

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повна найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський)

(другий (магістерський) рівень)

на тему Аналіз процесу осаджування
свинцю циліндричних зразків на пресах та молотах

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт

Зенковський Павло Євгенійович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(цифр і назва)

спеціалізація

(цифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(цифр і назва)

Керівник к.т.н. доц. Явтушенко Г.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ**

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія
(цифра і назва)

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском
(цифра і назва)

З А Т В Е Р Д Ж У Ю
Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белокозь

“ 07 ” 05 2023 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Зенковський Павло Євгенійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз процесу осаджування свинцевих циліндричних зразків на пресах та молотах

керівник роботи (проекту) Яцишинко Ганна Володимирівна к.т.н. доцент

(фамилія, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “07” 05 2023 року № 1581 від 09.10.2023

2. Строк подання студентом роботи (проекту) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекту) дослідити осередок деформації при холодному прокатуванні штабу з метою визначення коефіцієнта положення рівнодіючої сили за різними методиками.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Дослідницько-розрахункова частина. Експериментальна та розрахункова частина. Охорона праці. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 13 слайдів (на 13 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<u>Розділ 1</u> <u>Дослідницько-</u> <u>розрахункова</u> <u>частина</u>	<u>Явчишин Г.В., доцент</u>	
<u>Розділ 2</u> <u>Дослідницько-</u> <u>розрахункова</u> <u>частина</u>	<u>Явчишин Г.В., доцент</u>	
<u>Розділ 3</u> <u>Економічні</u> <u>аспекти проблеми</u>	<u>Явчишин Г.В., доцент</u>	
<u>Розділ 4</u> <u>Охорона</u> <u>праці</u>	<u>Явчишин Г.В., доцент</u>	
<u>Нормоконтроль</u>	<u>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</u>	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН



№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Прізвище
1	<u>Вступ</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
2	<u>Реферат</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
3	<u>Аналітично-пошукова частина</u>	<u>до 30.06.2023</u>	
4	<u>Дослідницько-розрахункова частина</u>	<u>до 19.11.2023</u>	
5	<u>Економічні аспекти проблеми</u>	<u>до 26.11.2023</u>	
6	<u>Охорона праці</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
7	<u>Висновки</u>	<u>до 30.11.2023</u>	

Студент _____ Земковський П.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Явчишин Г.В.
(ініціали) а

Реферат

Кваліфікаційна робота магістра: 113 стр., 66 рис., 19 табл., 21 джерел
посилань

ФАКТОР, ОСАДЖУВАННЯ, ЗРАЗОК, ПРЕС, СИЛА ,
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ПОКОВКА, ЯКІСТЬ, УНІВЕРСИЛЬНА
МАШИНА, ТЕРТЯ

Об'єкт дослідження – вплив технологічних факторів по величині сили і роботи при осаджуванні свинцевих зразків циліндричної форми.

Ціль роботи – виявити як і які фактори впливають на величину сили і роботи при осаджуванні циліндричних зразків, з'ясувати можливість зменшення нерівномірності осаджування та зменшення енергозатрат в процесі осаджування.

Суть роботи полягає в проведенні експериментальних досліджень впливу технологічних факторів на величину сили і роботи при осаджуванні циліндричних зразків з свинцю. На підставі отриманих даних знайти можливість зменшення енергоспоживання, зменшенню відходів та підвищенню якості отриманих поковок.

Робота проводилась на підставі експериментальних даних, отриманих мною при проведенні практичної роботи по осаджуванню свинцевих, циліндричних зразків на лабораторній універсальній машині УГ 20/2 в Запорізькій державній інженерній академії. Осаджування проводив при різних умовах контактного тертя, та з покроковим ступеням осаджування. Всі дані заносились до таблиць та на кожен технологічний фактор складався графік залежності. Після аналізу впливу технологічних факторів по величині сили і роботи, робились висновки і в економічних аспектах доводилась підтвердження актуальності виконання цієї роботи.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Аналітично - пошукова частина.....	8
1.1 Стан проблеми.....	8
1.2 Літературний огляд.....	9
1.3 Постановка задачі.....	31
2 Дослідницько-розрахункова частина.....	34
2,1 План проведення теоретичних і експериментальних робіт.....	34
2.2 Техніка, апаратура, технології, методи розрахунку параметрів.....	34
2.3 Методика експерименту та визначення параметрів процесу.....	40
2.4 Обробка та обговорення результатів дослідження.....	69
2.5Пропозиції та заходи щодо вдосконалення процесу, технології, обладнання.....	94
3 Економічні аспекти проблеми.....	100
4. Охорони праці.....	108
4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі в лабораторії	108
4.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи.....	109
4.3 Вимоги охорони праці під час роботи.....	109
4.4 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях.....	111
Висновки.....	112
Перелік джерел посилання	113

ВСТУП

Сучасна технологія машинобудування має численні способи виготовлення деталей машин і інших виробів сучасної техніки з металевих і неметалевих матеріалів.

Основними методами виготовлення металевих деталей та їх напівфабрикатів є лиття, обробка тиском і обробка різанням.

Особливе місце займає обробка тиском, що полягає в пластичній зміні форми металу шляхом його деформування, в процесі якого змінюються структура металу та його фізико-хімічні та механічні властивості. Тому найбільш важко навантажені деталі машин виготовляють обробкою тиском.

Обробка металів тиском є економічно вигідною, тому що отримані заготовки в процесі обробки тиском максимально наближені до розмірів готової деталі, що дає при подальшій обробці мінімум відходів.

Одним з видів обробки металів тиском є кування та штампування. При куванні та штампуванні одним з основних їх процесів є осаджування. Куванням та штампуванням отримують поковки різних розмірів, від маленьких до великих, наприклад при вільному куванні осаджують злитки до 300т, з яких виробляють прокатні валки, судові вали, колони гідравлічних пресів, тощо. Штамповкою виготовляють шестерні, колеса, шари, колінчаті вали и т.д.

В сучасних обставинах, коли в світі є потреба в розробці і будівництві більш сучасних і потужних станів, пресів, різноманітних машин потрібно приділити увагу до вдосконаленню технологій виробництва деталей цих машин. Вони повинні витримувати більші навантаження та терміни експлуатації, потрібно вдосконалювати процеси виготовлення, шукати причини недоліків та способ їх усунення. В основі цього вдосконалення лежить – теорія.

Велику увагу потрібно уділити процесам, які проходять при осаджуванні, тому що в багатьох випадках осаджування тече не рівномірно, метал в різних містах поковки виходить з різними механічними властивостями, в різних напрямках тече не однаково. Прикладом цього може бути осаджування при вільному куванні. При осаджуванні циліндричних зразків, бічна поверхня отримує форму, яка нагадує дугу, її називають бочка, інколи бочка виходить двійна. В середині поковки, після осаджування, метал виходить з не однаковими механічними властивостями, в різних містах має не однакову твердість. Все це веде до менш якісних поковок, а в наслідок механічні властивості деталей, виконаних з цих поковок, не відповідають потребам сучасного машинобудування.

При нерівномірному осаджуванні поява бочки веде до збільшенню відходів при подальшій обробці.

Хочу підкреслити, що всіх факторів, які впливають на нерівномірність осаджування неможливо усунути, при сучасному стані прогресу нема технологій для цього, але можна в наслідок досліджень поліпшати де які шляхом знаходження оптимальних режимів та технологій при осаджуванні.

1. АНАЛІТИЧНО ПОШУКОВА ЧАСТИНА

1.1 Стан проблеми

При куванні та штампуванні в процесі осаджування образцю спостерігається нерівномірність деформації. При нерівномірному осаджуванні, коли окрім витрати роботи на подолання внутрішніх опорів, також потребується додаткова робота для подолання опору сил тертя на контактній поверхні, при цьому зусилля осаджування перемінне, в слідстві змінення геометричних параметрів, сил тертя і зміцнення образцю в процесі осаджування.

При нерівномірному осаджуванні, робота силових вузлів преса також нерівномірна и не стабільна, це веде к швидкому зносу силових вузлів, деталей пресу схильних найбільшому навантаженню.

Актуальність цієї проблеми полягає в тому, що в процесі осаджування циліндричних зразків процес набуває нерівномірний характер осаджування. Це в свою чергу веде до збільшення відходів, енергозатрат та зменшенню якості отриманих поковок. Дослідивши експериментально по величині сили і роботи які технологічні фактори впливають на нерівномірність, можна на підставі отриманих даних використовувати більш оптимальні режими, які процес осаджування циліндричних зразків зведуть до більш рівномірного..

Аналізуючи вплив технологічних факторів по величині сили і роботи, при осаджуванні циліндричних зразків, можна застосувати значно ефективніші режими роботи пресу та технології, при цьому можна значно підвищити срок експлоатації силової установки преса, та деталей, які схильні к великим навантаженням.

1.2 Літературний огляд

Осаджуванням називають ковальську операцію, при якій висота заготівки зменшується, а поперечний переріз збільшується (рис. 1.1). Осаджування є однією з найбільш поширених в ковальському виробництві операцій. Незважаючи на уявну простоту, ця операція пов'язана із здійсненням дуже складного процесу пластичної течії металу. При осаджуванні заготівку встановлюють нижнім торцем на бойок та піддають обтиску ударами чи натиском преса. Осаджування застосовується як для зміни форми, так і для зменшення анізотропності механічних властивостей поковки (наприклад, при виробництві зубчатих колес, фланців, дисків). В багатьох випадках, особливо при ковані великих поковок з злитків, при операції осаджування прислідують також ціль покращення якості металу, закриття та зварки різних пустот та рихлостей, підвищення пластичних властивостей металу та інше[1,2].

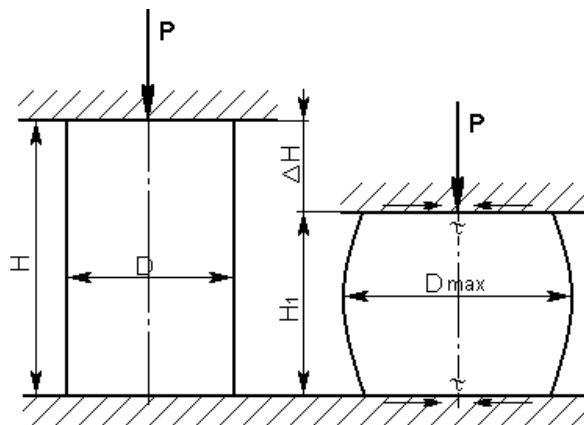


Рисунок 1.1 – Схема осаджування циліндричного образцю

За виключенням осаджування являється висадка, коли виріб отримує збільшення поперечних розмірів не по усій довжині (висоті), а місцеве (рис.1.2).

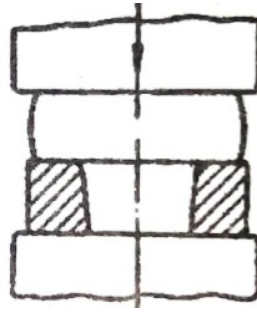
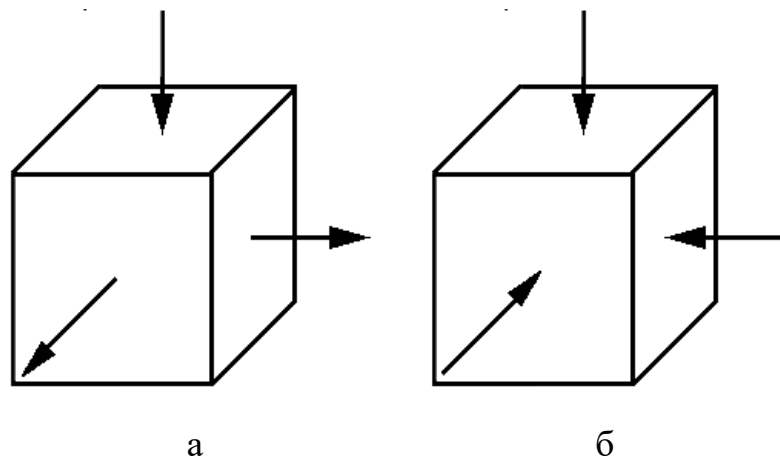


Рисунок 1.2 – Схеми осаджування всадки

За схемою деформації осаджування являє собою стиснення – деформація в напрямку активного зусилля негативна, а дві інші позитивні. В окремих випадках можлива рівність останніх між собою (просте стиснення) або рівність однієї з них нулю (плоска деформація, рис. 1.3, а).

Переважаючі схеми головних напружень при осаджуванні будуть представляти собою схеми всебічного нерівномірного стиснення. (рис. 1.3, б)



а) головні деформації; б) головні напруги.

Рисунок 1.3 – Механічні схеми при осаджуванні

Осаджування застосовують у наступних випадках:

- для отримання поковок з великими поперечними розмірами заготовок з меншого поперечного перерізу (поковки фланців, шестерень, дисків);
- як попередню операцію перед прошивкою для вирівнювання торців і збільшення діаметра при виготовленні порожнистих поковок, наприклад, поковок типу кілець, барабанів, муфт;

- як попередню операція перед протяжкою для найбільшого руйнування литий дендритних структури і зменшення нерівномірності властивостей в поперечному і поздовжньому напрямках;

- для підвищення укова, якщо площа найбільшого поперечного перерізу обраного злитка не забезпечує необхідного укова;

- разом з протяжкою для деталей типу шестерень, дисків, та ін.;

- для підвищення механічних характеристик у тангенсальному і радіальному напрямках у поковках типу шестерень та ін.;

- разом з протяжкою для рівномірного розподілу та подрібнення карбідів в сталях карбідного класу (швидкорізальні, високохромисті), що підвищує зносостійкість.

Осаджування є найбільш простою і досить поширеною операцією об'ємного штампування. У поєднанні з подальшими операціями обрізки та зачистки осаджування застосовується для виготовлення різних деталей з односторонніми та двосторонніми виступами (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Деталі з односторонніми та двосторонніми виступами, виготовлені холодної об'ємної штампуванням

Операція осаджування може бути виконана одним з наступним способом:

- 1) між плоскими плитами (рис. 1.5, а);
- 2) між плоскою та кільцевої плитами (рис. 1.5, б);
- 3) між двома кільцевими плитами (рис. 1.5, в).

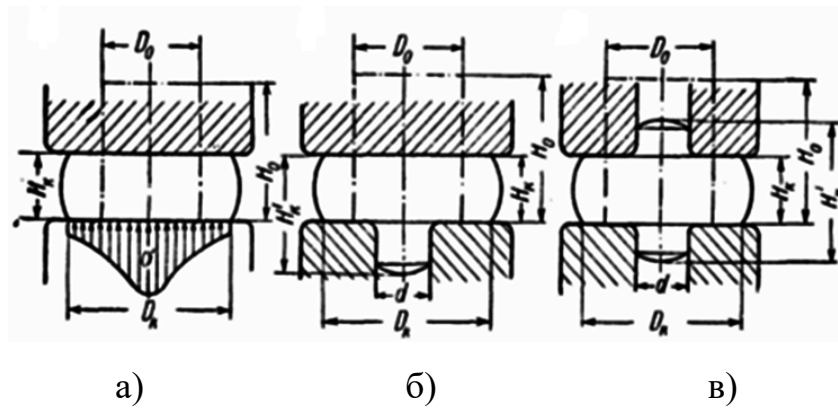


Рисунок 1.5 – Основні схеми осаджування

Кожен з цих способів має різний характер розподілу нормальних напружень, різну ступінь нерівномірності напруженого і деформованого стану, граничний ступінь деформації і величину опору деформації.

Осаджування між плоскими плитами припускає менший ступінь деформації, ніж осаджування кільцевими плитами.

Основним інструментом для осаджування є осаджувальні плити. Осаджувальні плити застосовуються тільки на пресах (рис 1.6). Верхня плоска осаджувальна плита показана на рисунку 1.6, а, а нижня на рисунку 1.6, б. Верхня і нижня сферичні плити для осаджування з хвостовиком великих злитків показана на рисунку 1.6, в. На рисунку 1.6, г представлена нижня осаджувальна плита для дрібних злитків. Плита забезпечена важелями для кантівки на 90° .

При осаджуванні в будь-який момент абсолютна обтиснення становить

$$\Delta h = h_0 - h, \quad (1)$$

де h_0 і h – початкова і кінцева висота заготовки в мм.

