання досить тонких (порядку часток міліметра) шарів - обставина, що не дозволяє моделювати невеликі за розмірами зони або малогабаритні об'єкти дослідження;

- чутливість до температурних коливань (вище або нижче нормальної кімнатної температури).

Застосування в роботі сучасної цифрової техніки дозволяє підвищити точність вимірювання товщини шарів зразка після деформації.

Диски зразків виготовлені вирубкою зі штаби. Штабу отримували розкатуванням циліндричним валком модельного матеріалу на плоскій плиті (рис. 2.4).



1 – циліндричний валок; 2 – плоскопаралельні пластини; 3 - пластилін

Рисунок 2.4 – Отримання пластилінової штаби

Для отримання заданої товщини штаби застосовуються плоскопаралельні пластини в якості обмежувачів переміщення валка по висоті.

Товщина шарів зразка обрана з наступних міркувань:

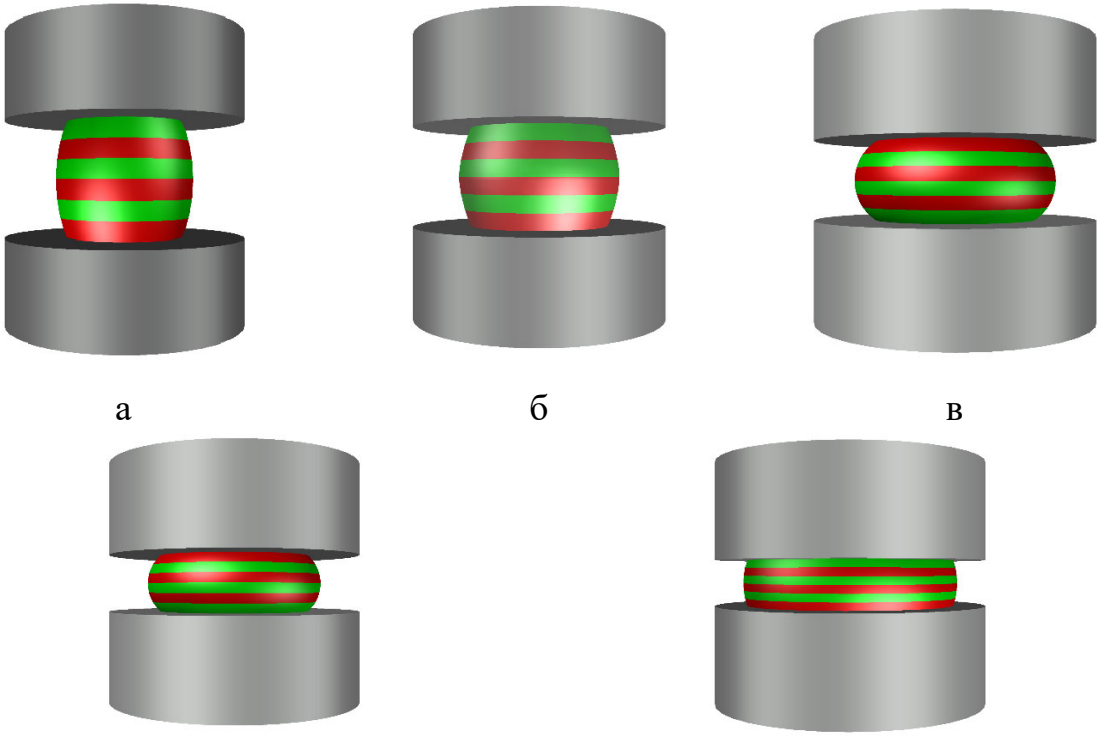
- необхідність запобігання зрізу поверхневого шару на межі «диск-ступиця»;

- можливість вимірювання кінцевої товщини шару зразка в області найбільших деформацій;

Кольори шарів обрані з урахуванням отримання максимально контрастного зображення для чіткого розрізнення ліній меж шарів.

2.2 Результати експериментів

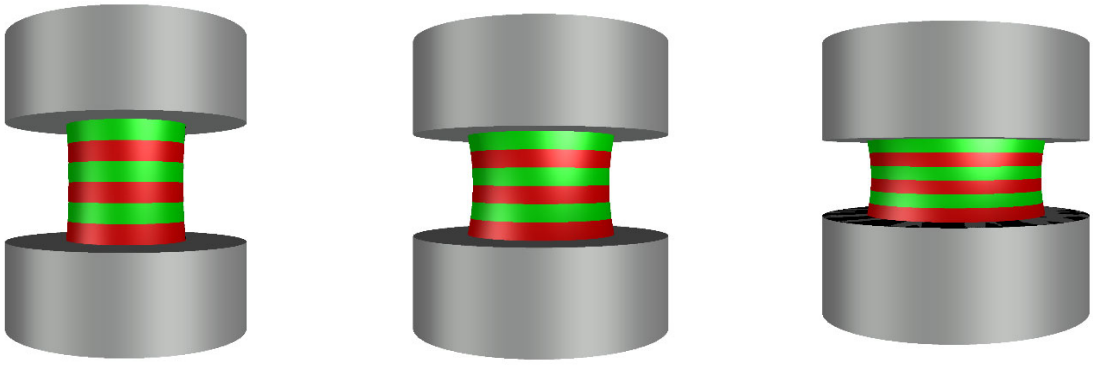
В ході експерименту знімали зображення профілю вільної бічної поверхні на кожній стадії обтиснення для трьох діаметрів отвору в бойках. Профіль вільної бічної поверхні зразків при постадійному обтисненні представлений на рис. 2.5, 2.6.



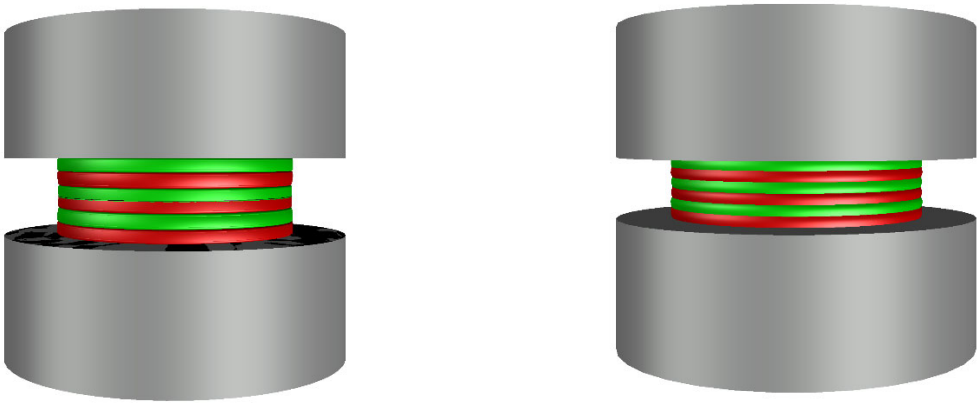
а б в

г д

Рисунок 2.5 – Профіль вільної бокової поверхні зразка, який обтиснений на 13 % (а); на 30 % (б); на 50 % (в); на 60 % (г); на 70 % (д). Співвідношення «діаметр отвору/ діаметр зразка» 0,350



а б в



г д

Рисунок 2.6 – Профіль вільної бокової поверхні зразка, який обтиснений на 13 % (а); на 30 % (б); на 50 % (в); на 60 % (г); на 70 % (д). Співвідношення «діаметр отвору/ діаметр зразка» 0,725

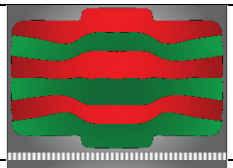
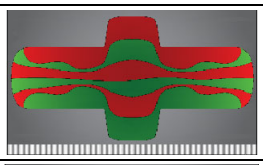
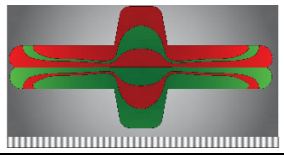
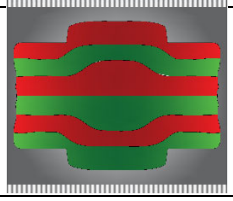
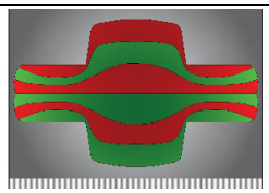
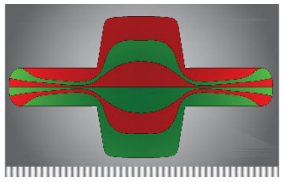
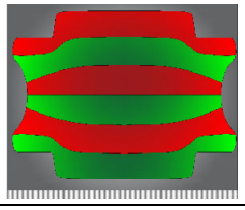
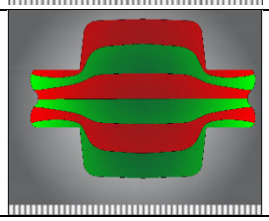
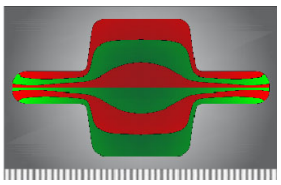
Проведено вимірювання затікання матеріалу зразка в отвір бойка (вимірювання висоти верхньої $h_в$) і нижньої ($h_н$) ступиць). Дані вимірювань представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати вимірювань затікання матеріалу заготовки в отвір бойків

Ступінь обтиснення	Діаметр отвору в бойках 14 мм		Діаметр отвору в бойках 22 мм		Діаметр отвору в бойках 29 мм	
	$h_в$, мм	$h_н$, мм	$h_в$, мм	$h_н$, мм	$h_в$, мм	$h_н$, мм
0,13	1,5	1,7	2,4	2,3	2,6	2,6
0,30	2,7	3,2	4,5	4,4	5,3	5,2
0,50	5,0	5,3	7,3	6,7	7,8	8,0
0,60	8,0	8,2	9,8	8,9	10,6	10,5
0,70	11,2	10,5	13,9	13,0	14,7	14,5

Після розрізання зразків по меридіальному перетину (для трьох ступенів обтиснення 0,30, 0,60 і 0,70 і трьох співвідношень «діаметр отвору / діаметр зразку» 0,350, 0,550 і 0,725) фотографували картинку шарів зразка. Розрізи зразків представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Меридіальні розрізи зразків в залежності від ступеня обтиснення і співвідношення «діаметр отвору / діаметр зразку»

Співвідношення «діаметр отвору / діаметр зразку»	Ступінь обтиснення, %		
	30	60	70
0,350			
0,550			
0,725			

2.3 Обробка експериментальних даних

За отриманими зображеннями розрізів, виконаних по меридіональному перетину продеформованих зразків, були побудовані поля (топограми, ізолінії) місцевих деформацій [13], [16]. Для побудови полів у кожному шарі зразка було обрано ряд точок від осі до бічної поверхні, розташованих у центрі шару (рис. 2.7). Через обрані точки проведено нормалі до меж шару. Довжина нормалі (відрізок АВ на рис. 2.7) відповідає товщині шару після деформації в даній точці.

За виміряними товщинами шарів обчислювали логарифмічні деформації:

$$e_H = ln\frac{H_{0i}}{H_{ij}} \tag{2.1}$$

де i - порядковий номер шару (i = 1-6);

j - порядковий номер точки;

H_{0i} - початкова товщина i-того шару;

H_{ij} - виміряна товщина деформованого i-того шару в точці.

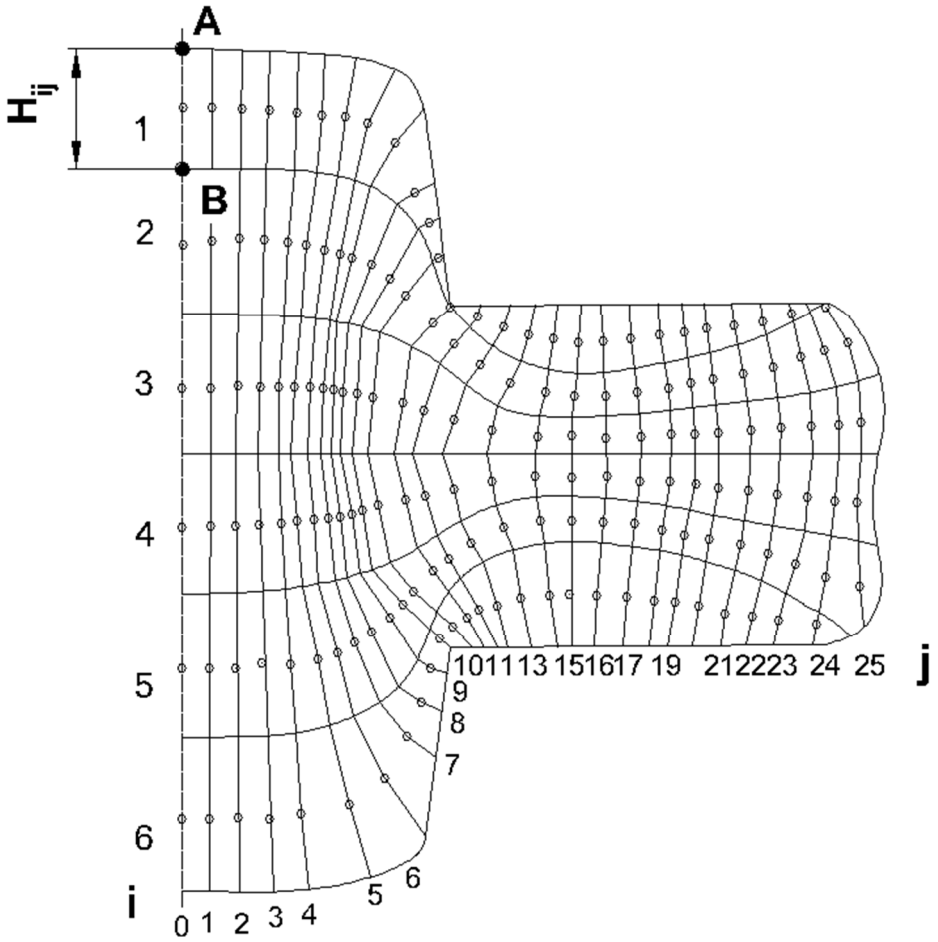


Рисунок 2.7 – Вимірювання товщини деформованих шарів

Результати обчислення логарифмічних деформацій для одного із зразків представлені на рис. 2.8.

Побудова полів логарифмічних деформацій (топограм, ізоліній) проводилася із застосуванням програми AutoCAD Mechanical [15], що дозволяє будувати тривимірні зображення. Побудована поверхня, координатами точок якої по осі абсцис і по осі ординат є координати точок в перерізі зразка (в яких проводився розрахунок деформацій), а по осі аплікат значення логарифмічних деформацій, перетинається площиною, перпендикулярною осі аплікат. По лінії перетину побудованої поверхні і площини зберігається постійне значення логарифмічної деформації.

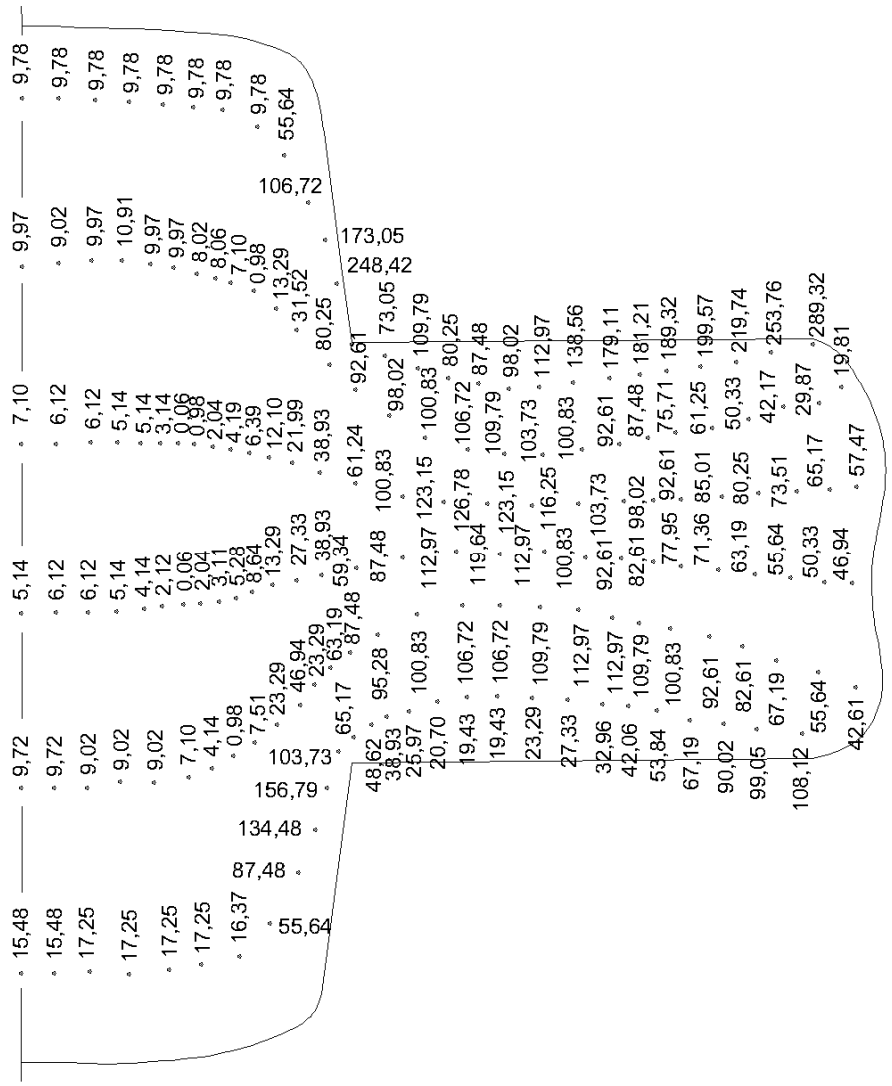


Рисунок 2.8 – Розподіл логарифмічних деформацій за меридіальним перетином зразка

Задаючи крок переміщення січної площини вздовж осі аплікат і проєктуючи лінії перетину цієї площини з побудованою поверхнею на площину, ортогональну осі аплікат і розташовану нижче поверхні, отримуємо набір ізоліній логарифмічних деформацій. Таким чином побудовані поля логарифмічних деформацій для трьох ступенів обтиснення 0,30; 0,60 і 0,70 і трьох співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350; 0,550 і 0,725. Поля логарифмічних деформацій представлені на рис. 2.9.