Справжнє відносне обтиснення ε визначають за формулою

$$\varepsilon = \ln(h_0/h), \quad (2)$$

Однако частіше використовують зпростену формулу

$$\varepsilon = (h_0 - h) / h_0, \quad (3)$$

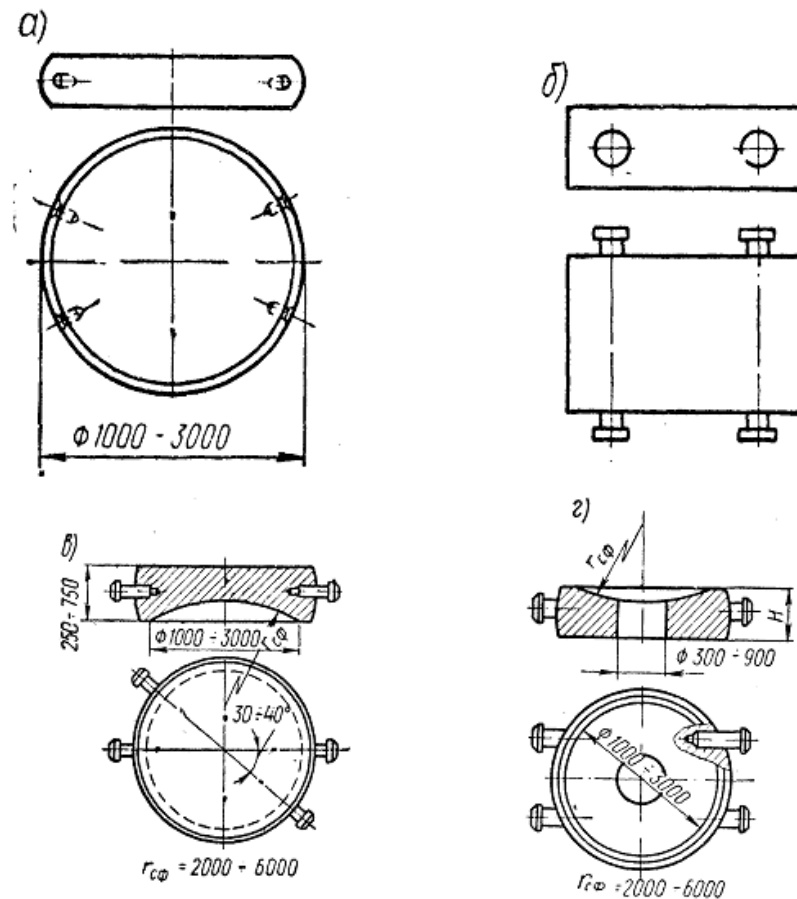


Рисунок 1.6 – Види осаджувальних плит

В практичних умовах ковальського виробництва, по даним В.О. Ніколаєва [1] (Запоріжжя, Україна), деформація металу при осаджуванні звичай нерівномірна по об'єму заготовки, проявом нерівномірності є нерівна бокова поверхня заготовки та виникнення так званої бочки. Ступінь та характер бочкообразності залежить, поперед всього, від величини коефіцієнта тертя. Чим більший коефіцієнт тертя, тим сильніше спостерігається гальмування крапок, розташованих на торцях і тим більше буде при інших рівних умовах різниця між діаметрами торців осаджуваної заготовки і діаметрами інших її перерізів. При цьому у низьких заготовках

$d_0/h_0 > 1$ перетин по середині має максимальний діаметр, тобто заготівля відразу набуває бочкоподібної форми, причому ступінь бочкообразності зменшується із збільшенням відносин d_0/h_0 .

Якщо ж виробляється осаджування високих заготовок $d_0/h_0 < 1/2$, то явище значно ускладнюється. Як показав ще Ф. Рідель (1913 р.), при малій ступені осаджування на зразку з $d_0/h_0 = 0,35$, останній приймає форму як би двох бочок біля торців, з'єднаних циліндричною частиною (рис 1.7, а). Потім при подальшому осаджуванні діаметр циліндричної частини зростає і заготовка отримує форму циліндра, до якого примикають кінці у вигляді усічених конусів з меншими основами біля торців (рис 1.7, б). При ще більшій деформації діаметр середнього перетину зростає більш інтенсивно і заготівля приймає бочкоподібну форму (рис 1.7, в).

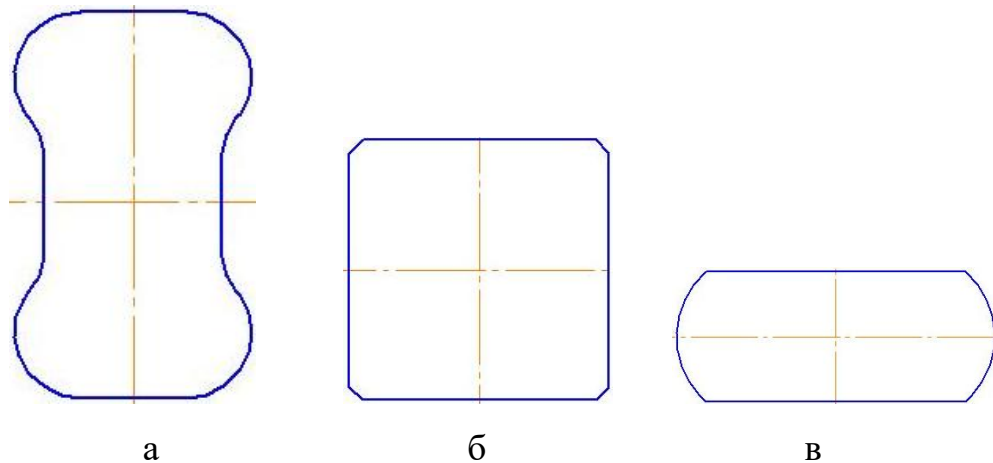


Рисунок 1.7 – Характер бочкоподібності циліндричної заготовки при осаджуванні

Згідно з даними Є.П. Унксова [4], технологічно осаджування можливо вести при відношенні $d_0/h_0 \geq 0,33$. При відношенні $d_0/h_0 < 0,33$ осаджування тяжко виконуване, внаслідок скривлення осі заготовки в процесі деформування.

Питомі деформуючі зусилля осаджування високих поковок (до $d_0/h_0 < 1$) практично дорівнює напрузі текучості σ_3 при даних температурі і швидкості деформації. При осаджуванні поковок в реальних умовах набігання бічних

поверхонь на торцеву відбувається навіть при $d_0/h_0 > 2$, особливо при гарячій деформації, коли поверхні торців поковки, що стикаються з відносно холодними плитами преса, миттєво підстужується. При співвідношеннях $d_0/h_0 > 4$ стає найбільш помітно вплив контактної тертя і ставлення d_0/h_0 на величину питомого і повного деформуючих зусиль. Найбільш цікавим є визначення повного і питомої деформуючих зусиль, тобто при осаджуванні дисків.

Деформація зовнішнього контуру відповідає нерівномірність деформації внутрішніх зон і елементів осаджуваної заготовки. При цьому в загальному випадку можна розрізняти три зони (рис 1.8) [1].

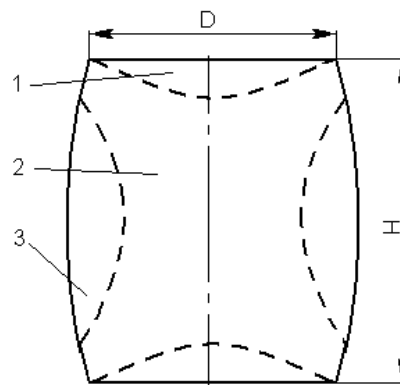


Рисунок 1.8 – Характерні зони при осаджуванні циліндричного зразка

Зона I, прилегла до торців заготовки, що деформується досить незначно, що пояснюється впливом сил тертя на контактних поверхнях, які створюють у цих зонах досить різко виражене всебічне стиснення. Ці зони є зонами "затриманої" або "утрудненої" деформації. Метал в них як би менш податливий і вони як би розклинюють знаходиться між ними зону II.

У Зоні II деформація найбільш інтенсивна як в осьовому, так і в радіальних напрямках. На думку Е. П. Унксова, в областях розділу першої і другої зон метал останньої як би обтікає першу зону, рухаючись в напрямку торців. На його думку, цим пояснюється наявність переходу елементів бічної поверхні на контактну, особливо різко спостережуваного при $d/h < 1$.

Інтенсивність деформації зони III, займає проміжне положення між першими двома.

По мірі збільшення ступеня осаджування або при осаджуванні зразків з великими відносинами d/h , зона III різко зменшується, а зона I та II практично зливаються і деформація охоплює обсяг цих обох зон при різко вираженому об'ємному напруженому стані у зв'язку з зближенням контактних поверхонь. Рівномірність деформації підвищується, а бочкоподібність знижується.

Наявність перерахованих вище зон підтверджується експериментальними дослідженнями, проведеними різними методами: осаджування багат шарових зразків, осаджування зразків з вкрученими шурупами (В. М. Павлов), визначенням твердості по полю холоднодеформованого розрізного зразка з алюмінію (С. В. Губкін, рис. 1.9). В останньому випадку в зонах з більшою деформацією твердість внаслідок зміцнення буде вище, ніж у зонах, що зазнають меншої деформації.

Наявність зон I утрудненої деформації викликає бочкоподібність при осаджуванні. При осаджуванні низьких зразків $d/h > 1$ їх "розклинююча" дія поширюється на весь об'єм та "бочка" виходить одна. При високих зразках цим "розклинюючим" дією зачіпаються тільки зони, відносно близько примикають до торців, і може утворитися подвійна бочкоподібність.

Оскільки при високих зразках зони утрудненої деформації значно віддалені одна від іншої, бочкоподібність утворюється навіть при досить малому коефіцієнті контактної тертя і тільки при повній відсутності тертя можна було б домогтися лінійної схеми напруженого стану та переходу циліндра в циліндр.

Вимірювання деформації безпосередньо на торці осаджуваної заготовлі за допомогою попередньо нанесеною координатної сітки показує, що на торцях заготовки можуть спостерігатися дві зони: ковзання і гальмування. У першій периферійній кільцевій зоні частинки металу циліндричних зразках переміщається щодо бойків в радіальному напрямку і відстані між

концентричними рисками, нанесеними на торці зразка, збільшується У другій центральній зоні ковзання не спостерігається і діаметри концентричних рисок не змінюється. Відповідним чином змінюється і дотичні напруження.

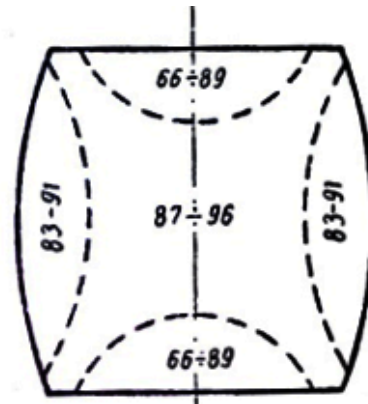


Рисунок 1.9 – Характер нерівномірної твердості по висоті зразка після осаджування

Рядом експериментів Е. П. Унксов показав, що зоні ковзання відповідає зона пропорційності контактних дотичних напружень нормального тиску ($\tau=f \cdot p$), а зона гальмування утворюється при досягненні дотичними напруженнями максимальної абсолютної величини.

Зона ковзання майже не спостерігається при осаджуванні заготовок з $d/h < 1$, а збільшення діаметру торця йде головним чином за рахунок переходу металу з бічних поверхонь на контактну. Цей перехід триває, але в значно меншій мірі і при відношеннях $d/h > 1$. Набіганню бічній поверхні на контактну сприяє бочкоподібність заготовки в процесі осаджування.

Однак з теорії обробки металів тиском відомо[3], що можливо створити такі умови осаджування, при яких бочкоутворення не буде та деформація любого елемента об'єму деформованої заготовки однакові. При рівномірній деформації ковзання металу відносно інструменту розповсюджується по всій поверхні. Зони прилипання немає. Перехід металу з бокової поверхні на контактну також відсутній.

Рівномірне осаджування являє собою великий практичний інтерес. При такому осаджуванні метал добре опрацьовується по всьому об'єму поковки,

що сприяє отриманню однорідних механічних властивостей її. Пластичність металу зростає, а небезпека появи поверхневих дефектів зменшується. Практично створити умови для рівномірної деформації важко. Однак у ряді випадків для одержання необхідних механічних властивостей і якості поволок прагнуть створювати такі умови, які наближають деформацію до рівномірної.

Використовуючи уявлення про рівномірну деформацію і знаючи умови, при яких вона може бути здійснена, можна при проектуванні технологічного процесу кування передбачити заходи, що забезпечують різке зниження нерівномірності деформації в об'ємі заготовки. Так, наприклад, застосування мастила при гарячому осаджуванні дозволяє отримувати поковку з більш рівномірними механічними властивостями за її обсягом.

На епюрі вертикальних і горизонтальних переміщень точок циліндра при рівномірному осаджуванні (рис. 1.10) І. Я. Тарновський в роботі [2] детально описує переміщення точок при рівномірному осаджуванні зразка.

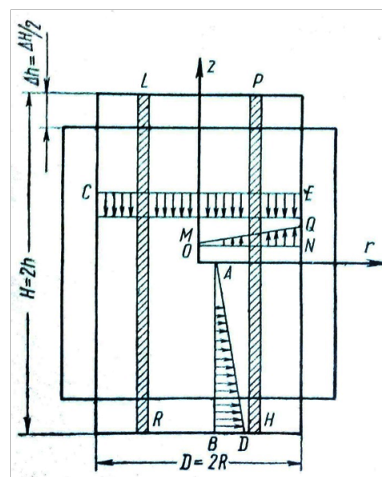


Рисунок 1.10 – Епюра вертикальних і горизонтальних переміщень точок циліндра при рівномірному осаджуванні

Фактично кожна частка металу переміщується за певною криволінійною траєкторією. В теорії обробки металів тиском [3] доведено, що ці траєкторії являють собою гіперболи (рис. 1.11)

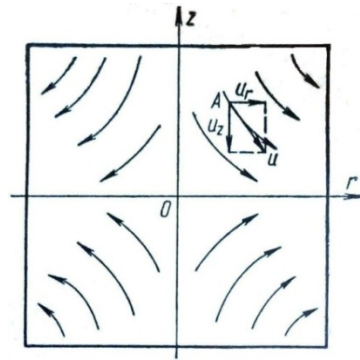


Рисунок 1.11 – Траєкторії переміщення часток металу при рівномірному осаджуванні

Слід зазначити дві основні умови, які необхідні для здійснення рівномірного або близького до неї осаджування:

- а) рівномірність механічних властивостей металу за обсягом заготовлі;
- б) відсутність сил тертя між заготовкою і плоско-паралельними осадковими плитами.

У практичних умовах при гарячій осаді завжди є деяка нерівномірність механічних властивостей, особливо в зв'язку з майже немінучими перепадами температури в об'ємі заготовки. Навіть при ідеально рівномірному нагріванні заготовки в печі вона охолоджується нерівномірно при осаджуванні, особливо у зв'язку з дотиком з відносно холодними осаджувальними плитами. Щоб досягти рівномірне осаджування, необхідно вжити заходів, що забезпечують мінімальні перепади температури по об'єму заготовки.

Що стосується сил контактного тертя, то повністю виключити не можна, але можна використовувати ряд заходів, різко зменшують сили тертя і наближають до рівномірного осаджування.

При гарячому осаджуванні механічні властивості суттєво залежать не тільки від температури, але також від швидкості і ступеня деформації. Швидкість деформації однакова в кожному вертикальному перерізі і становить

$$u = v_h/h, \quad (4)$$

де v_h - швидкість стиснення.

Ступінь деформації ε розраховують по формулам (2) и (3). За відомим значенням u и ε визначають σ_T за допомогою експериментальних кривих залежності межі текучості від температури, швидкості і ступеня деформації (для металу) [6]. Експериментальні криві $\sigma_T = \varphi(T_0, u, \varepsilon)$, де T_0 - температура обробки, широко наведенні в літературі [7-9].

У відповідності з рекомендаціями Ніколаєва В. О. [10] межа текучості з урахуванням впливу температури, швидкості і ступеня деформації визначається

$$\sigma_T = \sigma_{ад} k_T k_S k_u \quad (5)$$

де $\sigma_{ад}$ - базисне значення межі текучості, визначене при $t = 1000^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 10\%$ и $u = 10\text{c}^{-1}$; k_T, k_S, k_u - поправочні (термомеханічні) коефіцієнти, що враховують вплив відповідно температури, ступеня і швидкості деформації.

При холодному осаджуванні основним фактором, що впливає на міцність і пластичність металу, є деформаційне зміцнення, зване також наклепом чи нагартовкой.

Зміцнення залежить від ступеня деформації. Вплив температури і швидкості деформації виражена значно слабкіше. Зміна механічних властивостей при холодній деформації характеризується кривими зміцнення.

Криві зміцнення можуть бути апроксимовані емпіричними формулами. В літературі [11-13] найчастіше рекомендуються, залежності виду

$$\sigma_T = \sigma_{Тпоч} + a\varepsilon^n \quad (6)$$

де $\sigma_{T\text{поч}}$ - межа текучості наклепаного металу; ε - відносне обтиснення, %; a - емпіричний коефіцієнт; n - емпіричний показник ступеня (змінюється в межах 0,34 - 1,1). Чисельні значення коефіцієнтів a і n для різних металів і сплавів наведено в роботах [12 - 15]. Запропоновано також [16] апроксимувати криві зміцнення формулами, які спрощують інтегрування функції $\sigma_T = \varphi(\varepsilon)$:

$$\sigma_T = \sigma_{T\text{поч}} + a\sqrt{\varepsilon}. \quad (7)$$

Для деяких сильно наклепуваних металів, наприклад, нержавіючих сталей, більш підходить вираз

$$\sigma_T = \sigma_{T\text{поч}} + a\sqrt{\varepsilon} + b\varepsilon \quad (8)$$

де a та b – емпіричні коефіцієнти, значення яких приведені в роботі [16].

Точність виразів (5), (6),(7) та (8) практично однакова.

При холодному осаджуванні межу текучості визначають для заданої ступеня деформації безпосередньо по кривих зміцнення або за формулами (5) - (8). Розподіл межі плинності контактної поверхні може бути прийнято рівномірним.

Як писалося вище, тертя відіграє велику роль в осаджуванні. Результатами досліджень встановлено, що тертя між металами виникає завдяки зчепленню нерівностей контактних поверхонь і схоплюванню чистих(не окислених і не забруднених) металів.

З роботи [1] відомо що, схоплювання металів відбувається при пластичній деформації в результаті такого зближення двох чистих контактуючих поверхонь, коли виявляється можливим дію між ними вандерваальсових сил тяжіння. Значне схоплювання металів можливо лише

при терті поверхонь у вакуумі, коли на цих поверхнях не є плівок оксидів, змащення і забруднень. У звичайних умовах тертя всі поверхні мають шар окису або мастила, який перешкоджає з'єднанню чистих металів. Однак і за наявності оксидних плівок схоплювання чистих металів також можливо. Умови схоплювання при цьому визначається міцністю і твердістю оксидів по відношенню до основного металу, а також пластичною деформацією, яка буде достатньою для максимального зближення контактуючих поверхонь.

Оскільки твердість оксидів вище твердості основного металу, то при пластичній деформації відбувається руйнування оксиду і виходу на поверхню чистого металу. Оксид руйнується тим раніше, чим більше відношення його твердості до твердості самого металу.

Для опису закономірностей зміни сили тертя при пластичній деформації використовують в основному закон Г. Амонотона (1699) у вигляді

$$T = f \cdot P, \quad (9)$$

де f - коефіцієнт зовнішнього тертя; P - нормальна сила. Він придатний для умов повного відносного ковзання контактуючих поверхонь.

Відомий також і широко застосовується закон тертя Е. Зибеля

$$\tau = f_{\Pi} \cdot \sigma_{\Phi}, \quad (10)$$

де τ - дотичне напруження; f_{Π} - показник тертя; σ_{Φ} – опір металу деформації ($\sigma_{\Phi} = \beta \sigma_T$) β - коефіцієнт Лоде ($\beta = 1 \dots 1,5$).

Між коефіцієнтом тертя і показником тертя існує зв'язок у вигляді

$$f_{\Pi} = f \cdot \frac{P_{cp}}{\sigma_{\Phi}} = f \cdot n_{\sigma}, \quad (11)$$

де p_{cp} – середній нормальний тиск в осередку деформації; n_{σ} – коефіцієнт напруженого стану.

По даним [17], зміна коефіцієнту напруженого стану n_{σ} для деяких умов осаджування можна знайти за формулою

$$n_{\sigma} = n_1 + n_2 \left(\frac{d}{h} - 1 \right)^2, \quad (12)$$

де для осаджування на пресі коефіцієнти $n_1 = 1,2$, $n_2 = 0,045$.

Коефіцієнт і показник тертя визначають експериментально. Визначивши дотичне напруження тертя τ і нормальний тиск p у кожній точці осередку деформації, можна виконати розрахунок коефіцієнта тертя за формулою

$$f = \tau/p, \quad (13)$$

також визначивши експериментально силу тертя та тиск, можна розрахувати коефіцієнт тертя за формулою

$$f = T/P \quad (14)$$

де T – сила контактного тертя.

В роботі І. Я. Тарновського та інших [17] показано, що напруги і коефіцієнт тертя в значній формі залежать від форми осередку деформації (рис. 1.12). Як бачимо, зі збільшенням параметра D/H за рахунок зменшення товщини зразка при $D=24$ мм напруга тертя лінійно зростають, що обумовлено збільшенням швидкості деформації зразка, межі текучості металу і в той же час збільшенням опору переміщенню металу зразка по контакту з інструментом [1].

Така залежність спостерігається не тільки в умовах гарячій обробці, але і при холодній деформації металу. В залежності від механічних властивостей матеріалу і параметра D/H коефіцієнт тертя може бути визначений так [17]:

$$f = 0,57 / \left(\frac{\tau_s}{\tau_{cp}} + 0,19D/H \right), \quad (15)$$

де τ_s – напруга чистого зрушення матеріалу.

Так як з умови Мізеса $\tau = 0,58\sigma_\phi$, то з урахуванням (11) отримаємо

$$f = 1 / \left(\frac{1}{f_n} + 0,33D/H \right) \quad (16)$$

За даними [17], при осаджуванні зразків з різних марок сталей з $t=950...1150^\circ \text{C}$ коефіцієнт тертя при деформації на фрикційному пресі в 1,15...1,35 рази вище, ніж при деформації під копром. Тобто, при збільшенні швидкості осаджування (швидкості ковзання металу на контактній поверхні) коефіцієнт тертя знижується.

Крім швидкості руху тіла, що деформується важливим параметром є відносна швидкість зсуву точок тіла з контактної поверхні інструменту - швидкістю ковзання[6]. При осаджуванні циліндричного тіла зміна Δv по контактної поверхні характеризується епюрою (рис. 1.13)

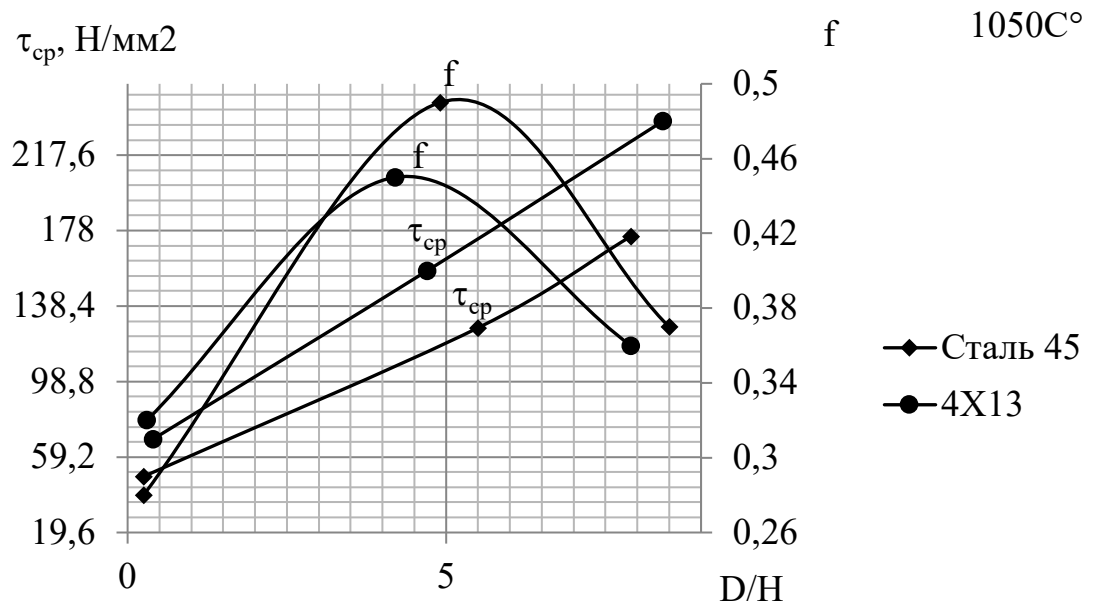


Рисунок 1.12 – Залежність коефіцієнта тертя f та напруження $\tau_{ср}$ від D/H при осаджуванні на фрикційному пресі при температурі 1050°C і швидкості інструменту 180 м/с . Відносне обтиснення $20\text{-}25\%$

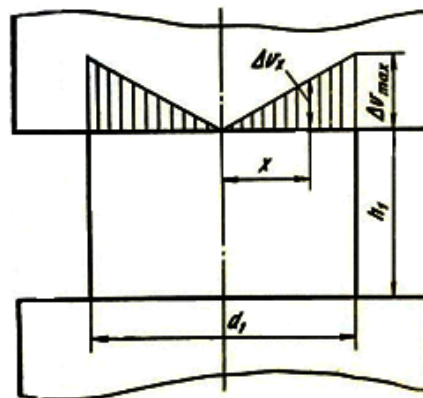


Рисунок 1.13 – Епюра швидкості ковзання при осаджуванні

Швидкість ковзання Δv і абсолютна швидкість руху тіла v пов'язані між собою, але при одній і тій же швидкості швидкість ковзання може бути різною в залежності від величини деформації і інших параметрів. Швидкість

ковзання в будь-якій точці, що знаходиться на відстані x від тіла, може бути визначена за формулою

$$\Delta v_x = v_6 x(1 - \sqrt{h_1/h_0})/\Delta h, \quad (17)$$

де v_6 – швидкість опускання бойка.

Найвища швидкість ковзання на кромках тіла становить

$$\Delta v_{max} = v_6 d_1(1 - \sqrt{h_1/h_0})/2\Delta h = v_6 d_0(\sqrt{h_0/h_1} - 1)/2\Delta h, \quad (18)$$

Середня швидкість ковзання Δv_{cp} по всій контактній поверхні становить

$$\Delta v_{cp} = v_6 d_1(1 - \sqrt{h_1/h_0})/3\Delta h. \quad (19)$$

Формули виведені в припущенні, що форма тіла залишається циліндричної протягом усього процесу осаджування, тобто не утворюється "бочка", а так само відсутня зона прилипання на контактній поверхні. Виникнення бочкоподібності і прилипання призводить до зменшення швидкості ковзання.

При осаджуванні циліндричного тіла довжина шляху ковзання точок поверхні металу дорівнює переміщення точки по радіусу на величину, обумовлену деформацією тіла [6]. Епюра шляху ковзання подібна епюрі швидкості ковзання (рис. 1.13). Довжину шляху ковзання будь-якої точки поверхні металу S_m в залежності від відстані x від точки до осі тіла (в кінцевий момент осаджування) можна визначити за формулою

$$S_{m_x} = x(1 - \sqrt{h_1/h_0}). \quad (20)$$

Точки, розташовані на кромці тіла, проходять максимальний шлях ковзання $S_{M_{\max}}$, який становить (рис.1.14)

$$S_{M_{\max}} = (d_1/2)(1 - \sqrt{h_1/h_0}) = (d_1 - d_0)/2. \quad (21)$$

Середній шлях ковзання по всій контактній поверхні для точок поверхні металу буде дорівнює

$$S_{M_{\text{cp}}} = (d_1/3)(1 - \sqrt{h_1/h_0}). \quad (22)$$

Довжина шляху ковзання для точок поверхні бойків можна визначити за допомогою схеми на рис. 1.15. При зменшенні висоти тіла на dh відбудеться збільшення радіусу виділеного циліндра на dS_{B_x} , що і становить елементарну довжину шляху ковзання для точки n .

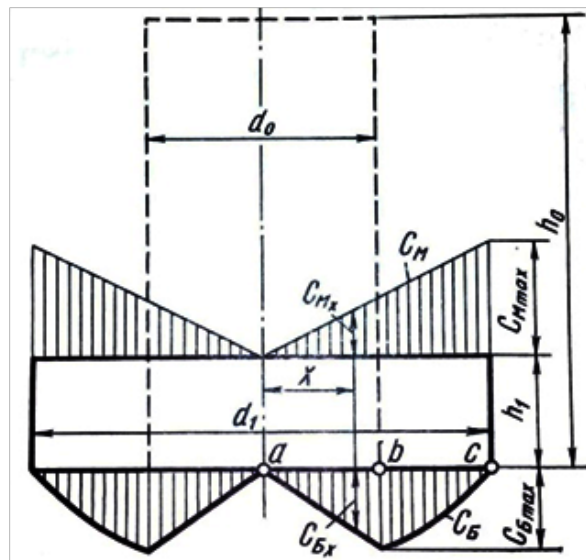


Рисунок 1.14 - Епюра довжини шляху ковзання при осаджуванні

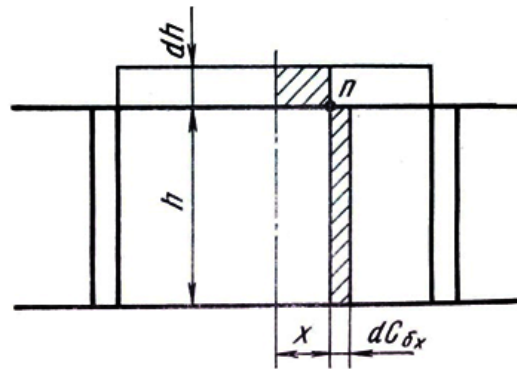


Рисунок 1.15 – Схема до визначення довжини шляху ковзання точок поверхні бойків

Еюра розподілу протяжності шляху ковзання для точок поверхні бойків показана у нижній частині рисунку 1.14. Середню довжину шляху ковзання $S_{б,ср}$ для всієї сукупності точок поверхні бойків наближено визначають за формулою

$$S_{б,ср} = (d_0/12) \left(1 - \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}\right) \ln \left(\frac{h_1}{h_0}\right). \quad (23)$$

Із закону Амонтона слід, що питома сила тертя прямо пропорційна тиску [6]. З фізичної точки зору ця залежність пояснюється головним чином тим, що зі збільшенням тиску зростає фактична площа дотику поверхонь. При строгому виконанні закону Амонтона коефіцієнт тертя не залежить від тиску. Проте в різних процесах пластичної обробки металів часто спостерігається відхилення від закону Амонтона. Це означає, що коефіцієнт тертя не залишається постійним при зміні тиску. Зростання тиску від кромки до осі поковки обумовлений зростанням суми підпираючих сил тертя. Чим більше відношення d_0/h_0 і чим вище коефіцієнт тертя, тим різкіше виражена нерівномірність розподілу тиску, тобто еюра p має більш гостру форму.

Сила пресування в кожен момент осаджування визначається по рівнянню

$$P = p_{cp} \cdot F \quad (24)$$

де p_{cp} – нормальний тиск; F – площа тиску в мм^2 .

Середній контактний тиск p_{cp} експериментально найпростіше визначати за формулою

$$p_{cp} = P/F, \quad (25)$$

де P - повна давяща сила (зусилля осаджування); F_k - площа контактної поверхні.

Епюра розподілу тиску по контактній поверхні при осаджуванні може бути побудована теоретично. Цьому питанню присвячено велику кількість робіт [18, 5, 19]. Вид теоретичної епюри тиску залежить від того, який закон розподілу сил тертя прийнятий при виведенні. Для випадку осаджування циліндричного тіла отримані наступні рівняння:

за умови сталості сил тертя у відповідності з законом Зибеля (11)

$$p_x = \sigma_T \left[1 + \frac{2f\sigma}{h} \left(\frac{d}{2} - x \right) \right]; \quad (26)$$

при використанні закону тертя Амонтона (10)

$$p_x = \sigma_T e^{2f(\frac{d}{2}-x)/h}. \quad (27)$$

Середній контактний тиск при осаджуванні може бути визначено за формулами:

на основі рівняння (26)

$$p_{cp} = \sigma_T \left(1 + \frac{f_{II} d}{3h} \right); \quad (28)$$

на основі рівняння (27)

$$p_{\text{ср}} = 2\sigma_{\text{T}} \frac{h_{\text{I}}^2}{f^2 d_{\text{I}}^2} \left(e^{fd/h} - \frac{fd}{h} - 1 \right). \quad (29)$$

Формула (28) отримана Е. Зибелем, формула (29) Е. П. Унксовым. З роботи [1] відомо, що робота деформації при осаджуванні може бути знайдена за формулою

$$A = V p_{\text{ср}} \cdot \ln H/h, \quad (30)$$

де $p_{\text{ср}}$ – середнє значення тиску в процесі осаджування, V - об'єм поковки.

$$V = \pi d^2 \cdot H/4. \quad (31)$$

Приведена формула придатна для умов осаджування, однак у розрахунках середнього тиску рекомендується враховувати масштабний чинник деформації тіла [18], який на підставі закону подібності враховує відмінність розмірів і вплив умов тертя "моделі" (зразка) і натури. Наприклад межі текучості металу для натурної заготовки буде дещо більше. Це розходження пов'язане з неоднаковими умовами теплообміну, розмірами зерен, неоднаковою макроструктурою. Наближено масштабний коефіцієнт може бути визначений за формулою Голованова

$$\varphi_{\text{M}} = [\sqrt[3]{a_{\text{M}}} + f(1 - \sqrt[3]{a_{\text{M}}})]^{\eta_{\text{M}}} \quad (32)$$

де a_{M} – відношення лінійних розмірів лабораторного зразка $\varnothing 10$ мм до розмірів (висоти) заготовки; η_{M} – коефіцієнт для чистих металів, рівний 0,85...0,9, а для сплавів 0,75...0,8.

Використання коефіцієнта φ_M у формулах для розрахунку середнього нормального тиску полягає в тому, що величина σ_T замінюється добутком $\varphi_M \cdot \sigma_T$.

Далі наведено значення коефіцієнта φ_M при $f=0,3$ та $\eta_M=0,75$ в залежності від діаметра заготовки (табл. 1.1)[1]:

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнта φ_M при $f=0,3$ та $\eta_M=0,75$ в залежності від діаметра заготовки

D	10	60	100	300	500	1000
φ_M	1	0,75	0,7	0,62	0,58	0,55

1.3 Постановка задачі дослідження

При осаджуванні циліндричних заготовок, коли одночасно весь об'єм металу піддається пластичній деформації, сила P і робота A в кожен момент осаджування постійно змінюються. На постійні зміни величини P та A впливають різні фактори.

Відомо, що тиск та дотичні напруги по контактній поверхні розподілені нерівномірно, тому що в різних точках контактної поверхні при осаджуванні, внаслідок наявності зон прилипання і ковзання, маються різні швидкості ковзання як слід різний коефіцієнт тертя. У розрахунках обмежимося розрахунком середнього питомого тиску по поверхні. Воно залежить в першу чергу від межі текучості деформованого металу при даній температурі, швидкості і ступеня деформації.