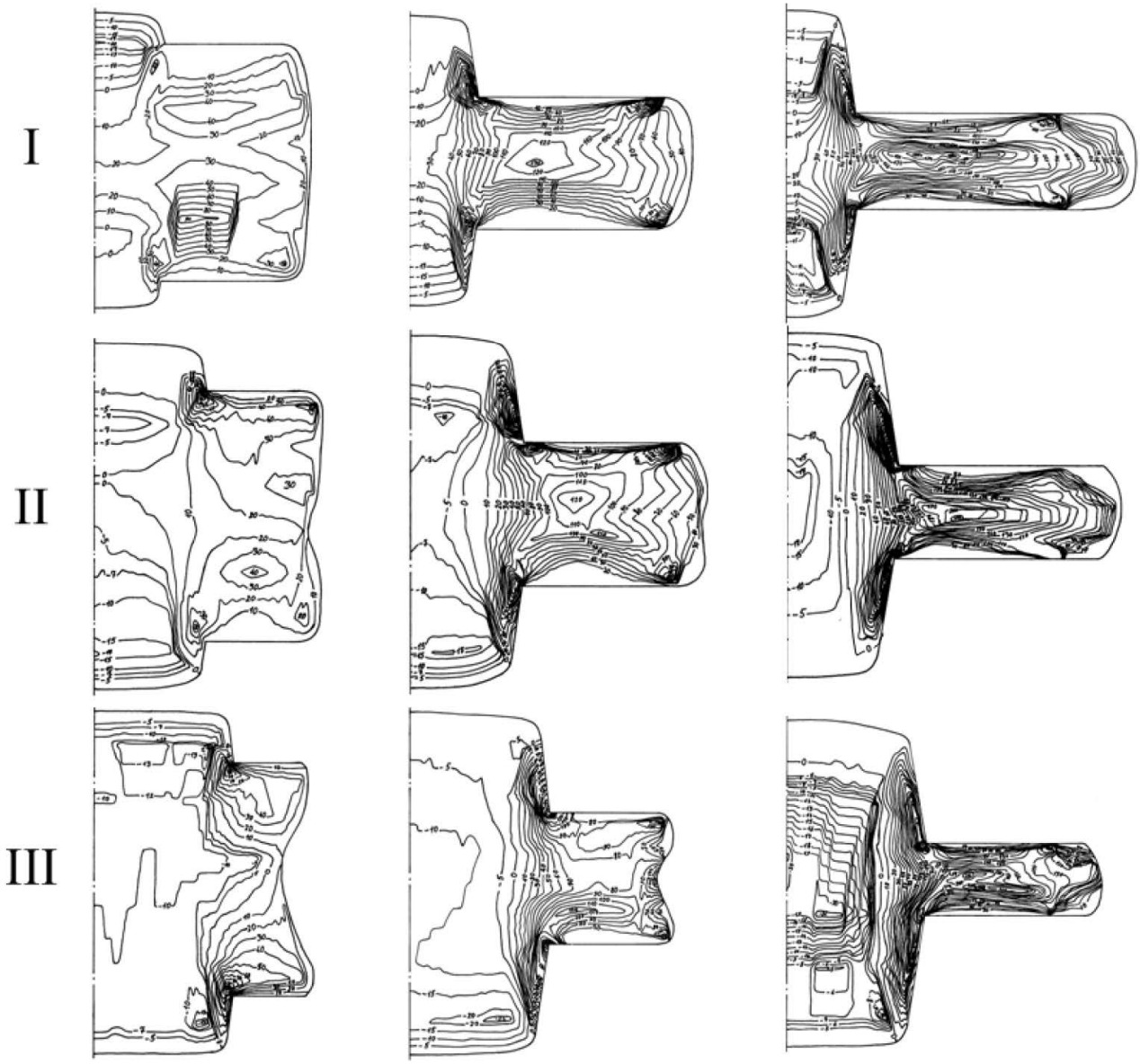


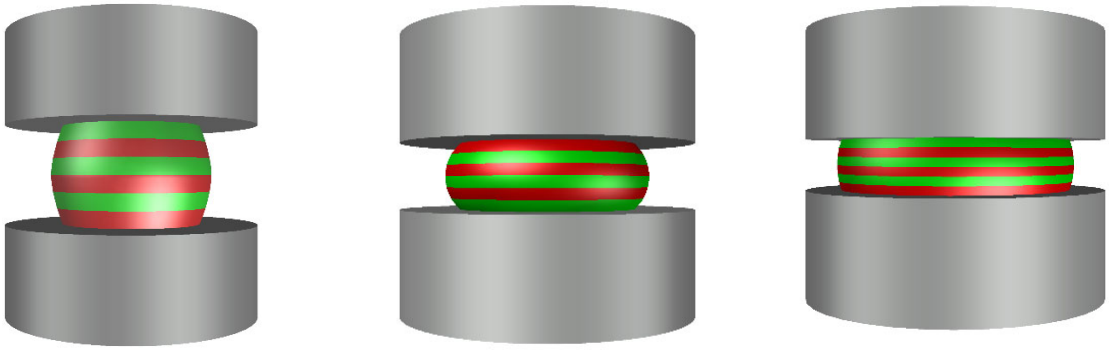
Рисунок 2.9 – Поля місцевих головних логарифмічних деформацій e_H в меридіальному перетині обтиснених зразків. Співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка» $D_{отв}/D_{0}$ = 0,350 (I), 0,550 (II) і 0,725 (III); ступінь обтиснення ε_{0H} 0,30 (а), 0,60 (б) і 0,70 (в)

2.4 Обговорення отриманих результатів експериментів

В результаті поетапного обтиснення зразків виявлено особливості процесу при досліджених співвідношеннях «діаметр отвору/діаметр зразка»

(0,350; 0,550; 0,725) залежно від ступеня обтиснення (0,13; 0,30; 0,50; 0,60; 0,70).

2.3.1 При співвідношенні «діаметр отвору/діаметр зразка», рівному 0,350, профіль вільної бічної поверхні має опуклу від осі заготовки форму, яка зберігається на всіх стадіях обтиснення (рис. 2.10).



а б в

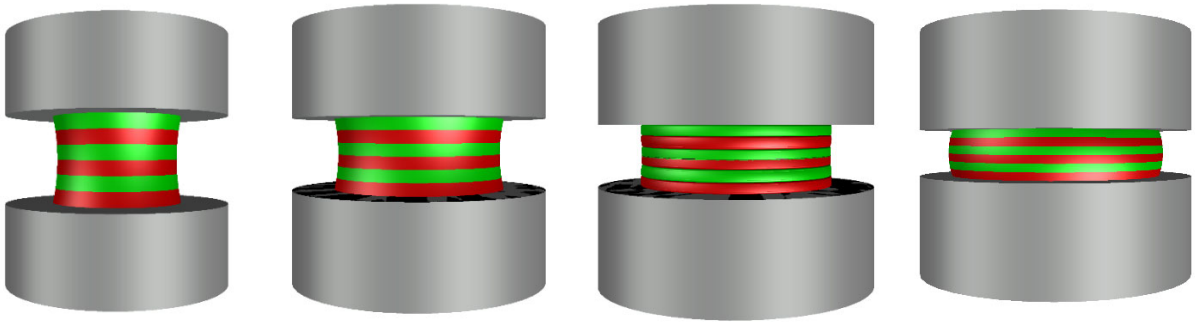
Рисунок 2.10 – Зміна вільної бокової поверхні зразка, обтисненого на 35 % (а); 55 % (б) і на 70 % (в). Діаметр отвору бойка 14 мм

Інтенсивність затікання матеріалу зразка в отвір бойка зростає зі збільшенням ступеня обтиснення.

2.3.2 При співвідношенні «діаметр отвору/діаметр зразка», рівному 0,550 на першій стадії обтиснення (0,13) спостерігається утворення увігнутого до осі заготовки профілю вільної бічної поверхні (рис. 2.6). При подальшому збільшенні обтиснення до 0,60 відбувається формування і осідання подвійної бочки. При обтисненні понад 0,60 відбувається вирівнювання бічної поверхні заготовки і утворення опуклого від осі заготовки профілю (рис. 2.5).

2.3.3 При співвідношенні «діаметр отвору/діаметр зразка», рівному 0,725 на першій стадії обтиснення (0,17) спостерігається, як і при співвідношенні «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,55, утворення увігнутого до осі заготовки профілю вільної бічної поверхні (рис. 2.11, а). При збільшенні обтиснення до 0,30 відбувається утворення яскраво вираженого, увігнутого до осі заготовки, профілю вільної бічної поверхні зразка (рис. 2.11, б). При

обтисненні від 0,30 до 0,50 профіль бічної поверхні зберігає увігнуту до осі заготовки форму (рис. 2.11, в). При обтисненні від 0,50 до 0,64 відбувається вирівнювання бічної поверхні заготовки і утворення опуклого від осі заготовки профілю (рис. 2.11, г).



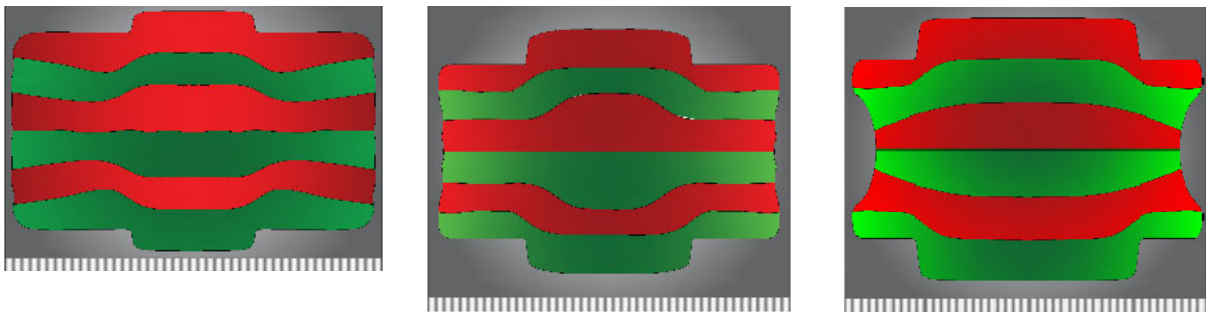
а б в г

Рисунок 2.11 - Зміна форми вільної бічної поверхні зразка, стиснутого на 17 % (а), 30 % (б), 50 % (в) і на 64 % (г). Діаметр отвору в бойці 29 мм

Висота ступиць у даному випадку є найбільшою порівняно з висотою ступиць, отриманих при обтисненні зразків із співвідношенням «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350 і 0,550 на кожній стадії обтиснення. Інтенсивність затікання матеріалу зразка в отвір бойка також зростає зі збільшенням ступеня обтиснення.

2.3.4 При обтисненні 0,30 для співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350; 0,550 і 0,725 спостерігається утворення опуклої від осі зразка бічної поверхні зразка («діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350) (рис. 2.12, а), увігнутої до осі бічної поверхні зразка («діаметр отвору/діаметр зразка» 0,550) (рис. 2.12, б) і більш увігнутої до осі бічної поверхні зразка («діаметр отвору/діаметр зразка» 0,725) (рис. 2.12, в).

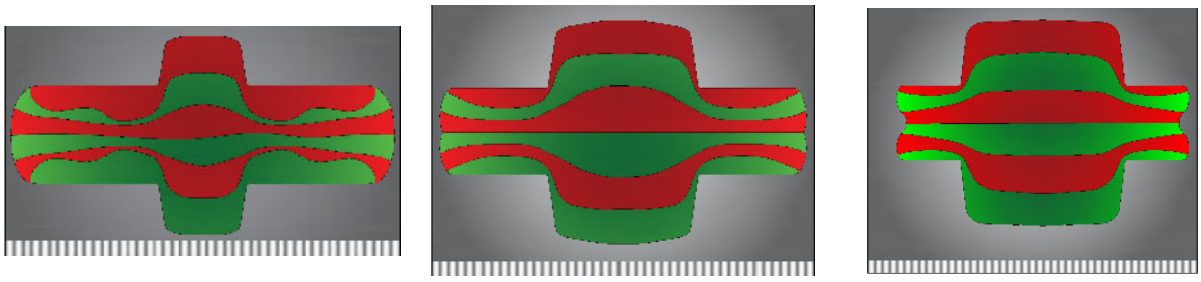
Висота ступиць, отримана при даному обтисненні, збільшується із зростанням співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка».



а б в

Рисунок 2.12 - Зміна форми бічної поверхні зразків, обтиснутих на 30 %. Співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350 (а), 0,550 (б) і 0,725 (в)

2.3.5 При обтисненні 0,60 для співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350, 0,550 і 0,725 бічна поверхня для співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350 зберігає опуклий профіль (рис. 2.13, а). Профіль бічної поверхні зразка із співвідношенням «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,550 набуває форми подвійної бочки (рис. 2.13, б). Бічна поверхня зразка з співвідношенням «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,725 зберігає увігнутий до осі зразка профіль (рис. 2.13, в).

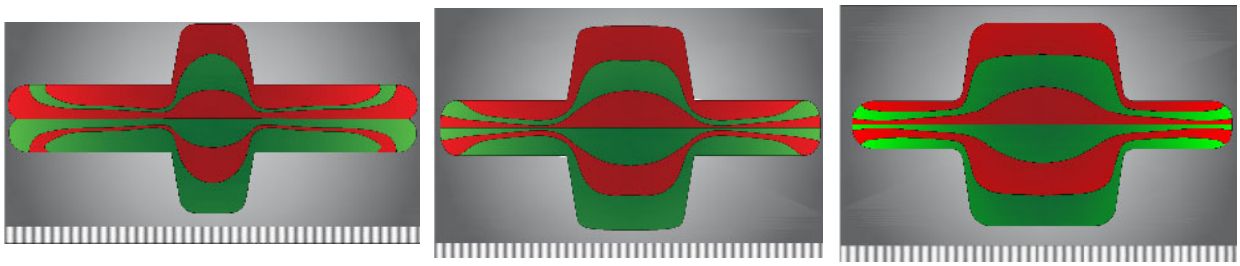


а б в

Рисунок 2.13 - Зміна форми бічної поверхні зразків, обтиснутих на 60 %. Співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350 (а), 0,550 (б) і 0,725 (в)

Висота ступиць, отримана при даному обтисненні, збільшується в порівнянні з висотою ступиць, отриманих при обтисненні 0,3, а також збільшується із зростанням співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка».

2.3.6 При обтисненні 0,70 для співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350; 0,550 і 0,725 профіль бічної поверхні всіх зразків опуклий від осі заготовки (рис. 2.14).



а б в

Рисунок 2.14 - Зміна форми бічної поверхні зразків, стиснутих на 70 %. Співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350 (а), 0,550 (б) і 0,725 (в)

Висота ступиць, що отримана при даному обтисненні, є максимальною для кожного зразка і збільшується із зростанням співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка».

При збільшенні ступеня обтиснення збільшується висота ступиць для всіх співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка». Профіль бічної поверхні залишається опуклим від осі зразка при співвідношенні «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350 на кожній стадії обтиснення зразка. Поява увігнутого до осі зразка профілю бічної поверхні спостерігається на перших стадіях обтиснення зразків із співвідношенням «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,550 і 0,725. Вирівнювання увігнутого профілю і утворення опуклого від осі заготовки профілю бічної поверхні спостерігається при обтисканнях понад 0,60.

Картина розташування ізоліній місцевих деформацій (рис. 2.9) показує, що нейтральні поверхні залежно від ступеня обтиснення і співвідношення «діаметр отвору/діаметр зразка» мають різну форму і розташування.

При співвідношенні «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350 (рис. 2.9, а, б, в) при трьох ступенях обтиснення 0,30; 0,60 і 0,70 нейтральна поверхня розташована в ступицях і зберігає свою форму на кожній з цих стадій обтиснення.

При співвідношенні «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,550 (рис. 2.9, г, д, е) нейтральна поверхня має складну форму і її положення змінюється в залежності від ступеня обтиснення . Так при обтисненні 0,30 (рис. 2.9, г) нейтральна поверхня являє собою дві замкнуті області, розташовані біля осі заготовки. При подальшому обтисненні (0,60) нейтральна поверхня зміщується від осі зразка (рис. 2.9, д) і проходить від верхньої до нижньої ступиці через тіло зразка по дузі, увігнутій до осі зразка. При обтисненні 0,70 (рис. 2.9; е) нейтральна поверхня зберігає своє положення, але при цьому зменшується її кривизна.

При співвідношенні «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,725 нейтральна поверхня при обтисненні 0,30 (рис. 2.9, ж) проходить від верхньої до нижньої межі «диск-ступиця» через диск заготовки. При обтисненні 0,60 (рис. 2.9, і) відбувається вирівнювання нейтральної поверхні в бік осі заготовки. При обтисненні 0,7 (рис. 2.9, к) нейтральна поверхня зберігає своє положення.

Лінії найбільших місцевих деформацій розташовуються на межах «диск-ступиця» і в середині диска зразка для всіх співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» і при всіх ступенях обтиснення. Щільність розташування ізоліній показує області найбільшого градієнта місцевих деформацій, їх розвиток і перетворення в процесі обтиснення.