В залежності від геометричних параметрів, а саме від різних показників D/H , також змінюється напруга тертя та нормальний середній тиск P_{cp} , а звідси і величина роботи

Задача роботи полягає в тому, що при осаджуванні на пресі, при різних геометричних показниках (D/H), проводити вимірювання повного тиску,

розрахунку середнього тиску при осаджуванні по формулам Зібеля (28), та роботи деформації по формулі (30). Побудую графіки залежності тиску P і роботи A від ступені осаджування при різних умовах контактного тертя. Потім побудую графіки залежності показників технологічних факторів від ступені осаджування при різних умовах контактного тертя, та при різних відношеннях D/H . З'ясую які технологічні фактори і як впливають на величину тиску і роботи при осаджуванні циліндричного образцю.

Всі ці вимірювання треба проводити з різними показниками тертя, для цього були виготовлені та проведене осаджування на декілька комплектів зразків. В кожній з них було використовувані різні умови осаджування: а – з сухими, обезжиреними плитами; б – з змащуванням торців заготівлі чистим вазеліном; в – з змащуванням торців заготівлі мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом. Всі комплекти зразків осаджував на шорстких плитах, з низьким класом шорсткості.

Всі зразки мають розріз заготівки в доль осі образцю, на площині якого нанесена координатна сітка. Це робилося для аналізу переміщення сіток при осаджуванні та наглядного поняття залежності деформації металу від тертя на контактній поверхні зразка.

Висновки за розділом

Розглядаючи літературний огляд, бачимо що величина сили P осаджування напряду залежить від нормального тиску P_{cp} та площини торця образцю F . Якщо площу поверхні можна знайти знаючи лише діаметр торцю заготівки, то для знаходження середнього нормального тиску є декілька робочих формул. Для находження середнього нормального тиску P_{cp} по Зібелю (28), потрібно знати опір металу деформації, показник тертя чи коефіцієнт тертя та розміри образцю. Якщо виконати розрахунок середнього нормального тиску P_{cp} по формулі(25), то я знайду такі показники як коефіцієнт тертя, силу тертя, опір металу деформації та межу текучості.

Далі можна розглядати більш детально вплив таких факторів як форма заготовки D/H та ступінь деформації ϵ , вплив мастил.

Знаючи середній тиск деформації $P_{\text{ср}}$ при осаджуванні циліндричного образцю, та вимірявши його розміри, я знайду повну роботу деформації A . Аналізуючи зміну середнього тиску при осаджуванні образцю, можна більш детально роздивитись які фактори впливають на величини сили P і роботи A .

2 ДОСЛІДНЕЦЬКО – РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 План проведення теоретичних та експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження я проводив у ЗНУ, на кафедрі МТЕТБ. Моєю задачею було в ході експерименту, при осаджуванні циліндричних зразків з різними геометричними параметрами D/H та різними мастилами, вимірювання повного тиску при осаджуванні.

Осаджування проводилось за планом:

- а) осаджування першого комплекту зразків $D/H=1,5$; $D/H=1$; $D/H=0,75$ на сухих, обезжирених, шорстких плитах, з покроковим замірюванням сили осаджування, при ступені осаджування $E=10\%$, $E=20\%$, $E=30\%$
- б) осаджування другого комплекту зразків $D/H=1,5$; $D/H=1$; $D/H=0,75$. Торці зразків були змащені чистим вазеліном. Осаджування проводилось на шорстких плитах, з покроковим замірюванням сили осаджування, при ступені осаджування $E=10\%$, $E=20\%$, $E=30\%$
- в) осаджування третього комплекту зразків $D/H=1,5$; $D/H=1$; $D/H=0,75$. Торці зразків були змащені мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом. Осаджування проводилось на шорстких плитах, з покроковим замірюванням сили осаджування, при ступені осаджування $E=10\%$, $E=20\%$, $E=30\%$. На всіх образцях була нанесена координатна сітка на площині розрізу в здовж образцю через осеву лінію.

2.2 Техніка, апаратура, технології, методи розрахунку параметрів

Як вже я писав вище, експеримент проводився в ЗНУ на кафедрі МТЕТБ, в аудиторії 21. В цій аудиторії розміщене обладнання для виконання

експериментальних досліджень в області прокатного та ковальського виробництва.

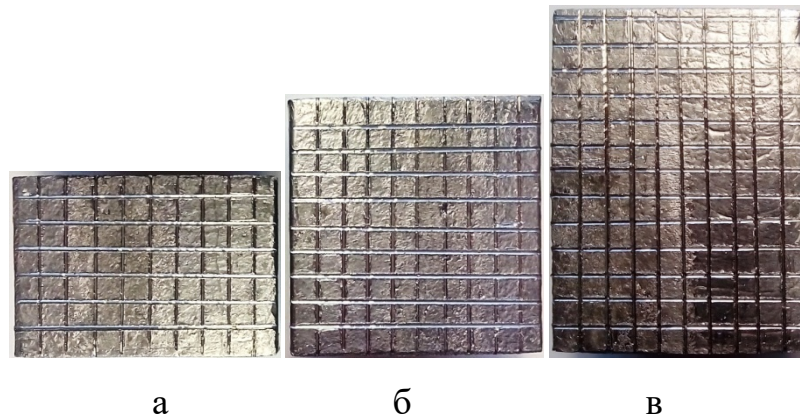
Для відливання зразків, в аудиторії знаходиться муфельна піч та маються кокілі. Всі роботи проводились з лаборантом Мамонтовим Геннадієм Тимофійовичем, чи при його присутності. Матеріалом для відливок був свинець, так як він найбільш відтворює картину гарячого осаджування. Свинець для проведення експерименту надала кафедра МТЕТБ. Для відлиття зразків з осевим розрізом, кокіль був доопрацьований. Була виготовлена металева пластина, яка розділяла кокіль навпіл по центру вздовж кокілю. В отриманий кокіль водночас відливалось дві половинки циліндру, при з'єднанні яких отримували циліндр, діаметр якого дорівнював 30 мм. Далі ці циліндри розрізали на мірні довжини (Н): 21^{+2} , 31^{+2} , 41^{+2} мм. До остаточного розміру (Н=20мм, Н=30мм, Н=40мм) доводили начальником. На площині, яка проходить вздовж циліндра і ділить його навпіл була нанесена координатна сітка (рис. 2.1), шаг сітки дорівнює 3мм. Всі напівциліндри спаяні між собою сплавом Вуда та остаточно зачищені від дрібних перепадів та виплесків зайвого сплаву (рис. 2.2).

Осаджування проводилось на універсальній випробувальній машині УГ – 20/2. Ця машина призначена для статичних випробувань металевих і інших зразків на розтяг, стиск, вигин. Найбільше граничне навантаження 20 т. (200кН). Її схема показана на рисунку 2.3.

Машина складається з двох агрегатів: власне машини і маятникового силівимірювального пристрою. Основна машина являє собою дві рами – нерухому 1 і рухому 2.

Нерухома рама складається з масивної плити-основи, в якій змонтований черв'ячний механізм з приводом від електродвигуна і ходовий гвинт для швидкого переміщення нижнього захоплення, двох вертикальних колон і верхній поперечини. Зверху на ній встановлено силовий гідроциліндр 3, створює необхідне зусилля. Він несе на собі рухому раму 2, що складається з верхньої поперечки, що покоїться поршні гідроциліндра, двох

вертикальних штанг і масивної нижньої поперечки (траверси). Остання забезпечена наступними пристроями для установки та закріплення зразків: знизу – захоплення для кріплення зразків 4 при випробуванні на розрив; зверху – майданчик для установки зразків при випробуванні на стиск і дві розсувні опори, на які встановлюються згинальні зразки. При випробуваннях нижній захоплення не переміщається.



а) – Н=20мм; б) – Н=30мм; в) – Н = 40мм.

Рисунок 2.1– Фото координатної сітки на образцях (б) – Н=30мм;



Рисунок 2.2 – Фото комплекту доопрацьованих і готових до осаджування зразків

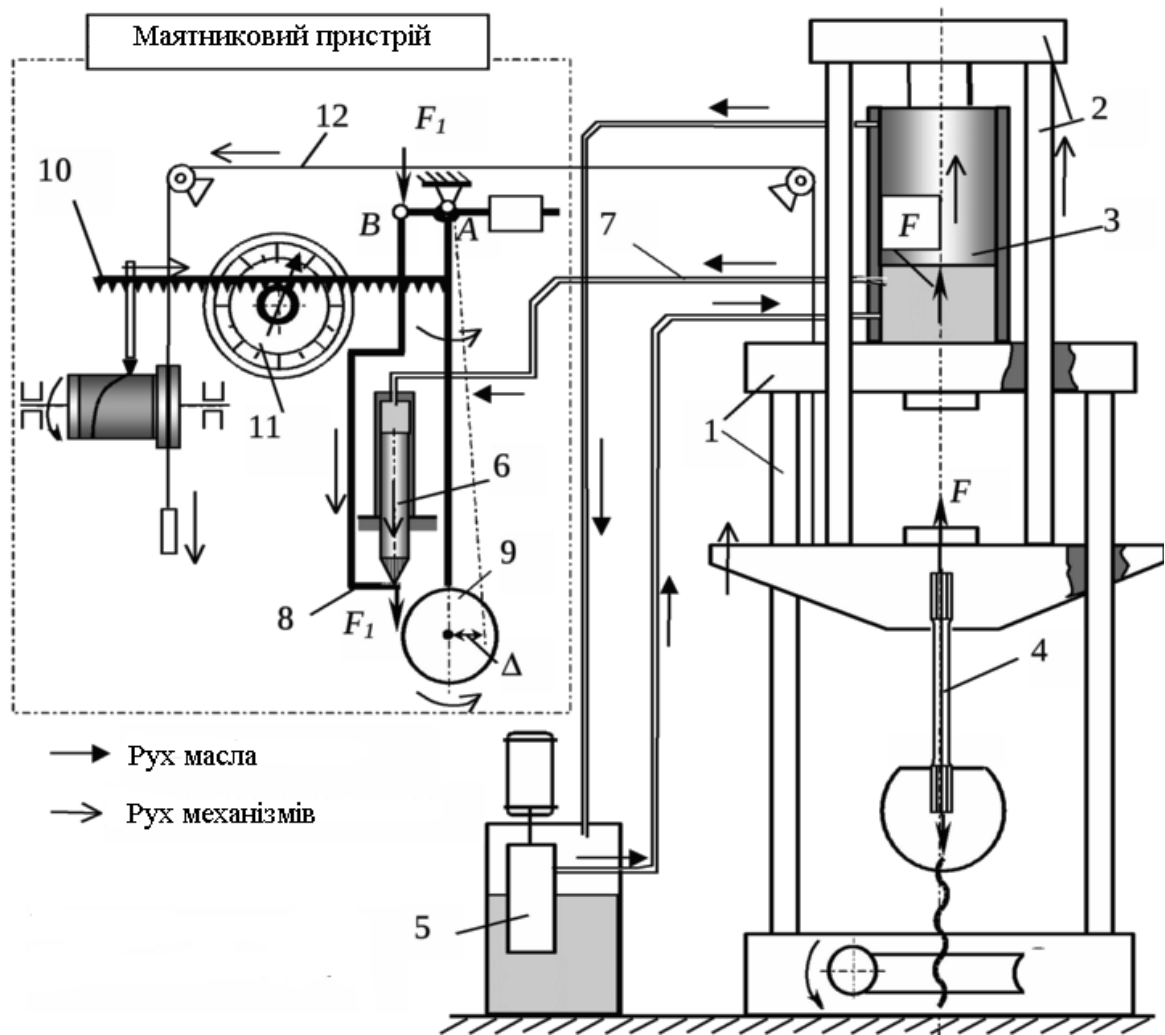


Рисунок 2.3 – Схема універсальної випробувальної машини УГ – 20/2 та маятниковий пристрій

Принцип роботи машини наступний: за допомогою насоса 5 в гідроциліндр 3 нагнітається масло, завдяки чому його поршень рухається вгору, а разом з ним і рухома рама 2 разом з верхнім захопленням, в якому закріплений кінець розтягувального зразка. Якщо зразок встановлений зверху траверси, то він навантажується стискаючим або згинаючим навантаженням.

Маятниковий силовимірювач призначений для вимірювання створюваного в зразку зусилля. Принцип його роботи наступний. У цьому

агрегаті є свій невеликий гідроциліндр 6. Його камера з'єднана з камерою силового гідроциліндра 3 трубкою гідроприводу 7.

Таким чином, тиск створюється насосом в пресі штовхає вниз поршень гідроциліндра 6 з силою F_1 . Оскільки в двох циліндрах тиск однаково, то сила пропорційна розтягує силі F . Поршень штовхає рамку 8, шарнірно пов'язану з горизонтальним важелем АВ маятника 9. При цьому маятник відхиляється і його вага створює момент M відносно шарніра А, який за умовою рівноваги цього важеля повинен врівноважити момент від сили: $M = F_1 \cdot AB$. При малих відхиленнях маятника момент M пропорційний горизонтального зміщення маятника 9. З усього вищесказаного випливає, що в даному маятниковому механізмі зміщення рейки 10 буде прямо пропорційно величині зусилля F . На рейці закріплений пишучий інструмент. Рейка також обертає стрілку силовимірювача 11. Зубчаста рейка 10 з'єднана з маятником і її зміщення буде пропорційно F . Тросик 12 з'єднує рухому траверсу з барабаном самописця, отже, кут повороту барабана пропорційний абсолютній величині подовження зразка. Таким чином, даний самописець в певному масштабі записує діаграму розтягування випробовуваного зразка.

Змінюючи масу вантажу маятника, змінюють коефіцієнт пропорційності між силою і величиною зміщення рейки. Тим самим змінюють масштаб (шкали) силовимірювального стрілочного пристрою і масштаб діаграми розтягування по силовій осі.

Діапазони виміру універсальної випробувальної машини УГ – 20/2:

- а) – от 0 до 10 кН;
- б) – от 0 до 20 кН;
- в) – от 0 до 40 кН;
- г) – от 0 до 100 кН;
- д) – от 0 до 200 кН.

Між поверхнями плит машини і образцем вставляли проміжні шорсткі плити, з низьким класом шорсткості. З початку осаджував перший комплект

($D/H=1,5$; $D/H=1$; $D/H=0,75$) на сухих та обезжирених, потім другий комплект з нанесенням на торці зразків чистого вазеліну, а потім третій з нанесенням на торці зразків суміш мастила з нафтопродукту та графіту в пропорції 1/1.

Кожен комплект зразків осаджувався поетапно, з ступенями осадки $E=10\%$, $E=20\%$, $E=30\%$, для контролю висоти потрібного ступеню осадки, були виготовлені бочонки з пінопласту з потрібними розмірами. Для зразків $H=20$ мм, були виготовлені бочонки висотою 18мм, 16мм, 14мм для осаджування на $E=10\%$, $E=20\%$, $E=30\%$ відповідно. Для зразків $H=30$ мм, були виготовлені бочонки висотою 27мм, 24мм, 21мм для осаджування на $E=10\%$, $E=20\%$, $E=30\%$ відповідно. Для зразків $H=40$ мм, були виготовлені бочонки висотою 36мм, 32мм, 28мм для осаджування на $E=10\%$, $E=20\%$, $E=30\%$ відповідно.

Після скінчення осаджування, отримав три комплекти осаджуваних на 30% зразків (рис. 2.4) Всі комплекти між собою візуально не відрізняються.



Рисунок 2.4– Фото комплекту осаджених зразків з змащуванням торців чистим вазеліном, $E= 30\%$.

Після осаджування образці піддавалися нагріву до температури, яка перевищує температуру правління сплаву Вуда, приблизно 70°C при цьому осаджений образець роз'єднувався на дві половини. Зайвий сплав Вуда прибирався за допомогою будівного фєну та шматка тканини.

Осаджування проводилось в приміщенні, температура повітря в якому дорівнювала близько 16-18 °С.

2.3 Методика (модель) експерименту та визначення параметрів процесу

Методика дослідження впливу технологічних факторів по величині сили і роботи полягає в вимірі сили осаджування при різних геометричних параметрів D/H , та з різними показниками тертя. Отримані данні використовуватиму для розрахунку середнього нормального тиску та роботи осаджування. По отриманим даним проаналізую які технологічні фактори і як впливають на величину сили і роботи при осаджуванні циліндричного образцю.

При проведенні експерименту на кожному етапі осаджування записували дані силовимірювального пристрою та геометричні дані образцю, вимірювалась швидкість опускання інструменту, її середнє значення дорівнює $v_z=0,645$ мм/с .