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Визначення об'єму і площі поверхні заготовки при моделюванні осадки на пресі

Осадження заготовок є найпоширенішою операцією в технологіях кування і використовується для поліпшення структури литого металу злитків, для наближення форми заготовки до конфігурації поковки, як метод визначення технологічних властивостей матеріалу (ДСТУ 8817-73). Форма бічної поверхні залежить від тертя на контакті заготовки з осадовими плитами, розмірів і матеріалу заготовки, швидкості деформації, температури заготовки та ін. чинників. Забезпечення необхідної форми і розмірів бічної поверхні дає змогу досягати кращої підготовки форми заготовки під поковку, точніше проектувати штамповий інструмент із підвищенням його стійкості, знизити витрату матеріалів. Таким чином зазначається [1], що розрахунок загального балансу металу заготовки, включно з об'ємом, що утворює бічну поверхню ("бочку"), є актуальним науково-практичним завданням.

У монографії [2] розглядаються зміни площі поверхні циліндричного зразка під час осадження. Наведено розрахункові графіки балансу поверхні, що показують залежність контактної, бічної та загальної площі поверхні циліндричного зразка від ступеня деформації під час осадження. Наведено формулу для визначення коефіцієнта k_β, що являє собою відношення площі поверхні зразка до його об'єму, а також формулу для визначення відносного об'єму бочкоутворення. Аналогічний параметр - поверхневий фактор, розглядається також у [3]. Крім того, для визначення втрат тепла внаслідок теплового випромінювання і конвективного теплообміну (рівняння Стефана-Больцмана і Ньютона) також необхідно знати площу поверхні нагрітого тіла.

Зазначається, що причиною бочкоутворення під час осадження є контактне тертя між бойками і торцями циліндра і, як наслідок, нерівномірність (локальність) пластичної деформації. Графіки балансу

поверхні являють собою важливу характеристику процесу осадження і, зокрема, для оцінки граничних умов рівнянь теорії пластичності [2].

У низці публікацій детально розглядають задачу аналітичного визначення форми бічної поверхні циліндричних заготовок під час осесиметричного осадження [4-6]. Зазначається, що наукові розробки цього процесу є базовими для створення й удосконалення більшості теоретичних методик розрахунку технологічних параметрів різноманітних процесів деформації і тому становлять теоретичний і практичний інтерес [4-6].

Однак у цитованій літературі відсутні дані щодо аналітичного визначення площі поверхні та об'єму бочкоподібної заготовки, а також інформація щодо форм, яких може набувати бочка під час осадження і від яких геометричних параметрів залежить ця форма. Ці дані необхідні під час моделювання формозміни заготовки в процесі осадження, зокрема, для побудови креслення бочкоподібної заготовки за заданим об'ємом або площею поверхні, а також для оптимізації теплових втрат заготовки.

3.2 Постановка задачі дослідження

Завданням даної роботи є знаходження формул для аналітичного визначення об'єму та площі поверхні кругової бочки (утворююча - дуга кола), встановлення видів бочок, утворення яких можливе на різних стадіях процесу осадження та залежно від умов осадки. Слід зазначити, що в даному дослідженні розглядаються умови утворення тільки одинарної бочки з випуклою бічною поверхнею.

3.3 Визначення розрахункових формул

Для визначення об'єму та площі поверхні бочки скористаємося методикою визначення об'єму та поверхні тіла обертання, наведеною в монографії [7].

Нехай тіло отримано обертанням півкола abc, зображеного на рис. 3.1, навколо осі OY. Це півколо описується рівнянням:

$$x = x_0 + \sqrt{r^2 - y^2}. \tag{3.1}$$

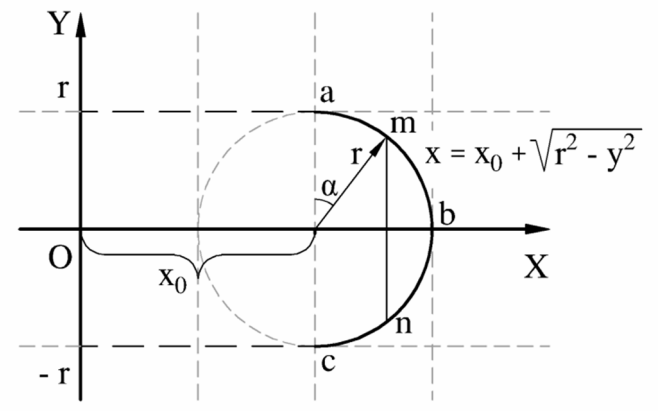


Рисунок 3.1 - Схема до визначення об'єму та площі тіла обертання

Об'єм тіла, отриманого обертанням півкола abc навколо осі OY дорівнює:

$$V_{бочки} = \pi \int_{-r}^{r} x^2 dy = 2\pi \int_{0}^{r} x^2 dy. \tag{3.2}$$

Об'єм тіла, отриманого обертанням дуги mbn навколо осі OY дорівнює:

$$V_{бочки} = 2\pi \int_{0}^{r\cos\alpha} x^2 dy. \tag{3.3}$$

Поверхня тіла, отриманого обертанням півкола abc навколо осі OY дорівнює сумі бічної поверхні та двох торцевих поверхонь:

$$S_{бочки} = 2\pi \int_{-r}^{r} x\sqrt{1 + \left(x'\right)^2}\, dy + 2\pi x_0^2 = 4\pi \int_{0}^{r} x\sqrt{1 + \left(x'\right)^2}\, dy + 2\pi x_0^2. \tag{3.4}$$

Поверхня тіла, отриманого обертанням дуги mbn навколо осі OY дорівнює:

$$S_{бочки} = 4\pi \int_{0}^{r\cos\alpha} x\sqrt{1 + \left(x'\right)^2}\, dy + 2\pi(x_0 + r\sin\alpha)^2. \tag{3.5}$$

Під час осадження циліндричного зразка залежно від вихідних параметрів процесу осадження, форма заготовки змінюється і набуває на завершальній стадії осадження бочкоподібної форми. Можливі чотири варіанти формоутворення бочки під час осадження циліндричного зразка (рис. 3.2 а-г).

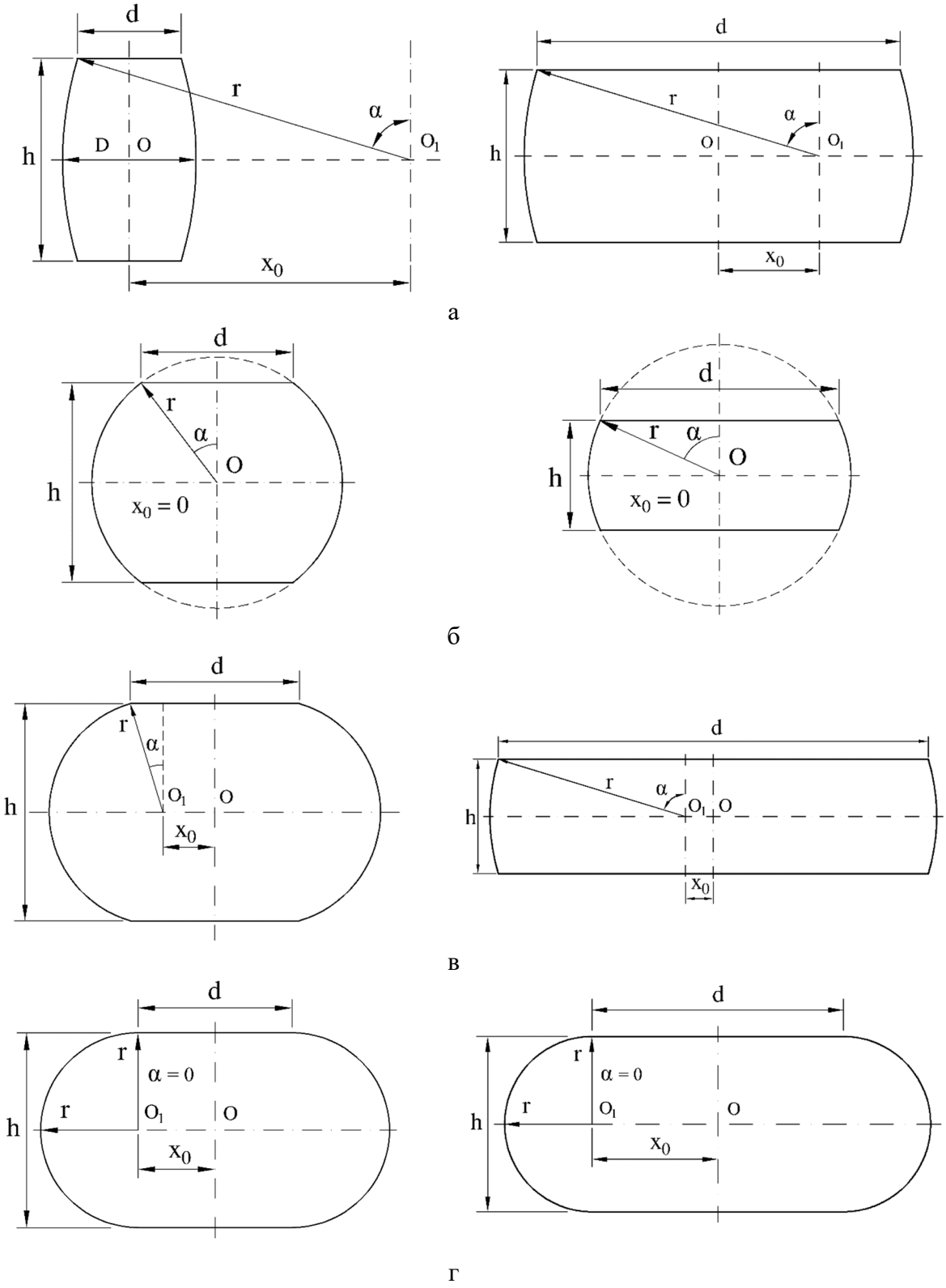


Рисунок 3.2 – Варіанти утворення бочки під час осадження циліндричного зразка (рисунки ліворуч – d < h, праворуч – d > h вихідної циліндричної заготовки): а - центр твірної O_1 розташований правіше за центр симетрії заготовки О; б – кульовий шар (x_0 = 0); в – центр твірної O_1 розташований лівіше за центр симетрії заготовки О; г – кут α = 0

Перший варіант бочки (рис. 3.2 а): центр дуги кола O_1 розташований правіше за центр симетрії заготовки О (через симетрію розглядається тільки ліва половина зразка). Після інтегрування формул (3.3) і (3.5) отримаємо:

$$V_{бочки} = \frac{2}{3}\pi r\left[3r^2\cos\alpha + 3x_0^2\cos\alpha - 3rx_0\arcsin(\cos\alpha) - 3x_0\cos\alpha\sqrt{r^2 - r^2\cos\alpha} - r^2\cos^3\alpha\right], \quad (3.6)$$

$$S_{бочки} = 4\pi r\left[r\cos\alpha - x_0\arcsin(\cos\alpha)\right] + 2\pi(r\sin\alpha - x_0)^2. \quad (3.7)$$

Другий варіант - кульовий шар (рис. 3.2 б) спостерігається, коли $x_0 = 0$. З формул (3.6) і (3.7) отримаємо:

$$V_{бочки} = \frac{2}{3}\pi r\left(3r^2\cos\alpha - r^2\cos^3\alpha\right), \quad (3.8)$$

$$S_{бочки} = 4\pi r^2\cos\alpha + 2\pi(r\sin\alpha)^2. \quad (3.9)$$

Використовуючи заміну (див. рис. 3.2 б), формули (3.8) і (3.9) для кульового шару запишемо у вигляді:

$$V_{бочки} = \pi r^2 h - \frac{1}{12}\pi h^3, \quad (3.10)$$

$$S_{бочки} = 2\pi r h + 2\pi r^2 - \pi\frac{h^2}{2}. \quad (3.11)$$

Формули (3.10) і (3.11) відповідають формулам, наведеним у літературі для кульового шару [5].

Третій варіант бочки: (рис. 3.2 в) центр дуги кола O_1 розташований лівіше за центр симетрії заготовки О. Після інтегрування формул (3.3) і (3.5) отримаємо:

$$V_{бочки} = \frac{2}{3}\pi r\left[3r^2\cos\alpha + 3x_0^2\cos\alpha + 3rx_0\arcsin(\cos\alpha) + 3x_0\cos\alpha\sqrt{r^2 - r^2\cos\alpha} - r^2\cos^3\alpha\right], \quad (3.12)$$

$$S_{бочки} = 4\pi r\left[r\cos\alpha + x_0\arcsin(\cos\alpha)\right] + 2\pi(r\sin\alpha + x_0)^2. \quad (3.13)$$

Четвертий варіант бочки (рис. 3.2 г) є різновидом третього варіанта і можливий на завершальних стадіях осадження. Він відповідає умові, коли кут $\alpha = 0$. При цьому бічна поверхня являє собою не дугу, як у попередніх варіантах, а півколо. Після інтегрування формул (3.2) і (3.4) отримаємо:

$$V_{бочки} = \frac{1}{3}\pi r\left(4r^2 + 6x_0^2 + 3\pi r x_0\right), \tag{3.14}$$

$$S_{бочки} = 2\pi\left(2r^2 + x_0^2 + \pi r x_0\right). \tag{3.15}$$

Слід зазначити, що формули (3.6, 3.7) і (3.12, 3.13) ідентичні й відрізняються тільки знаками, а формули (3.8, 3.9, 3.14, 3.15) є окремими випадками формул (3.6, 3.7).

3.4 Порівняння отриманих формул із літературними даними

У літературі [8] наведено такі формули для визначення об'єму бочки:
– для круглої бочки (утворююча - дуга кола) наближено:

$$V_{бочки} = 0{,}262h\left(2D^2 + d^2\right), \tag{3.16}$$

– для параболічної бочки:

$$V_{бочки} = \frac{\pi h}{15}\left(2D^2 + Dd + \frac{3}{4}d^2\right), \tag{3.17}$$

де D - більший діаметр бочки (див. рис. 3.2 а).

Також наводиться наступна наближена формула для об'єму бочки [9]:

$$V_{бочки} = \frac{3{,}2D\,d\,h}{4} \tag{3.18}$$

Формули для визначення площі поверхні бочки в літературі відсутні.

Слід зазначити, що сучасні комп'ютерні програми, наприклад, AutoCAD Mechanical 2020 [10], дають змогу визначати об'єми та площі поверхні об'ємних фігур і тіл, накреслених у цій програмі. Однак алгоритм розрахунку невідомий, а також відсутня можливість побудови креслення бочки за заданим об'ємом або заданою площею поверхні.

У програмі AutoCAD Mechanical 2020 ми креслили профілі зображених на рис. 3.2 бочок, задаючись довільно параметрами r, α і x_0. На підставі цих профілів моделювалися 3d об'єкти - бочки шляхом створення поверхонь обертання відносно вертикальної осі симетрії.

Результати розрахунків об'ємів і площ поверхні за вищенаведеними формулами наведено в табл. 3.1. Наведено також види змодельованих в AutoCAD Mechanical 2020 бочок.

Розраховані за формулами (3.6, 3.8, 3.12, 3.14) об'єми бочок і за формулами (3.7, 3.9, 3.13, 3.15) площі поверхонь повністю збіглися з об'ємами і поверхнями, визначеними в AutoCAD Mechanical 2020, що підтверджує достовірність виведених формул. Наведені в літературі формули (3.16 – 3.18) лише наближено відповідають істинним значенням (відхилення становить від сотих до десятків відсотків).

3.5 Висновки за розділом

Отримано формули для аналітичного визначення об'єму та площі поверхні бочкоподібної заготовки, що утворюється в процесі осадки на пресі. Формули дають змогу моделювати форму і розміри бочкоподібної заготовки. Виконано систематизацію форм бочок, утворення яких можливе в процесі осадження. Розраховані за виведеними формулами об'єми та площі поверхонь бочок повністю збіглися з визначеними в AutoCAD Mechanical 2020 значеннями для побудованих моделей, що підтверджує достовірність отриманих формул.

Таблиця 3.1 - Початкові дані та результати розрахунків обсягу і площі поверхні бочкоподібної заготовки

Рис. 3.2	Види бочек у відповідності до рис. 3.2	r, мм	α, рад.	x_0, мм	D, мм	d, мм	h, мм	$V_{бочки}$, мм^3, за формулами:				$S_{бочки}$, мм^2, за формулами (3.7, 3.9, 3.13, 3.15)
								(3.6, 3.8, 3.12, 3.14)	(3.16)	(3.17)	(3.18)	
а		154,6	1,275	124,9	59,5	46,1	90,0	215238	216796	214939	197235	19110
		154,6	1,275	52,8	203,7	190,3	90,0	2808171	2810912	2807068	2791185	114039
б		54,3	0,652	0,0	108,5	65,9	86,2	629400	629883	612990	492959	36205
		54,3	1,139	0,0	108,5	98,5	45,4	395436	395739	394964	388490	30734
в		26,1	0,293	11,9	76,0	38,9	50,0	175794	171161	163805	118165	15563
		154,6	1,275	22,1	353,5	340,1	90,0	8618041	8624398	8616103	8660039	281893
г		21,3	0,0	16,9	76,4	33,7	42,7	154590	143245	135000	87986	14611
		21,3	0,0	30,7	104,1	61,4	42,7	305084	284445	276092	218258	24580

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Результати аналізу потенційно небезпечних і шкідливих факторів при виконанні дослідницької роботи наведені в табл. 4.1. При аналізі враховувалося, що дослідницька робота проводилася на модельованому матеріалі гарячого стану металу - пластиліні. Даний вид матеріалу не відноситься до матеріалів, в яких є вміст шкідливих речовин. Нагрівання даного матеріалу проводиться в звичайній теплій воді, що не чинить ніякого вражаючого впливу на організм людини.