При осаджуванні зразків я отримав такі дані:

- а) на сухих, шорсткуватих, обезжирених плитах:
 - 1) $D/H=1,5$

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані осаджування на сухих, шорсткуватих, обезжирених плитах при $H=20$ мм, $D=30$ мм

№	H,	D,	h, мм	d, мм	$d_{\text{боч}}$, мм	P, кГс
1	20	30	18	31,5	32,5	2300
2	20	30	15,5	33,8	35,3	3270
3	20	30	13,9	36	37,4	3900

Таблиця 2.2 – Розрахункові дані осаджування на сухих, шорсткуватих, обезжирених плитах при $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	ε , %	V , мм^3	$P_{\text{ср.}}$, Н/мм^2	F , мм^2	n_s	$\sigma_{\text{ф.}}$, Н/мм^2	f	$f_{\text{п}}$	A , $\text{МН}\cdot\text{м}$	τ , Н/мм^2
1	10	14130	28,957	778,92	1,2253	23,6	0,32	0,39	0,0431	9,22
2	23	14130	35,757	896,82	1,2627	28,3	0,29	0,37	0,1288	10,34
3	30	14130	37,593	1017,4	1,3138	28,6	0,28	0,37	0,1933	10,51



Рисунок 2.5 – Фото координатної сітки осадженого образцю на сухих, обезжирених плитах, $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$ на $\varepsilon = 31\%$

По формулі (3) знайдемо ε , %:

$$\varepsilon_1 = (20 - 18/20) \cdot 100\% = 10\%,$$

$$\varepsilon_2 = (20 - 15,5/20) \cdot 100\% = 23\%,$$

$$\varepsilon_3 = (20 - 13,9/20) \cdot 100\% = 31\%.$$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V = 3,14 \cdot 30^2 \cdot 20 / 4 = 14130 \text{мм}^3.$$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F :

$$F = \pi d^2 / 4, \quad (33)$$

$$F_1 = 3,14 \cdot 31,5^2 / 4 = 778,92 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 3,14 \cdot 33,8^2 / 4 = 896,82 \text{ мм}^2,$$

$$F_3 = 3,14 \cdot 36^2 / 4 = 1017,4 \text{ мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо P_{cp} :

$$P_{cp1} = P_1 / F_1 = 2300 \cdot 9,80665 / 778,92 = 28,957 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp2} = P_2 / F_2 = 3270 \cdot 9,80665 / 896,82 = 35,757 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp3} = P_3 / F_3 = 3900 \cdot 9,80665 / 1017,4 = 37,593 \text{ Н/мм}^2.$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_σ :

$$n_{\sigma1} = 1,2 + 0,045(31,5/18 - 1)^2 = 1,2253,$$

$$n_{\sigma2} = 1,2 + 0,045(33,8/15,5 - 1)^2 = 1,2627,$$

$$n_{\sigma3} = 1,2 + 0,045(36/13,9 - 1)^2 = 1,3138.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma,$$

$$\sigma_{T1} = 28,957 / 1,2253 = 23,6 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T2} = 35,757 / 1,2627 = 28,3 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T3} = 37,593 / 1,3138 = 28,6 \text{ Н/мм}^2.$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma$, та $f_{II} = f \cdot n_\sigma$, [1,2]
перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$f = (n_\sigma - 1) / (0,33 \cdot n_\sigma \cdot \frac{d}{h}),$$

$$f_1 = (1,2253 - 1) / (0,33 \cdot 1,2253 \cdot \frac{31,5}{18}) = 0,3184,$$

$$f_2 = (1,2627 - 1)/(0,33 \cdot 1,2627 \cdot \frac{33,8}{15,5}) = 0,2891,$$

$$f_3 = (1,3138 - 1)/(0,33 \cdot 1,3138 \cdot \frac{36}{13,9}) = 0,2794.$$

По формулі (30) знайдемо роботу деформації А:

$$A_1 = 14130 \cdot 28,957 \cdot \ln 20/18 = 0,0431 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_2 = 14130 \cdot 35,757 \cdot \ln 20/15,5 = 0,1288 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_3 = 14130 \cdot 37,593 \cdot \ln 20/13,9 = 0,1933 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$f_{п1} = 0,3184 \cdot 1,2253 = 0,3902,$$

$$f_{п2} = 0,2891 \cdot 1,2627 = 0,3651,$$

$$f_{п3} = 0,2794 \cdot 1,3138 = 0,3671.$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,3902 \cdot 23,633 = 9,2203 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,3651 \cdot 28,318 = 10,339 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,3671 \cdot 28,615 = 10,505 \text{ Н/мм}^2.$$

2) D/H=1

По формулі (3) знайдемо ε , %:

$$\varepsilon_1 = (30 - 26/30) \cdot 100\% = 13,33\%,$$

$$\varepsilon_2 = (30 - 23/30) \cdot 100\% = 23,333\%,$$

$$\varepsilon_3 = (30 - 20,5/30) \cdot 100\% = 31,667\%$$

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані осаджування на сухих, шорсткуватих, обезжирених плитах при $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	H,	D,	h, мм	d, мм	d _{боч} , мм	P, кГс
1	30	30	26	31,4	33	2750
2	30	30	23	33	33,5	3400
3	30	30	20,5	35	36,5	3900

Таблиця 2.4 – Розрахункові дані осаджування на сухих, шорсткуватих, обезжирених плитах при $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	ε , %	V, мм ³	P _{ср} , Н/мм ²	F, мм ²	n _σ	σ _ф , Н/мм ²	f	f _п	A, МН·м	τ, Н/мм ²
1	13	21195	34,844	773,98	1,2019	29	0,42	0,51	0,1057	14,7
2	23	21195	39,003	854,87	1,2085	32,3	0,36	0,44	0,2197	14,2
3	32	21195	39,772	961,63	1,2225	32,5	0,32	0,39	0,321	12,8



Рисунок 2.6 – Фото координатної сітки осадженого образцю на сухих, обезжирених плитах, $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$ на $\varepsilon = 32\%$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V = 3,14 \cdot 30^2 \cdot 30 / 4 = 21195 \text{мм}^3.$$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F по формулі (33):

$$F_1 = 3,14 \cdot 31,4^2 / 4 = 773,98 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 3,14 \cdot 33^2 / 4 = 854,87 \text{ мм}^2,$$

$$F_3 = 3,14 \cdot 35^2 / 4 = 961,63 \text{ мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо P_{cp} :

$$P_{cp1} = P_1 / F_1 = 2750 \cdot 9,80665 / 773,98 = 34,844 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp2} = P_2 / F_2 = 3400 \cdot 9,80665 / 854,87 = 39,003 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp3} = P_3 / F_3 = 3900 \cdot 9,80665 / 961,63 = 39,772 \text{ Н/мм}^2.$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_σ :

$$n_{\sigma1} = 1,2 + 0,045(31,4/18 - 1)^2 = 1,2019,$$

$$n_{\sigma2} = 1,2 + 0,045(33/15,5 - 1)^2 = 1,2085,$$

$$n_{\sigma3} = 1,2 + 0,045(35/13,9 - 1)^2 = 1,2225.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma,$$

$$\sigma_{T1} = 34,844 / 1,2019 = 28,99 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T2} = 39,003 / 1,2085 = 32,274 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T3} = 39,772 / 1,2225 = 32,533 \text{ Н/мм}^2.$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma$, та $f_{II} = f \cdot n_\sigma$, [1,2]
перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$f = (n_{\sigma} - 1) / (0,33 \cdot n_{\sigma} \cdot \frac{d}{h}),$$

$$f_1 = (1,2019 - 1) / (0,33 \cdot 1,2019 \cdot \frac{31,4}{26}) = 0,4216,$$

$$f_2 = (1,2085 - 1) / (0,33 \cdot 1,2085 \cdot \frac{33}{23}) = 0,3644,$$

$$f_3 = (1,2225 - 1) / (0,33 \cdot 1,2225 \cdot \frac{35}{20,5}) = 0,3231.$$

По формулі (28) знайдемо роботу деформації А:

$$A_1 = 21195 \cdot 34,844 \cdot \ln 30/26 = 0,1057 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_2 = 21195 \cdot 39,003 \cdot \ln 30/23 = 0,2197 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_3 = 21195 \cdot 39,772 \cdot \ln 30/20,5 = 0,321 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$f_{п1} = 0,4216 \cdot 1,2019 = 0,5067,$$

$$f_{п2} = 0,3644 \cdot 1,2085 = 0,4404,$$

$$f_{п3} = 0,3231 \cdot 1,2225 = 0,3949.$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,5067 \cdot 28,99 = 14,689 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,4404 \cdot 32,274 = 14,213 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,3949 \cdot 32,533 = 12,849 \text{ Н/мм}^2.$$

3) D/H=0,75

По формулі (3) знайдемо ε , %:

$$\varepsilon_1 = (40 - 36/40) \cdot 100\% = 10\%,$$

$$\varepsilon_2 = (40 - 33/40) \cdot 100\% = 17,5\%,$$

$$\varepsilon_3 = (40 - 28/40) \cdot 100\% = 30\%.$$

Таблиця 2.5 – Експериментальні дані осаджування на сухих, шорсткуватих, обезжирених плитах при $H=40\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	H,	D,	h, мм	d, мм	$d_{\text{боч}}$, мм	P, кГс
1	40	30	36	31	32	1940
2	40	30	33	32	34	2450
3	40	30	28	35	37	3300

Таблиця 2.6 – Розрахункові дані осаджування на сухих, шорсткуватих, обезжирених плитах при $H=40\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	ε , %	V, мм ³	$P_{\text{ср}}$, Н/мм ²	F, мм ²	n_{σ}	$\sigma_{\text{ф}}$, Н/мм ²	f	$f_{\text{п}}$	A, МН·м	τ , Н/мм ²
1	10	28260	25,219	754,39	1,2009	21	0,59	0,71	0,0751	14,8
2	18	28260	29,889	803,84	1,2	24,9	0,52	0,63	0,1625	15,6
3	30	28260	33,653	961,63	1,2028	28	0,49	0,49	0,3392	13,8



Рисунок 2.7 – Фото координатної сітки осадженого образцю на сухих, обезжирених плитах, $H=40\text{мм}$, $D=30\text{мм}$ на $\varepsilon = 30\%$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V=3,14 \cdot 30^2 \cdot 40/4=28260 \text{ мм}^3.$$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F по формулі (33):

$$F_1=3,14 \cdot 31^2/4=754,39 \text{ мм}^2,$$

$$F_2=3,14 \cdot 32^2/4=803,84 \text{ мм}^2,$$

$$F_3=3,14 \cdot 35^2/4=961,63 \text{ мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо P_{cp} :

$$P_{cp1}=P_1/F_1=1940 \cdot 9,80665/754,39=25,219 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp2}=P_2/F_2=2450 \cdot 9,80665/803,84=29,889 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp3}=P_3/F_3=3300 \cdot 9,80665/961,63=33,653 \text{ Н/мм}^2;$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_{σ} :

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(31/36 - 1)^2 = 1,2009,$$

$$n_{\sigma 2} = 1,2 + 0,045(32/33 - 1)^2 = 1,2,$$

$$n_{\sigma 3} = 1,2 + 0,045(35/28 - 1)^2 = 1,2028.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_{\sigma},$$

$$\sigma_{T1} = 25,219/1,2009 = 21,001 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T2} = 29,889/1,2 = 24,907 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T3} = 33,653/1,2028 = 27,979 \text{ Н/мм}^2.$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma$, та $f_{\Pi} = f \cdot n_\sigma$, [1,2]
перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$f = (n_\sigma - 1) / (0,33 \cdot n_\sigma \cdot \frac{d}{h}),$$

$$f_1 = (1,2009 - 1) / (0,33 \cdot 1,2009 \cdot \frac{31}{36}) = 0,5886,$$

$$f_2 = (1,2 - 1) / (0,33 \cdot 1,2 \cdot \frac{32}{33}) = 0,5209,$$

$$f_3 = (1,2028 - 1) / (0,33 \cdot 1,2028 \cdot \frac{35}{28}) = 0,4088.$$

По формулі (30) знайдемо роботу деформації A :

$$A_1 = 28260 \cdot 25,219 \cdot \ln 40/36 = 0,0751 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_2 = 28260 \cdot 29,889 \cdot \ln 40/33 = 0,1625 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_3 = 28260 \cdot 33,653 \cdot \ln 40/28 = 0,3392 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$f_{\Pi 1} = 0,5886 \cdot 1,2009 = 0,7069,$$

$$f_{\Pi 2} = 0,5209 \cdot 1,2 = 0,6251,$$

$$f_{\Pi 3} = 0,4088 \cdot 1,2028 = 0,4917.$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,7069 \cdot 21,001 = 14,845 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,6251 \cdot 24,907 = 15,57 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,4917 \cdot 27,979 = 13,756 \text{ Н/мм}^2.$$

б) з нанесенням на торі зразків чистого вазеліну:

1) $D/H=1,5$

Таблиця 2.7– Експериментальні дані осаджування з змащуванням торців образцю чистим вазеліном, при $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	H,	D,	h, мм	d, мм	d _{боч} , мм	P, кГс
1	20	30	17,5	31	32	2200
2	20	30	15,8	33	34	2850
3	20	30	13,7	35,8	37	3800

Таблиця 2.8 – Розрахункові дані осаджування з змащуванням торців образцю чистим вазеліном, при $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	ε , %	V, мм ³	P _{ср} , Н/мм ²	F, мм ²	n _σ	σ _ф , Н/мм ²	f	f _п	A, МН·м	τ, Н/мм ²
1	13	14130	28,599	754,39	1,2268	23,3	0,32	0,39	0,054	9,04
2	21	14130	32,694	854,87	1,2533	26,1	0,29	0,37	0,1089	9,59
3	32	14130	37,04	1006,1	1,3171	28,1	0,28	0,37	0,198	10,34



Рисунок 2.8 – Фото координатної сітки осадженого образцю з змащуванням торців образцю вазеліном, $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$ на $\varepsilon = 32\%$

По формулі (3) знайдемо ε , %:

$$\varepsilon_1 = (20 - 17,5/20) \cdot 100\% = 12,5\%,$$

$$\varepsilon_2 = (20 - 15,8/20) \cdot 100\% = 21\%,$$

$$\varepsilon_3 = (20 - 13,7/20) \cdot 100\% = 31,5\%.$$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V = 3,14 \cdot 30^2 \cdot 20/4 = 14130 \text{ мм}^3.$$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F по формулі (33):

$$F_1 = 3,14 \cdot 31^2/4 = 754,39 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 3,14 \cdot 33^2/4 = 854,87 \text{ мм}^2,$$

$$F_3 = 3,14 \cdot 35,8^2/4 = 1006,1 \text{ мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо $P_{\text{ср}}$:

$$P_{\text{ср1}} = P_1/F_1 = 2200 \cdot 9,80665/754,39 = 28,599 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{\text{ср2}} = P_2/F_2 = 2850 \cdot 9,80665/854,8 = 32,694 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{\text{ср3}} = P_3/F_3 = 3800 \cdot 9,80665/1006,1 = 37,04 \text{ Н/мм}^2.$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_{σ} :

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(31/17,5 - 1)^2 = 1,2268,$$

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(33/15,8 - 1)^2 = 1,2533,$$

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(35,8/13,7 - 1)^2 = 1,3171.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma,$$

$$\sigma_{T1} = 28,599/1,2268 = 23,312 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T2} = 32,694/1,2533 = 26,086 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T3} = 37,04/1,3171 = 28,122 \text{ Н/мм}^2.$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma$, та $f_{п} = f \cdot n_\sigma$, [1,2]
перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$f = (n_\sigma - 1)/(0,33 \cdot n_\sigma \cdot \frac{d}{h}),$$

$$f_1 = (1,2268 - 1)/(0,33 \cdot 1,2268 \cdot \frac{31}{17,5}) = 0,3162,$$

$$f_2 = (1,2533 - 1)/(0,33 \cdot 1,2533 \cdot \frac{33}{15,8}) = 0,2933,$$

$$f_3 = (1,3171 - 1)/(0,33 \cdot 1,3171 \cdot \frac{35,8}{13,7}) = 0,2792.$$

По формулі 30) знайдемо роботу деформації A :

$$A_1 = 14130 \cdot 28,599 \cdot \ln 40/31 = 0,054 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_2 = 14130 \cdot 32,694 \cdot \ln 40/33 = 0,1089 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_3 = 14130 \cdot 37,04 \cdot \ln 40/35,8 = 0,198 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$f_{п1} = 0,3162 \cdot 1,2268 = 0,3879,$$

$$f_{п2} = 0,2933 \cdot 1,2533 = 0,3675,$$

$$f_{п3} = 0,2792 \cdot 1,3171 = 0,3677.$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,3879 \cdot 23,312 = 9,0438 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,3675 \cdot 26,086 = 9,5877 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,3677 \cdot 28,122 = 10,341 \text{ Н/мм}^2.$$

2) $D/H=1$

По формулі (3) знайдемо ε , %:

$$\varepsilon_1 = (30 - 27/30) \cdot 100\% = 10\%,$$

$$\varepsilon_2 = (30 - 24,7/30) \cdot 100\% = 17,67\%,$$

$$\varepsilon_3 = (30 - 21/30) \cdot 100\% = 30\%.$$

Таблиця 2.9 – Експериментальні дані осаджування з змащуванням торців образцю чистим вазеліном, при $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	H,	D,	h, мм	d, мм	d _{боч} , мм	P, кГс
1	30	30	27	30,8	32	2000
2	30	30	24,7	32	33	2450
3	30	30	21	34,5	36,2	3300