Таблиця 4.1 - Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Операція	Об'єкт експлуатації	Небезпечні і шкідливі фактори	Чим виражається дія фактора	Нормуєме значення параметру
1	2	3	4	5
Увімкнення та вимкнення електричних приладів	Рубильники, вимикачі, електричні розетки	Небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини	При несправності або при невмілому користуванні обладнанням можливе ураження електричним струмом	Струм, що не відпускає U=220 В, I=10 мА, F=50/60 Гц
Налаштування роботи обладнання	Окремі блоки та компоненти електричних машин			Струм торкання U=5,3 В, I=0,2 мА,
Візуальний аналіз результатів експерименту	Роздрукування вихідних даних, вимірювальні прилади, калькулятор, робочий зошит	Недостатня освітленість робочого місця, знижена контрастність	Погіршення зору, підвищення втоми, перенапруження аналізаторів	Шрифт 12-14 Times New Roman, Arial тощо
Робота з ПЕОМ	Системний блок, монітор, периферійні прилади	Підвищений рівень іонізуючих та електромагнітних випромінювань	Тривале опромінення тканин викликає порушення в роботі нервової	Див. табл. 4.4

			і серцево-судинної системи, погіршення зору	
Пресування у спеціальній оснастці	Гідравлічний прес	Незахищені рухомі елементи, підвищений рівень шуму до 80 дБА	При несправності або при невмілому користуванні обладнанням можливе ураження незахищених частин тіла, а також ураження слухового апарату	Див. табл. 4.4

4.2 Санітарно-технічні вимоги

У цьому параграфі коротко викладено вимоги до облаштування та санітарно-технічного обладнання лабораторії.

Робоче приміщення навчальної лабораторії кафедри МТЕТБ відноситься до фізичного типу лабораторій. Воно розташоване на першому поверсі корпусу «10» ІННІ ім. Ю.М. Потебні, ауд. № 21. Робоче приміщення - кімната з робочою площею 42 м^2 висотою 3 м. Робочих місць - 7. Звідси випливає, що площа на одного працівника становить 6 м^2.

Вимоги до мікроклімату приміщення:

Температура повітря, вологість, швидкість руху повітря відповідають ДСТУ 12.1.005-88 і наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Температура повітря, вологість і швидкість руху повітря

Період	Параметри, що вимірюються			Оптимальні параметри		
	Температура, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	23	55	не більше 0,1	22-24	40-60	0,2
Теплий	24	60		23-25	40-60	0,5

Необхідний повітрообмін забезпечується природною вентиляцією. Підтримка необхідної температури здійснюється водяним опаленням.

4.3 Вимоги до освітлення лабораторії

Характеристика зорових робіт, що виконуються в лабораторії, відноситься до робіт високої точності. Параметри освітленості нормуються відповідно до СНіП 23-05-95. Відповідні нормовані величини наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Нормування освітленості

Операція, що виконується	Розряд і під-розряд робіт	Найменший об'єкт, що розрізняється	Відносна тривалість роботи, %	Штучне освітлення		
				Освітленість, лк	Показник дискомфорту	Коефіцієнт пульсації, %
Робота на ПЕОМ	Б1	0,3-0,5300	більш ніж 70	300	60	20

Розрахунок необхідного природного освітлення виконується за формулою, де дані для розрахунку коефіцієнтів містяться у додатку 5 СНіП П-4-79.

$$S_0 = \frac{S_n \cdot e_n \cdot \eta_0 \cdot K_з}{r_l \cdot t_0 \cdot 100\%}$$

де S_0 – необхідний розмір світового отвору, м^2;

S_n – площа кімнати, м^2;

e_n – коефіцієнт природної освітленості, %;

$K_з$ – коефіцієнт запасу;

η_0 – коефіцієнт, що враховує розташування фронтальної стіни;

r_l – коефіцієнт, що враховує освітленість за рахунок відбиття світлового потоку від внутрішніх поверхонь приміщення;

t_0 – загальний коефіцієнт, що враховує світлопропускаючу здатність світлового отвору.

$$S_0 = \frac{42 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 1{,}7 \cdot 1{,}5}{3 \cdot 0{,}6 \cdot 100\%} = 11{,}9 \text{ м}^2.$$

Штучне освітлення здійснюється люмінесцентними лампами. Розрахунок необхідної кількості ламп для штучного освітлення проводиться за формулою:

$$N = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot z \cdot k}{\varphi \cdot \eta \cdot n}$$

де N – необхідна кількість світильників;

$E_н$, – нормоване значення освітленості, Лк;

S – площа підлоги, м^2;

z – відношення освітленості $E_{сер}$ об'єкта до $E_{мін}$;

$к$ – коефіцієнт запасу, що враховує запиленість ламп;

φ – світловий потік лампи, Лм;

n – кількість ламп у кожному світильнику, шт.

$$N = \frac{300 \cdot 42 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}3}{3120 \cdot 0{,}38 \cdot 2} = 8 \text{ шт.}$$

У лабораторії є 8 світильників. Розрахункова кількість світильників – 8 шт., отже вимога СНіП 23-05-95 виконується.

4.4 Розробка заходів захисту від небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Мета розділу: виявлення та оцінка рівня діючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, від впливу яких необхідна додаткова, крім передбаченої конструкцією обладнання захисту, розробка ефективних заходів захисту.

Організаційні заходи: персонал повинен бути ознайомлений з інструкціями з техніки безпеки в повному обсязі. Необхідний постійний контроль за станом обладнання, виконання ремонтно-профілактичних робіт.

Індивідуальні заходи: необхідно дотримуватися правил з техніки безпеки, використовувати індивідуальні засоби захисту.

Заходи захисту від зазначених небезпечних і шкідливих виробничих факторів наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Заходи захисту від небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Небезпечні і шкідливі фактори	Заходи захисту від виявлених небезпечних і шкідливих виробничих факторів
Небезпечний рівень напруги в ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини	Організаційні заходи захисту від ураження еклектичним струмом: інструкція по роботі, графік режиму роботи, що проводяться за затвердженим графіком, своєчасне обслуговування обладнання, Технічні заходи захисту: всі рукоятки і ручки зроблені з ізолюючих матеріалів або мають непароводяне покриття, заземлення обладнання.
Перенапруження дослідників; монотонність праці	В якості технічного засобу рекомендується застосування екрану, за допомогою якого потужність дози за екраном може бути зменшена в необхідну кількість разів. Обмеження часу роботи на ПЕОМ, збільшення частоти перерв у роботі, обладнання робочого місця зручними меблями.
Підвищений рівень іонізуючого випромінювання в робочій зоні	До організаційних заходів захисту від іонізуючого випромінювання відноситься нормування часу роботи на ПЕОМ.
Відсутність або недостатність природного освітлення	Забезпечення штучного освітлення. Перерви на роботі
Незахищені рухомі елементи гідравлічного пресу	Встановлення захисних пристроїв у вигляді кожухів і блокаторів

4.5 Безпека життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях

Категорія приміщення за вибуховою та пожежною безпекою відповідно до нормативів «В», оскільки в ньому є тверді горючі речовини та матеріали. Ступінь вогнестійкості приміщення П (несучі та огороджувальні конструкції з цегли, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів).

У комплекс протипожежних заходів входять попередження пожежі: створення умов нормальної експлуатації, забезпечення швидкої локалізації та гасіння пожежі. Основною причиною загоряння в лабораторії може бути

несправність електричних приладів. У лабораторії є вогнегасники ОП5 і ОУ-2 для гасіння локальних осередків загоряння.

Пожежне навантаження приміщення визначається за формулою:

$$Q = \sum G_J \cdot Q_{HJ}^P$$

де Q – пожежне навантаження приміщення, МДж;

G_J – кількість j – того матеріалу пожежного навантаження, кг;

Q_{HJ}^P – нижча теплота згоряння j – того матеріалу пожежного навантаження, кДж/кг.

Для деревини $Q_{HJ}^P = 19000$ кДж/кг

Питоме пожежне навантаження визначається за формулою:

$$q = \frac{Q}{S}$$

де q – питоме пожежне навантаження, МДж/м^2;

S – площа розміщення пожежного навантаження, м^2.

$$q = \frac{19 \cdot 50 \cdot 12}{14} = 814{,}2 \text{ МДж/м}^2$$

Виходячи з отриманого значення питомого пожежного навантаження, визначаємо категорію пожежонебезпечного приміщення – В3 (від 181 до 1401 МДж/м^2).

Перевіряємо на виконання умови

$$Q < 0{,}64 \cdot q \cdot H = 0{,}64 \cdot 814{,}2 \cdot 4 = 2084{,}4 \text{ МДж}.$$

Умова не виконується, тому приміщення відноситься до категорії В2.

4.6 Ергономічні вимоги до роботи з ПЕОМ

При роботі з персональними ЕОМ (ПЕОМ) приблизно у 80% користувачів спостерігаються фізичні розлади різного ступеня тяжкості. Основні з них: розлади органів зору та різні м'язові розлади.

Для зниження впливу цих шкідливих факторів на організм людини розроблено ряд ергономічних вимог.

Візуальні ергономічні параметри відеодисплейних терміналів

Будь-яка праця, пов'язана з необхідністю пильно дивитися в одну точку, призводить до перенапруження очей, але особливої шкоди здоров'ю завдає робота за екраном монітора. Відстань від монітора до очей в процесі роботи не змінюється, постійно піддаючи їх таким подразникам, як різке яскраве світло і мерехтіння. Проблеми із зором пов'язані з неправильним освітленням в приміщенні, невідповідною роздільною здатністю екрану, сліпучою яскравістю, а також мерехтінням моніторів.