Таблиця 2.10 – Розрахункові дані осаджування з змащуванням торців образцю чистим вазеліном, при $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	ε , %	V, мм ³	P _{ср} , Н/мм ²	F, мм ²	n _σ	σ _ф , Н/мм ²	f	f _п	A, МН·м	τ, Н/мм ²
1	10	21195	26,338	744,68	1,2009	21,9	0,44	0,53	0,0588	11,7
2	18	21195	29,889	803,84	1,2039	24,8	0,40	0,48	0,1231	11,8
3	30	21195	34,636	934,35	1,2186	28,4	0,33	0,4	0,2618	11,5



Рисунок 2.9 – Фото координатної сітки осадженого образцю з змашуванням торців образцю вазеліном, $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$ на $\varepsilon = 30\%$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V=3,14 \cdot 30^2 \cdot 30/4=21195\text{мм}^3.$$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F по формулі (33):

$$F_1=3,14 \cdot 30,8^2/4=744,68 \text{ мм}^2,$$

$$F_2=3,14 \cdot 32^2/4=803,84 \text{ мм}^2,$$

$$F_3=3,14 \cdot 34,5^2/4=934,35 \text{ мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо P_{cp} :

$$P_{cp1}=P_1/F_1=2000 \cdot 9,80665/744,68=26,338 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp2}=P_2/F_2=2450 \cdot 9,80665/803,84=29,889 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp3}=P_3/F_3=3300 \cdot 9,80665/934,35=34,636 \text{ Н/мм}^2.$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_σ :

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(30,8/27 - 1)^2 = 1,2009,$$

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(32/24,7 - 1)^2 = 1,2039,$$

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(34,5/21 - 1)^2 = 1,2186.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_{\sigma},$$

$$\sigma_{T1} = 26,338/1,2009 = 21,932 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T2} = 29,889/1,2039 = 24,827 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T3} = 34,636/1,2186 = 28,423 \text{ Н/мм}^2.$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_{\sigma}$, та $f_{II} = f \cdot n_{\sigma}$, [1,2] перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$f = (n_{\sigma} - 1)/(0,33 \cdot n_{\sigma} \cdot \frac{d}{h}),$$

$$f_1 = (1,2009 - 1)/(0,33 \cdot 1,2009 \cdot \frac{30,8}{27}) = 0,4444,$$

$$f_2 = (1,2039 - 1)/(0,33 \cdot 1,2039 \cdot \frac{32}{24,7}) = 0,3962,$$

$$f_3 = (1,2186 - 1)/(0,33 \cdot 1,2186 \cdot \frac{34,5}{21}) = 0,3309.$$

По формулі (30) знайдемо роботу деформації A :

$$A_1 = 21195 \cdot 26,338 \cdot \ln 30/27 = 0,0588 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_2 = 21195 \cdot 29,889 \cdot \ln 30/24,7 = 0,1231 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_3 = 21195 \cdot 34,636 \cdot \ln 30/21 = 0,2618 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$f_{п1} = 0,4444 \cdot 1,2009 = 0,5337,$$

$$f_{п2} = 0,3962 \cdot 1,2039 = 0,477,$$

$$f_{п3} = 0,3309 \cdot 1,2186 = 0,4032.$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,5337 \cdot 21,932 = 11,704 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,477 \cdot 24,827 = 11,842 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,4032 \cdot 28,423 = 11,46 \text{ Н/мм}^2.$$

3) $D/H=0,75$

Таблиця 2.11 – Експериментальні дані осаджування з змащуванням торців образцю чистим вазеліном, при $H=40\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	H,	D,	h, мм	d, мм	d _{боч} , мм	P, кГс
1	40	30	36	31	31,5	1700
2	40	30	32	32	34	2060
3	40	30	28	34	36,5	2620

Таблиця 2.12 – Розрахункові дані осаджування з змащуванням торців образцю чистим вазеліном, при $H=40\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	ϵ , %	V, мм ³	P _{ср} , Н/мм ²	F, мм ²	n _σ	σ _ф , Н/мм ²	f	f _п	A, МН·м	τ, Н/мм ²
1	10	28260	22,099	754,39	1,2009	18,4	0,59	0,71	0,0658	13
2	20	28260	25,131	803,84	1,2	20,9	0,51	0,61	0,1585	12,7
3	30	28260	28,314	907,46	1,2021	23,6	0,42	0,5	0,2854	11,9



Рисунок 2.10 – Фото координатної сітки осадженого образцю з змащуванням торців образцю вазеліном, $H=40\text{мм}$, $D=30\text{мм}$ на $\varepsilon = 30\%$

По формулі (3) знайдемо ε , %:

$$\varepsilon_1 = (40 - 36/40) \cdot 100\% = 10\%,$$

$$\varepsilon_2 = (40 - 32/40) \cdot 100\% = 20\%,$$

$$\varepsilon_3 = (40 - 28/40) \cdot 100\% = 30\%.$$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V = 3,14 \cdot 30^2 \cdot 40/4 = 28260 \text{мм}^3.$$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F по формулі (33):

$$F_1 = 3,14 \cdot 31^2/4 = 754,39 \text{мм}^2,$$

$$F_2 = 3,14 \cdot 32^2/4 = 803,84 \text{мм}^2,$$

$$F_2 = 3,14 \cdot 34^2/4 = 907,46 \text{мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо P_{cp} :

$$P_{cp1} = P_1/F_1 = 1700 \cdot 9,80665/754,39 = 22,099 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp2} = P_2/F_2 = 2060 \cdot 9,80665/803,84 = 25,131 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp3} = P_3/F_3 = 2620 \cdot 9,80665/907,46 = 28,314 \text{ Н/мм}^2;$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_σ :

$$n_{\sigma1} = 1,2 + 0,045(31/36 - 1)^2 = 1,2009,$$

$$n_{\sigma1} = 1,2 + 0,045(32/32 - 1)^2 = 1,2,$$

$$n_{\sigma1} = 1,2 + 0,045(34/28 - 1)^2 = 1,2021.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma,$$

$$\sigma_{T1} = 22,099/1,2009 = 18,403 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T2} = 25,131/1,2 = 20,943 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T3} = 28,314/1,2021 = 23554 \text{ Н/мм}^2.$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma$, та $f_\Pi = f \cdot n_\sigma$, [1,2] перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$f = (n_\sigma - 1)/(0,33 \cdot n_\sigma \cdot \frac{d}{h}),$$

$$f_1 = (1,2009 - 1)/(0,33 \cdot 1,2009 \cdot \frac{31}{36}) = 0,5886,$$

$$f_2 = (1,2 - 1)/(0,33 \cdot 1,2 \cdot \frac{32}{32}) = 0,5051,$$

$$f_3 = (1,2021 - 1)/(0,33 \cdot 1,2021 \cdot \frac{34}{28}) = 0,4195.$$

По формулі (30) знайдемо роботу деформації А:

$$A_1 = 28260 \cdot 22,099 \cdot \ln 40/36 = 0,0658 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_2 = 28260 \cdot 25,131 \cdot \ln 40/32 = 0,1585 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_3 = 28260 \cdot 28,314 \cdot \ln 40/28 = 0,2854 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$f_{п1} = 0,5886 \cdot 1,2009 = 0,7069,$$

$$f_{п2} = 0,5051 \cdot 1,2 = 0,6061,$$

$$f_{п3} = 0,4195 \cdot 1,2021 = 0,5043.$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,7069 \cdot 18,403 = 13,008 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,6061 \cdot 20,943 = 12,693 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,5043 \cdot 23,554 = 11,878 \text{ Н/мм}^2.$$

в) з змащуванням торців образцю мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом

:

1) D/H=1,5

По формулі (3) знайдемо ε , %:

$$\varepsilon_1 = (20 - 16,6/20) \cdot 100\% = 17\%,$$

$$\varepsilon_2 = (20 - 15,5/20) \cdot 100\% = 22,5\%,$$

$$\varepsilon_3 = (20 - 13,4/20) \cdot 100\% = 33\%.$$

Таблиця 2.13 – Експериментальні дані осаджування з змащуванням торців образцю мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом, при $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	H,	D,	h, мм	d, мм	$d_{\text{боч}}$, мм	P, кГс
1	20	30	16,6	32,3	33	2380
2	20	30	15,5	33	33,5	2700
3	20	30	13,4	36	36,6	3480

Таблиця 2.14 – Розрахункові дані осаджування з змащуванням торців образцю мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом, при $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	ε , %	V, мм ³	$P_{\text{ср}}$, Н/мм ²	F, мм ²	n_{σ}	σ_{ϕ} , Н/мм ²	f	$f_{\text{п}}$	A, МН·м	τ , Н/мм ²
1	17	14130	28,499	818,98	1,2403	22,978	0,3	0,37	0,075	8,6
2	23	14130	30,973	854,87	1,2574	24,634	0,29	0,37	0,1116	9,02
3	33	14130	33,545	1017,4	1,328	25,26	0,28	0,37	0,1898	9,33



Рисунок 2.11 – Фото координатної сітки осадженого образцю з змащуванням торців образцю мастилом на нафтовій основі з графітом, $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$ на $\varepsilon = 33\%$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V=3,14 \cdot 30^2 \cdot 20/4=14130\text{мм}^3.$$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F по формулі (33):

$$F_1 = 3,14 \cdot 32,3^2 / 4 = 818,98 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 3,14 \cdot 33^2 / 4 = 854,87 \text{ мм}^2,$$

$$F_3 = 3,14 \cdot 36^2 / 4 = 1017,4 \text{ мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо P_{cp} :

$$P_{cp1} = P_1 / F_1 = 2380 \cdot 9,80665 / 818,98 = 28,499 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp2} = P_2 / F_2 = 2700 \cdot 9,80665 / 854,87 = 30,973 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp3} = P_3 / F_3 = 3480 \cdot 9,80665 / 1017,4 = 33,545 \text{ Н/мм}^2.$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_σ :

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(32,3/16,6 - 1)^2 = 1,2403,$$

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(33/15,5 - 1)^2 = 1,2574,$$

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(36/13,4 - 1)^2 = 1,328.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma,$$

$$\sigma_{T1} = 28,499 / 1,2403 = 22,978 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T2} = 30,973 / 1,2574 = 24,634 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T3} = 33,545 / 1,328 = 25,26 \text{ Н/мм}^2.$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma$, та $f_{II} = f \cdot n_\sigma$, [1,2]
перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$f = (n_{\sigma} - 1) / (0,33 \cdot n_{\sigma} \cdot \frac{d}{h}),$$

$$f_1 = (1,2403 - 1) / (0,33 \cdot 1,2403 \cdot \frac{32,3}{16,6}) = 0,3017,$$

$$f_2 = (1,2574 - 1) / (1,2574 \cdot 1,2 \cdot \frac{33}{15,5}) = 0,2913,$$

$$f_3 = (1,328 - 1) / (0,33 \cdot 1,328 \cdot \frac{36}{13,4}) = 0,2786.$$

По формулі (30) знайдемо роботу деформації А:

$$A_1 = 14130 \cdot 28,499 \cdot \ln 20 / 16,6 = 0,075 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_2 = 14130 \cdot 30,973 \cdot \ln 20 / 15,5 = 0,1116 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_3 = 14130 \cdot 33,545 \cdot \ln 20 / 13,4 = 0,1898 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$f_{\text{н1}} = 0,3017 \cdot 1,2403 = 0,3742,$$

$$f_{\text{н2}} = 0,2913 \cdot 1,2574 = 0,3663,$$

$$f_{\text{н3}} = 0,2786 \cdot 1,328 = 0,37.$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,3742 \cdot 22,978 = 8,5975 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,3663 \cdot 24,634 = 9,0235 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,37 \cdot 25,26 = 9,3453 \text{ Н/мм}^2.$$

2) D/H=1

Таблиця 2.15 – Експериментальні дані осаджування з змащуванням торців образцю мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом, при $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	H,	D,	h, мм	d, мм	d _{боч} , мм	P, кГс
1	30	30	26,2	31,8	32	2100
2	30	30	23,8	33,2	33,8	2600
3	30	30	21	35,4	35,8	3300

Таблиця 2.16 – Розрахункові дані осаджування з змащуванням торців образцю мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом, при $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

№	ε , %	V, мм ³	P _{ср} , Н/мм ²	F, мм ²	n _σ	σ _ф , Н/мм ²	f	f _п	A, МН·м	τ, Н/мм ²
1	12,667	21195	25,943	793,82	1,2021	21,582	0,4197	0,5	0,0745	10,9
2	20,667	21195	29,468	865,26	1,207	24,414	0,3726	0,45	0,1446	11
3	30	21195	32,897	983,73	1,2212	26,939	0,3256	0,4	0,2487	10,7



Рисунок 2.12 – Фото координатної сітки осадженого образцю з змащуванням торців образцю мастилом на нафтовій основі з графітом, $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

на $\varepsilon = 30\%$

По формулі (3) знайдемо ε , %:

$$\varepsilon_1 = (30 - 26,2 / 30) \cdot 100\% = 12,667\%,$$

$$\varepsilon_2 = (30 - 23,8 / 30) \cdot 100\% = 20,667\%,$$

$$\varepsilon_3 = (30 - 21/30) \cdot 100\% = 30\%.$$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V = 3,14 \cdot 30^2 \cdot 30 / 4 = 21195 \text{ мм}^3.$$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F по формулі (33):

$$F_1 = 3,14 \cdot 31,8^2 / 4 = 793,82 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 3,14 \cdot 33,2^2 / 4 = 865,26 \text{ мм}^2,$$

$$F_3 = 3,14 \cdot 35,4^2 / 4 = 983,73 \text{ мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо P_{cp} :

$$P_{cp1} = P_1 / F_1 = 2100 \cdot 9,80665 / 793,82 = 25,943 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp2} = P_2 / F_2 = 2600 \cdot 9,80665 / 865,26 = 29,468 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp3} = P_3 / F_3 = 3300 \cdot 9,80665 / 983,73 = 32,897 \text{ Н/мм}^2.$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_{σ} :

$$n_{\sigma1} = 1,2 + 0,045(31,8/26,2 - 1)^2 = 1,2021,$$

$$n_{\sigma1} = 1,2 + 0,045(33,2/23,8 - 1)^2 = 1,207,$$

$$n_{\sigma1} = 1,2 + 0,045(35,4/21 - 1)^2 = 1,2212.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_{\sigma},$$

$$\begin{aligned}\sigma_{T1} &= 25,943/1,2021 = 21,582/\text{мм}^2, \\ \sigma_{T2} &= 29,468/1,207 = 24,414 \text{ Н}/\text{мм}^2, \\ \sigma_{T3} &= 32,897/1,2212 = 26,939 \text{ Н}/\text{мм}^2.\end{aligned}$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma$, та $f_{п} = f \cdot n_\sigma$, [1,2] перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$\begin{aligned}f &= (n_\sigma - 1)/(0,33 \cdot n_\sigma \cdot \frac{d}{h}), \\ f_1 &= (1,2021 - 1)/(0,33 \cdot 1,2021 \cdot \frac{31,8}{26,2}) = 0,4197, \\ f_2 &= (1,207 - 1)/(0,33 \cdot 1,207 \cdot \frac{33,2}{23,8}) = 0,3726, \\ f_3 &= (1,2212 - 1)/(0,33 \cdot 1,2212 \cdot \frac{35,4}{21}) = 0,3256.\end{aligned}$$

По формулі (30) знайдемо роботу деформації A :

$$\begin{aligned}A_1 &= 21195 \cdot 25,943 \cdot \ln 30/26,2 = 0,0745 \text{ МН} \cdot \text{м}, \\ A_2 &= 21195 \cdot 29,468 \cdot \ln 30/23,8 = 0,1446 \text{ МН} \cdot \text{м}, \\ A_3 &= 21195 \cdot 32,897 \cdot \ln 30/21 = 0,2487 \text{ МН} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$\begin{aligned}f_{п1} &= 0,4197 \cdot 1,2021 = 0,5045, \\ f_{п2} &= 0,3726 \cdot 1,207 = 0,4497, \\ f_{п3} &= 0,3256 \cdot 1,2212 = 0,3976.\end{aligned}$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,5045 \cdot 21,582 = 10,887 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,4497 \cdot 24,414 = 10,979 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,3976 \cdot 26,939 = 10,71 \text{ Н/мм}^2.$$

3) D/H=0,75

Таблиця 2.17 – Експериментальні дані осаджування з змащуванням торців образцю мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом, при H=40мм, D=30мм

№	H,	D,	h, мм	d, мм	d _{боч.} , мм	P, кГс
1	40	30	35,5	32	32	1920
2	40	30	32	32,8	34	2300
3	40	30	27,8	36	37	3140

Таблиця 2.18 – Розрахункові дані осаджування з змащуванням торців образцю мастилом з нафтопродукту, розмішаним в пропорції 1 к 1 з графітом, при H=40мм, D=30мм

№	ε, %	V, мм ³	P _{ср.} , Н/мм ²	F, мм ²	n _σ	σ _{ф.} , Н/мм ²	f	f _п	A, МН·м	τ, Н/мм ²
1	11	28260	23,424	803,84	1,2004	19,5	0,56	0,67	0,079	13,1
2	20	28260	26,707	844,53	1,2	22,256	0,49	0,59	0,1684	13,1
3	31	28260	30,267	1017,4	1,2039	25,141	0,40	0,48	0,3112	12

По формулі (3) знайдемо ε, %:

$$\varepsilon_1 = (40 - 35,5/40) \cdot 100\% = 11,25\%,$$

$$\varepsilon_2 = (40 - 32/40) \cdot 100\% = 20\%,$$

$$\varepsilon_3 = (40 - 27,8/40) \cdot 100\% = 30,5\%.$$

По формулі (31) знайдемо об'єм образцю:

$$V = 3,14 \cdot 30^2 \cdot 40/4 = 28260 \text{ мм}^3.$$



Рисунок 2.13– Фото координатної сітки осадженого образцю з змащуванням торців образцю мастилом на нафтовій основі з графітом, $H=40\text{мм}$, $D=30\text{мм}$
на $\varepsilon = 31\%$

Згідно закону постійності об'єму V значення буде вірним для всіх ступенів осаджування.

Знайдемо площу торцю образцю F по формулі (33):

$$F_1 = 3,14 \cdot 32^2 / 4 = 803,84 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 3,14 \cdot 32,8^2 / 4 = 844,53 \text{ мм}^2,$$

$$F_3 = 3,14 \cdot 36^2 / 4 = 1017,4 \text{ мм}^2.$$

По формулі (25) знайдемо P_{cp} :

$$P_{cp1} = P_1 / F_1 = 1920 \cdot 9,80665 / 803,84 = 23,424 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp2} = P_2 / F_2 = 2300 \cdot 9,80665 / 844,53 = 26,707 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_{cp3} = P_3 / F_3 = 3140 \cdot 9,80665 / 1017,4 = 30,267 \text{ Н/мм}^2;$$

По формулі (12) знайдемо коефіцієнту напруженого стану n_σ :

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(32/35,5 - 1)^2 = 1,2004,$$

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(32,8/32 - 1)^2 = 1,2,$$

$$n_{\sigma 1} = 1,2 + 0,045(36/27,8 - 1)^2 = 1,2039.$$

Знайдемо σ_T ($\beta=1$) по виразу:

$$P_{cp} = \sigma_T \cdot n_{\sigma},$$

$$\sigma_{T1} = 23,424/1,2004 = 19,512 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T2} = 26,707/1,2 = 22,256 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{T3} = 30,267/1,2039 = 25,141 \text{ Н/мм}^2.$$

З урахуванням того, що $P_{cp} = \sigma_T \cdot n_{\sigma}$, та $f_{II} = f \cdot n_{\sigma}$, [1,2]
перетворюючи формулу (28) знайдемо коефіцієнт f :

$$f = (n_{\sigma} - 1)/(0,33 \cdot n_{\sigma} \cdot \frac{d}{h}),$$

$$f_1 = (1,2004 - 1)/(0,33 \cdot 1,2004 \cdot \frac{32}{35,5}) = 0,5613,$$

$$f_2 = (1,2 - 1)/(0,33 \cdot 1,2 \cdot \frac{32,8}{32}) = 0,4928,$$

$$f_3 = (1,2039 - 1)/(0,33 \cdot 1,2039 \cdot \frac{36}{27,8}) = 0,3964.$$

По формулі (30) знайдемо роботу деформації A :

$$A_1 = 28260 \cdot 23,424 \cdot \ln 40/35,5 = 0,079 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_2 = 28260 \cdot 26,707 \cdot \ln 40/32 = 0,1684 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$A_3 = 28260 \cdot 28,260 \cdot \ln 40/27,8 = 0,3112 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

По формулі (11) знайдемо показник тертя:

$$f_{п1} = 0,5613 \cdot 1,2004 = 0,6738,$$

$$f_{п2} = 0,4928 \cdot 1,2 = 0,5914,$$

$$f_{п3} = 0,3964 \cdot 1,2039 = 0,4772.$$

По формулі (10) знайдемо дотичне напруження по всій контактній поверхні:

$$\tau_1 = 0,6738 \cdot 19,512 = 13,148 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,5914 \cdot 22,256 = 13,161 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_1 = 0,4772 \cdot 25,141 = 11,997 \text{ Н/мм}^2.$$

2.4 Обробка та обговорення результатів досліджень

Аналізувати отримані дані я буду поступово, від отриманих даних при практичній роботі, переходячи до даних, отриманих теоретично. Задача роботи полягає в аналізі впливу технологічних факторів по величині сили і роботи осаджування.

Отримавши данні осаджування, побудуємо графіки залежності отриманих даних від ступені осадки. Всі графіки залежності можна розділити на дві групи, на перших побудовані криві з різними умовами контактного тертя (сухі та з додаванням мастил), на других криві з різними показниками залежності D/H (0,75; 1; 1,5).

Перша група дає поняття різниці між різними умовами тертя при однакових початкових форм зразків, від різних отриманих даних. Всі осаджені з приблизно однаковими ступенями осаджування ($\varepsilon=10\%$, $\varepsilon=20\%$, $\varepsilon=30\%$).

Друга група показує різницю кривих, (з різними D/H) залежності отриманих даних від ступені осаджування, при кожній окремій умові тертя.

На графіку (рис 2.14) побудована залежність сили P від ступені осадки ε , на сухих, обезжирених плитах, та з мастилами (вазелін, мастило на нафтовій основі з графітом).

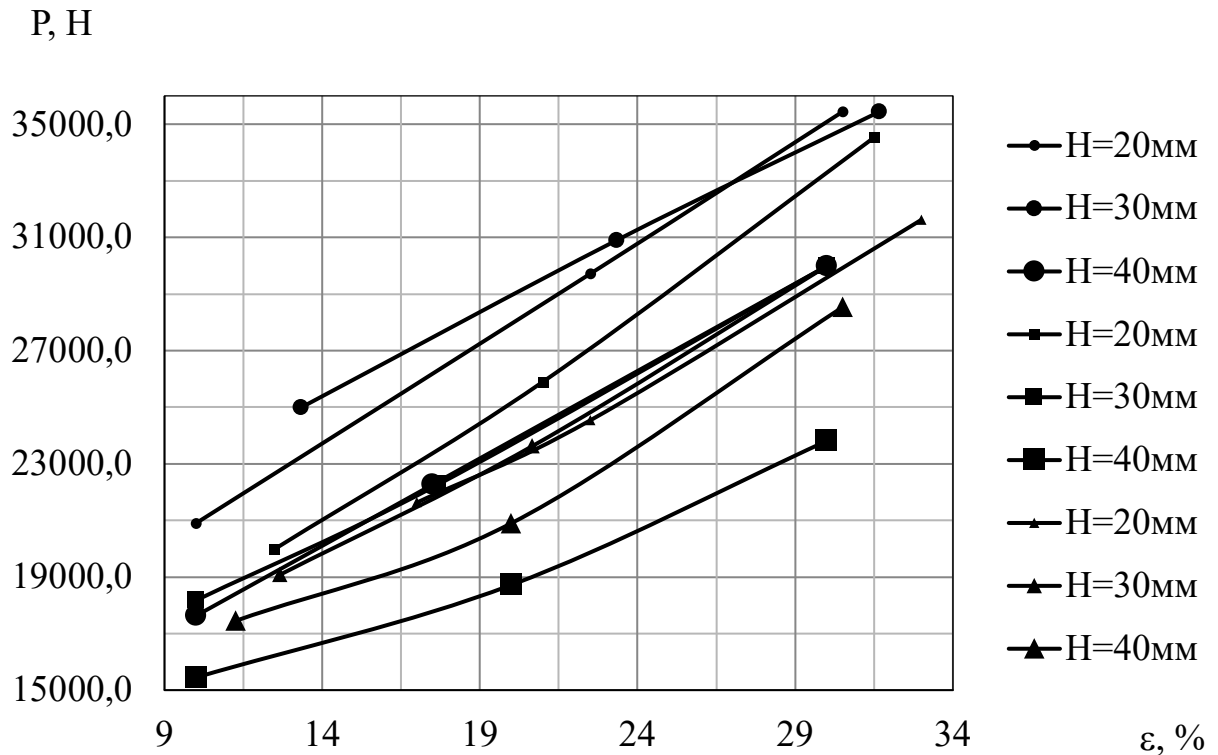


Рисунок 2.14– Графік залежності сили осаджування від ступеня осаджування. $D=30$, ● – на сухих обезжирених плитах; ■ – з змащуванням торців образцю вазеліном; ▲ – з нанесенням на торці образцю мастила на нафтовій основі з графітом

На графіку бачимо, що сила у всіх випадках, з збільшенням ступеню осаджування, зростає. З формули (24) відомо, що сила осаджування дорівнює середньому нормальному тиску P_{cp} помноженому на площину контактної поверхні. Тому розглянемо графік залежності площини контактної поверхні від ступеню осаджування (рис. 2.15). В цьому графіку також бачимо, що площа контактної поверхні постійно зростає. Це пояснюється теорією деформації.

З експериментальних даних відомо що площа контактної поверхні зростає повільніше ніж середня частина образцю, утворюється бочка, осаджування протікає не рівномірне.

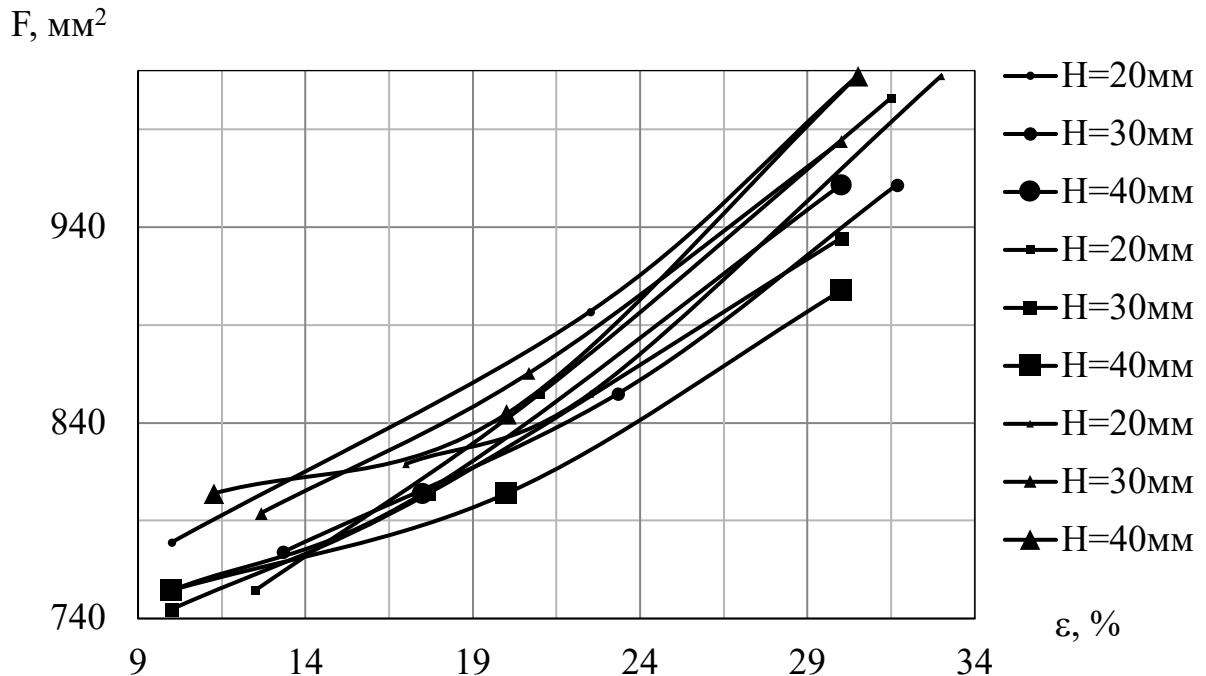


Рисунок 2.15 – Графік залежності площини контактної поверхні від ступеня осаджування. $D=30$, \bullet – на сухих обезжирених плитах; \blacksquare – з змащуванням торців образцю вазеліном; \blacktriangle – з нанесенням на торці образцю мастила на нафтовій основі з графітом

Це значить що на контактну поверхню постійно діють дотичні напруги тертя, які гальмують течію металу по контактній поверхні. З фотографій координатних сіток бачимо, що при цих ступенях осаджування, напливу бічних поверхонь на контактну не спостерігається.

Розглянемо графік залежності роботи осаджування A від ступені осаджування ε з різними умовами контактного тертя (рис 2.16-2.18). Кожен графік відображає окрему форму образці, відносини D/H дорівнюють 0,75; 1 та 1,5. На всіх графіках криві ведуть себе однаково, при збільшенні ступені осаджування робота росте. На графіках с відносинами D/H 1,5 та 1 сама

менша робота A спостерігається у зразків на торці яких було нанесено мастило на нафтовій основі с графітом. Середнє значення належало кривим зразків, на торці яких було нанесено вазелін і сама висока величина роботи належала до кривих, образці яких осаджували на сухих, обезжирених плитах. На графіку з відносинами $D/H=0,75$ криві, зразків які осаджувались з мастилами помінялись містами. Все це можна пояснити тим, що при зменшенні тертя зменшується робота на величину сили, необхідну для подолання тертя.

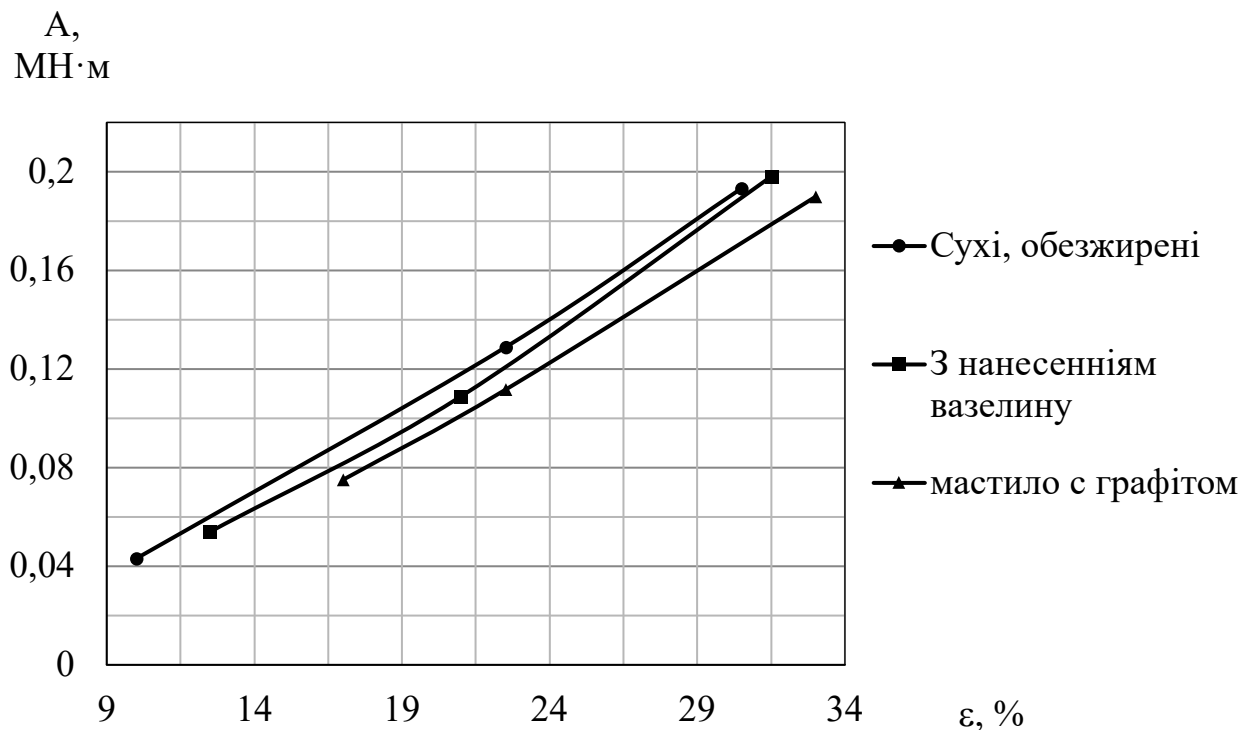


Рисунок 2.16 – Графік залежності роботи A від ступені осаджування з різними умовами контактного тертя при $D/H = 1,5$

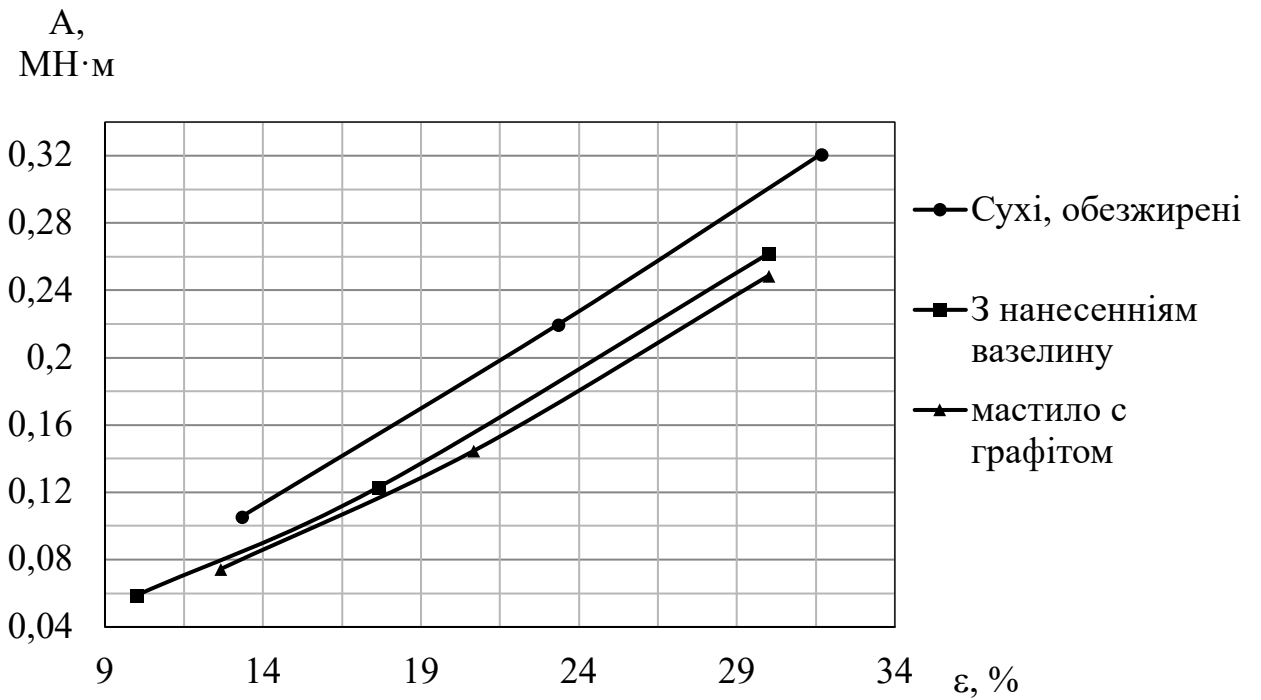


Рисунок 2.17– Графік залежності роботи А від ступені осаджування з різними умовами контактної тертя при $D/H = 1$