Для забезпечення надійного зчитування інформації при відповідному ступені комфортності її сприйняття в СНіП 2.2.2.542-96 визначені оптимальні та допустимі діапазони візуальних ергономічних параметрів. Візуальні ергономічні параметри та межі їх змін наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Візуальні ергономічні параметри відеодисплейних терміналів та межі їх змін

Найменування параметрів	Межі значень параметрів	
	мінімум	максимум
Яскравість знаку (яскравість фону), кд/м^3, (вимірювання у темряві)	35	120
Зовнішня освітленість екрану, Лк	100	250
Кутовий розмір знаку, кут. мін	16	60

Вимоги до відеодисплейних терміналів

Конструкція ВДТ повинна забезпечувати можливість фронтального спостереження екрану. Дизайн ВДТ повинен передбачати фарбування корпусу в спокійні м'які тони з дифузним розсіюванням світла. Корпус ВДТ і ПЕОМ, клавіатура та інші блоки і пристрої ПЕОМ повинні мати матову поверхню

одного кольору з коефіцієнтом відбиття 0,4...0,6 і не мати блискучих деталей, здатних створювати відблиски.

Положення монітора повинно бути таким, щоб світло на нього падало під кутом. Екран монітора повинен розташовуватися приблизно на відстані 28...60 см від оператора, причому верхній край екрана повинен знаходитися на рівні очей. Рекомендується по можливості зменшувати інтенсивність світла люмінесцентних джерел. Для монітора повинні бути передбачені ручки регулювання яскравості і контрастності зображення, що забезпечують можливість регулювання цих параметрів від мінімальних до максимальних значень.

При необхідності рекомендується застосовувати захисні фільтри для ослаблення впливу випромінювання екрану, зменшення відбитого блиску зображення, зниження статичного заряду. Використання захисних фільтрів робить менш помітним мерехтіння монітора.

Для будь-якого монітора обов'язковим є дотримання вимог стандарту ДСТУ 27954-88 на відеомонітори персональних ЕОМ.

На лицьовій стороні корпусу ВДТ не рекомендується розташовувати органи управління, маркування, будь-які допоміжні написи та позначення. При необхідності розташування органів управління на лицьовій панелі вони повинні закриватися кришкою або бути втоплені в корпусі.

4.7 Розрахунок захисту від іонізуючого випромінювання при роботі з ЕОМ

Дипломна робота виконувалася на ЕОМ, тому одним з основних небезпечних факторів є підвищений рівень іонізуючого випромінювання. Для оцінки ефективності існуючих захисних технічних засобів розраховують експозиційну та ефективну дозу опромінення.

Розрахунок ведеться на основі таких вихідних даних:

- сила анодного струму I = 2,5 мА;

- напруга на частинках розгортки електронно-променевої трубки, U=10kB;

- відстань від джерела випромінювання до робочого місця R=80 см;

- товщина екрану d=0,5 см.

Для м'якого випромінювання (в діапазоні від 10 до 10 МеВ) потужність експозиційної дози гальмівного випромінювання p_x, Р/с, можна оцінити за наступною формулою, при цьому враховуючи, що коефіцієнт лінійного поглинання матеріалу екрану

$$m = 26{,}6 \cdot c$$

де m - коефіцієнт лінійного поглинання матеріалу екрану;

с - щільність матеріалу екрану, г/см;

с = 2,5 г/см.

Потужність експозиційної дози випромінювання розраховується за формулою:

$$p_x = 7 \cdot \frac{l}{r^2} \cdot 10^{-5 \cdot \frac{m \cdot d}{2,3}}$$

$$p_x = 7 \cdot \frac{2,5}{80^2} \cdot 10^{-5 \cdot \frac{24,6 \cdot 0,0025 \cdot 0,5}{2,3}} = 27 \cdot 10^{-8} \text{мР/с}$$

Для переведення потужності експозиційної дози в потужність поглиненої дози $p_д$, Гр/с використовується формула

$$p_д = к_П \cdot p_x$$

де $к_П$ – коефіцієнт поглинання, який дорівнює 33 Гр кг/Кл.

Потужність еквівалентної дози розраховується за формулою

$$p_n = W_p \cdot p_D$$

де p_n - потужність еквівалентної дози, Зв/с;

W_p - зважувальний коефіцієнт рентгенівського випромінювання.

Максимальна тривалість роботи за тиждень за дисплеєм t = 36 годин або $k_t = 13 \cdot 10^4$ с/тиж.

Тоді еквівалентна доза на тиждень, Зв/тиж дорівнює:

$$Р_{Нн} = k_n \cdot W_R \cdot k_t \cdot p_x$$

$$p_д = 33 \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-8} = 8{,}9 \cdot 10^{-7} мГр/с$$

$$P_{Нн} = 33 \cdot 1 \cdot 13 \cdot 10^4 \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-8} = 0{,}12 \text{ мЗв/тиж.}$$

Розрахована потужність дози не перевищує допустиму потужність дози, розраховану за гранично допустимою дозою, наведеною в НРБ-96 (норми радіаційної безпеки).

Для більш точного аналізу у виробничих умовах слід врахувати, що наведена оцінка потужності дози є завищеною, оскільки дані про спектр рентгенівського випромінювання показують, що кількість квантів з енергією, рівною максимальній (енергія електронів), не перевищує 0,4 % від їх загальної кількості.

ВИСНОВКИ

1. В результаті поетапного обтисненні зразків встановлено, що інтенсивність затікання матеріалу зразка в отвір бойка збільшується для досліджених співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,350; 0,550 і 0,725 при збільшенні ступеня обтиснення від 0,13 до 0,70. Затікання матеріалу зразка починається на перших стадіях обтисненні.

2. При співвідношеннях «діаметр отвору/діаметр зразка» 0,550 і 0,725 на перших стадіях обтиснення (0,13) утворюється увігнутий до осі зразка профіль вільної бічної поверхні, при тому що зразок не відноситься до категорії «високих» зразків (початкове співвідношення висоти зразка до діаметра зразка становило 0,8). Проведені раніше дослідження [9], [10] показали, що утворення увігнутого до осі зразка профілю вільної бічної поверхні зразка відбувається при осадці заготовок із співвідношенням висоти до діаметра, рівним 1,5.

3. Побудовані поля (топограми, ізолінії) місцевих деформацій для трьох співвідношень «діаметр отвору/діаметр зразка» (0,350; 0,550; 0,725) і трьох ступенів обтиснення (0,30; 0,60; 0,70) дозволили отримати дані про положення нейтральних поверхонь, а також про розташування областей найбільших місцевих деформацій стоншення і потовщення в залежності від геометричних співвідношень зразків і інструменту, і ступеня обтиснення.

4. Отримано формули для аналітичного визначення об'єму та площі поверхні бочкоподібної заготовки, що утворюється в процесі осадки на пресі. Формули дають змогу моделювати форму і розміри бочкоподібної заготовки зі сталі ЕП708-ВД. Виконано систематизацію форм бочок, утворення яких можливе в процесі осадження. Розраховані за виведеними формулами об'єми та площі поверхонь бочок повністю збіглися з визначеними в AutoCAD Mechanical 2020 значеннями для побудованих моделей, що підтверджує достовірність отриманих формул.

5. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проаналізовано потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори, проведено інженерну розробку заходів захисту від них. Проведено розрахунок захисту від іонізуючого випромінювання при роботі з ПЕОМ.

6. Отримані в роботі експериментальні дані можуть бути застосовані як для подальшого теоретичного дослідження, так і для застосування в промисловості для отримання дисків зі сталі ЕП708-ВД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wei-Wen Yu. Cold-Formed Steel Design- Third Edition- John Wiley end Sons, Inc. 2000. Canada.
2. George T. Halmos. Roll Forming Handbook. Taylor & Francis Group. 2006. Canada.
3. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб : навчальний посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.
4. Ніколаєв В. О. Калібрування прокатних валків : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 158 с.
5. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія прокатного виробництва : навчальний посібник. Кривий Ріг : Видавничій центр КНУ, 2017. 169 с.
6. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
7. Проценко В. М. Технологія виготовлення гнутих профілів : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.
8. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Belokon Yu. A., Bondarenko Y. V. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.
9. Проценко В. М. Обтискне та сортове виробництво : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 51 с.
10. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.
11. Ніколаєв В. О. Теорія прокатки штаб : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 259 с.

12. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Bondarenko Y. V., Kirichenko A. G., Ping F. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation canter when rolling a metal strip. Journal of Engineering Sciences, Volume 6, Issue 2 (2019), pp. E 31–E 35.
13. Проценко В. М. Прокатка листів та штаб : методичні вказівки до виконання практичних занять, контрольних робіт і самостійної роботи для здобувачів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском») всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 67 с.
14. Ніколаєв В. О. Теорія та обладнання точної прокатки штаб: методичні рекомендації до виконання практичних завдань, контрольних і самостійних робіт для здобувачів ЗДІА напряму 8.0504104 ”Обробка металів тиском”. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 52 с.
15. Проценко В. М. Виробництво спеціальних видів прокату : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском»). Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2025. 62 с.