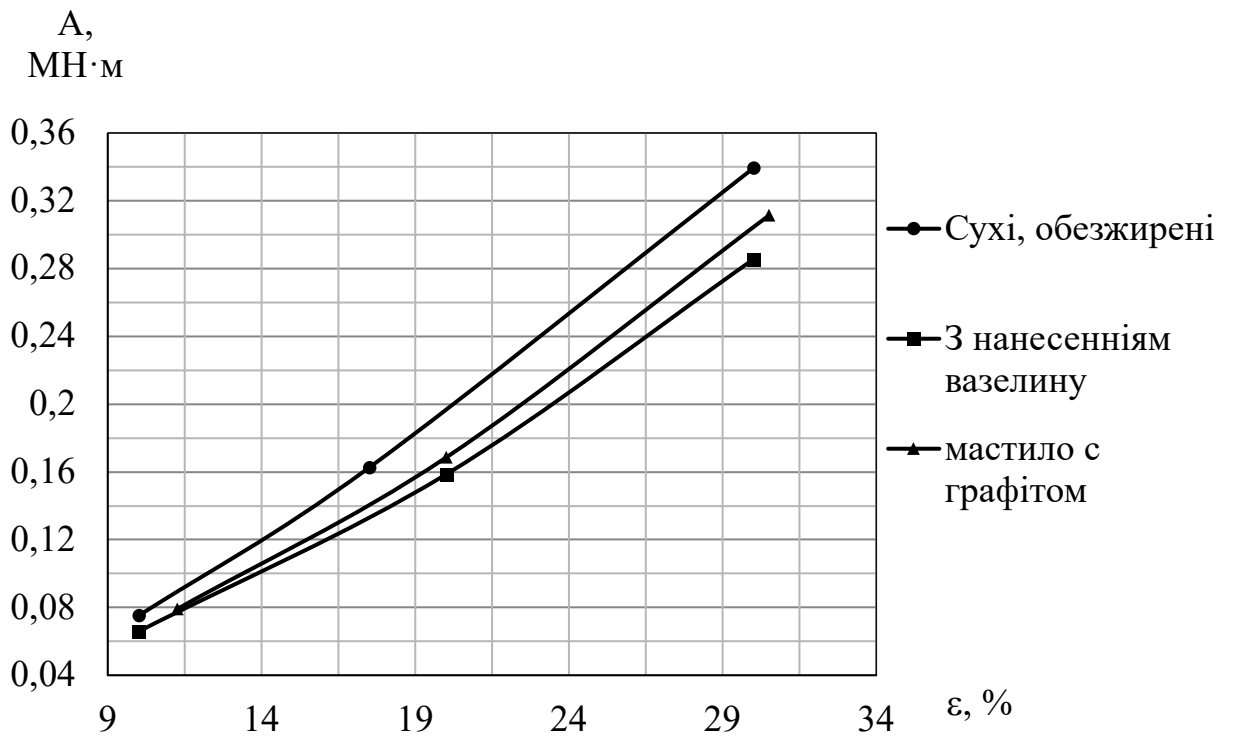


Рисунок 2.18 – Графік залежності роботи А від ступені осаджування з різними умовами контактної тертя при $D/H = 0,75$

Наступними графіками є залежність роботи осаджування A від ступені осаджування ε з різними залежностями D/H , кожен графік відображає різні умови тертя (рис 2.19-2.21). Всі криві ведуть себе однаково, з підвищенням ступені осаджування робота деформації росте. При всіх умовах контактного тертя величина роботи деформації найменша у кривих зразків з $D/H = 1,5$. Середнє значення роботи належить до зразків з $D/H = 1$ і найвище значення до зразків з $D/H = 0,75$. Така залежність пояснюється тим, що робота деформації залежить від об'єму заготовки і чим вище об'єм, при інших однакових факторах, тим вище робота.

З графіків залежності сили і роботи від ступені осаджування відомо, що всі криві при збільшенні ступені осаджування ростуть в гору, відомо також що сила росте зі збільшенням площини контактної поверхні.

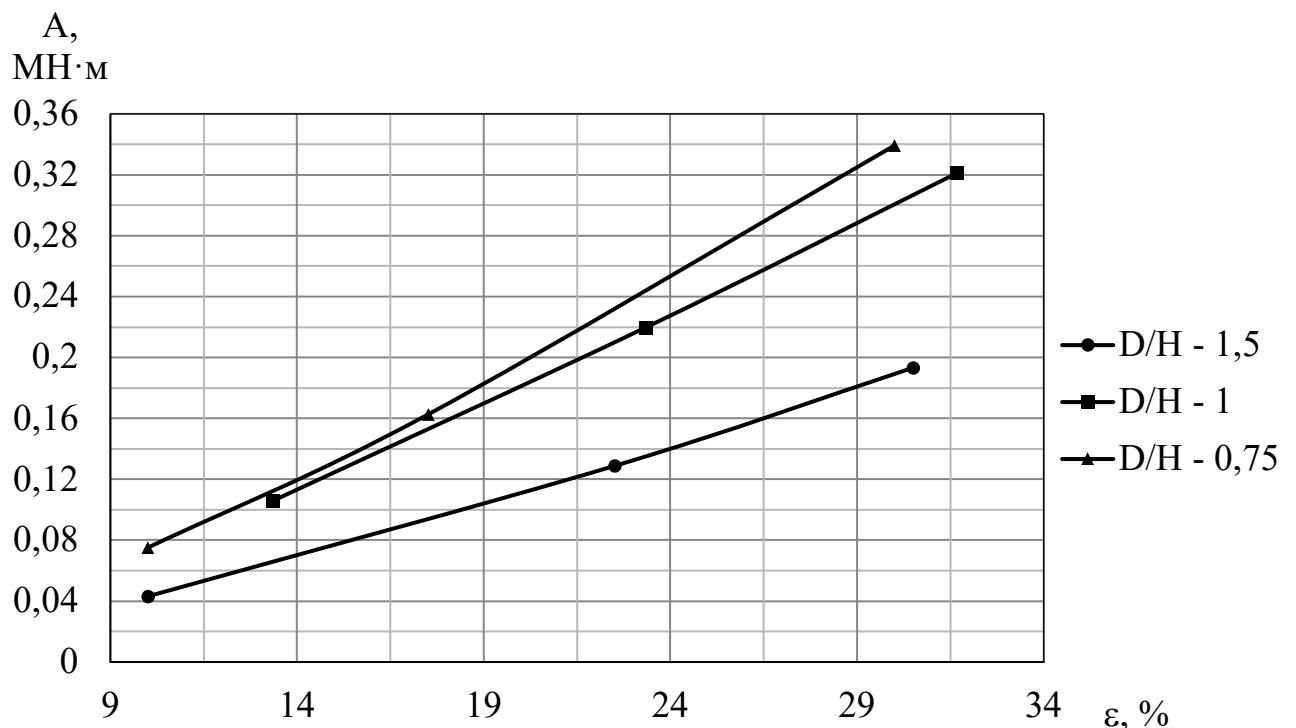


Рисунок 2.19 – Графік залежності роботи A від ступені осаджування ε на сухих, обезжирених плитах

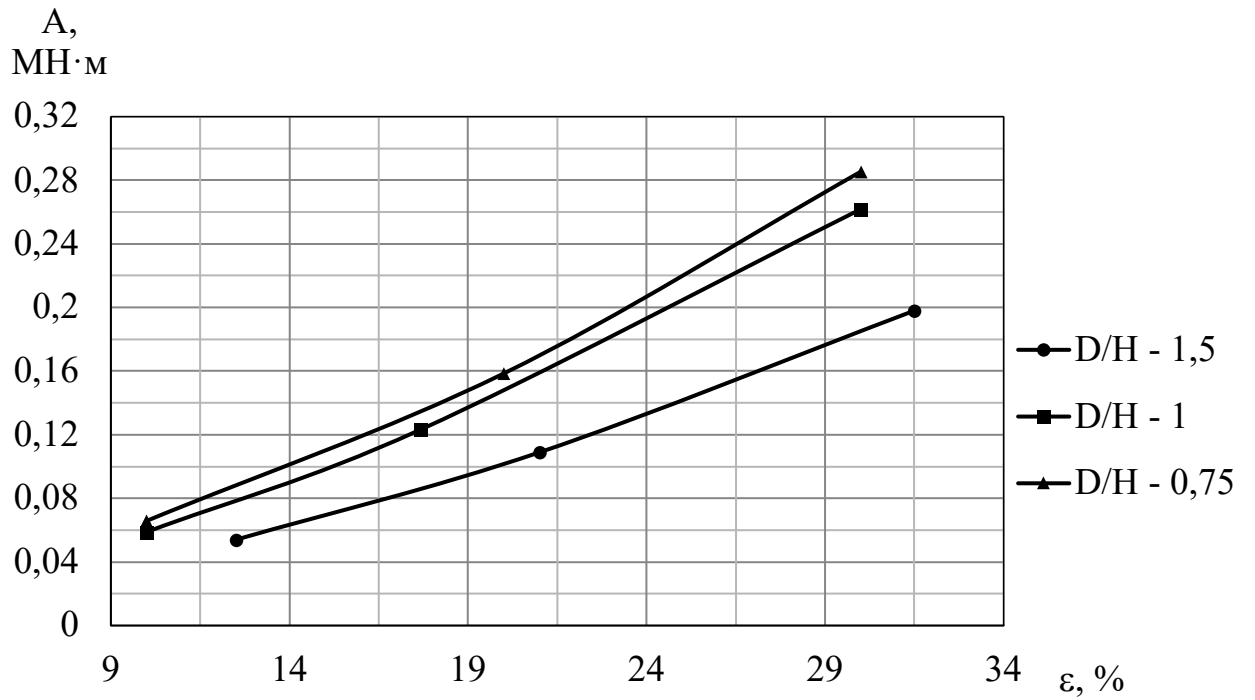


Рисунок 2.20 – Графік залежності роботи A від ступені осаджування ε зразків, торці яких змащували вазеліном

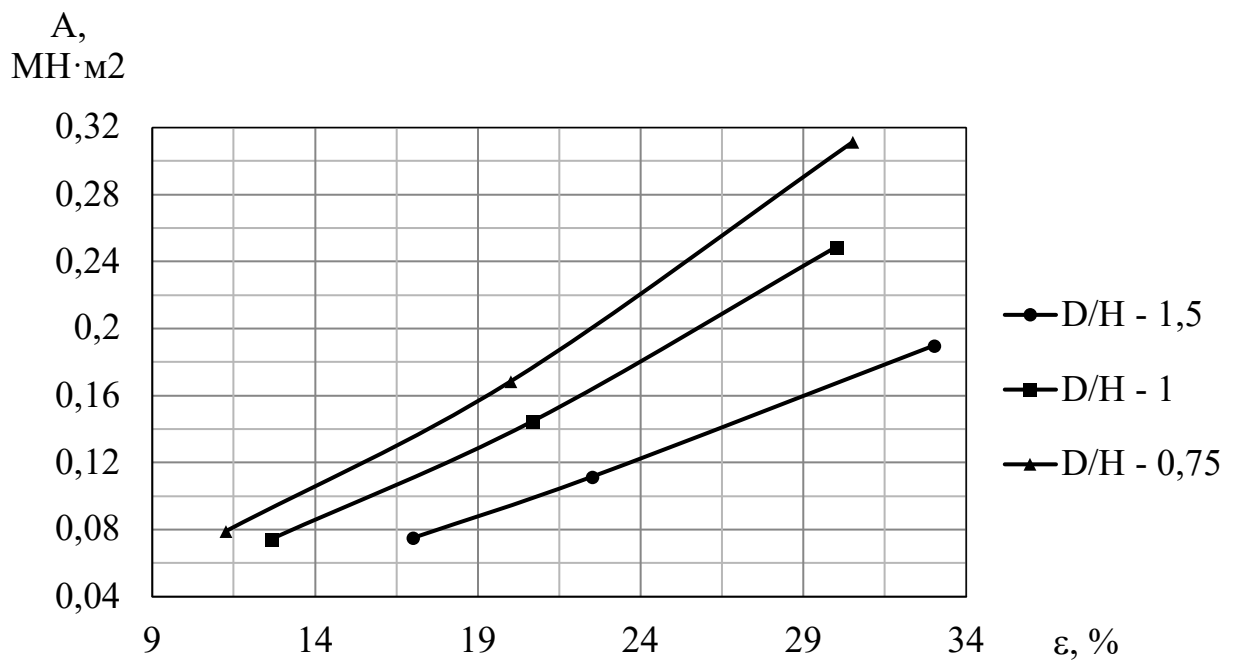


Рисунок 2.21 – Графік залежності роботи A від ступені осаджування ε зразків, на торці яких наносилось мастило на нафтовій основі з графітом

З формули (30) відомо що робота деформації залежить від об'єму, середнього нормального тиску P_{cp} та ступені осаджування. Далі розглядатиму які фактори впливають на величину P_{cp} .

На графіках (рис. 2.22-2.25) побудовані криві залежності P_{cp} від різного ступені осаджування ($\varepsilon=10\%$, $\varepsilon=20\%$, $\varepsilon=30\%$). На всіх графіках спостерігається однакова залежність. При збільшенні ступені осаджування середній нормальний тиск P_{cp} також зростає. Однак не однакою веде себе мастило при різних показниках D/H . При $D/H=1,5$ та $D/H=1$ криві розташувались таким чином (з низу в гору): с початку пролягає крива образцю, на торці якого було нанесено мастило з нафтової основи з додаванням графіту. На цьому образці найменший середній тиск. Потім розташувалась крива образцю, торці якого змащувались чистим вазеліном, його тиск був вищим, ніж крива, на образець якого було нанесено мастило з нафтової основи з додаванням графіту. І останнім розташувались криві зразків, які осаджувалися без змащування торців мастилами. При $D/H=0,75$ у образцю з мастилом на основі нафти і графіту середній тиск був вищим, ніж у образцю з вазеліном, але меншим ніж у образцю, який осаджували на сухих, обезжирених плитах (рис. 2.24).

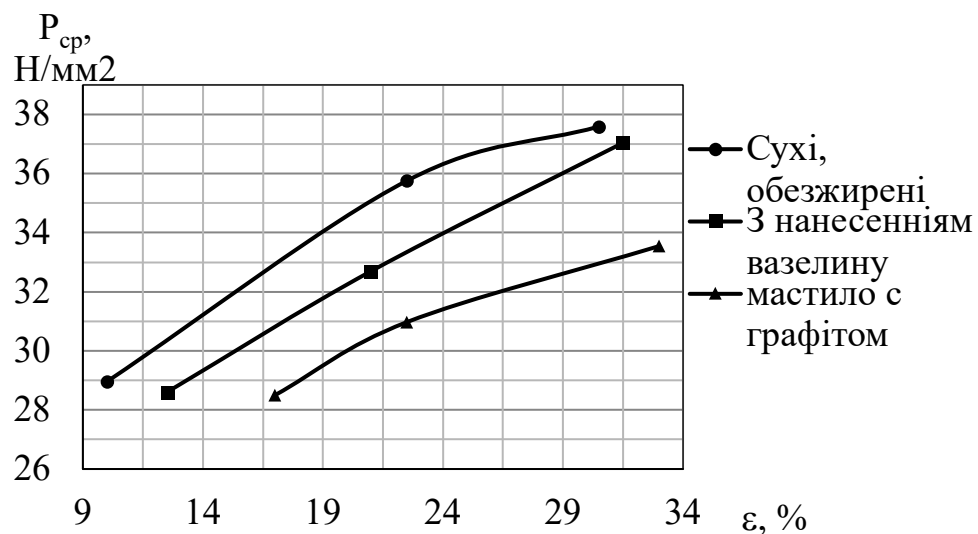


Рисунок 2.22– Графік залежності P_{cp} від ступені осаджування ε , зразків з різними умовами контактного тертя, при $H=20$, $D=30$

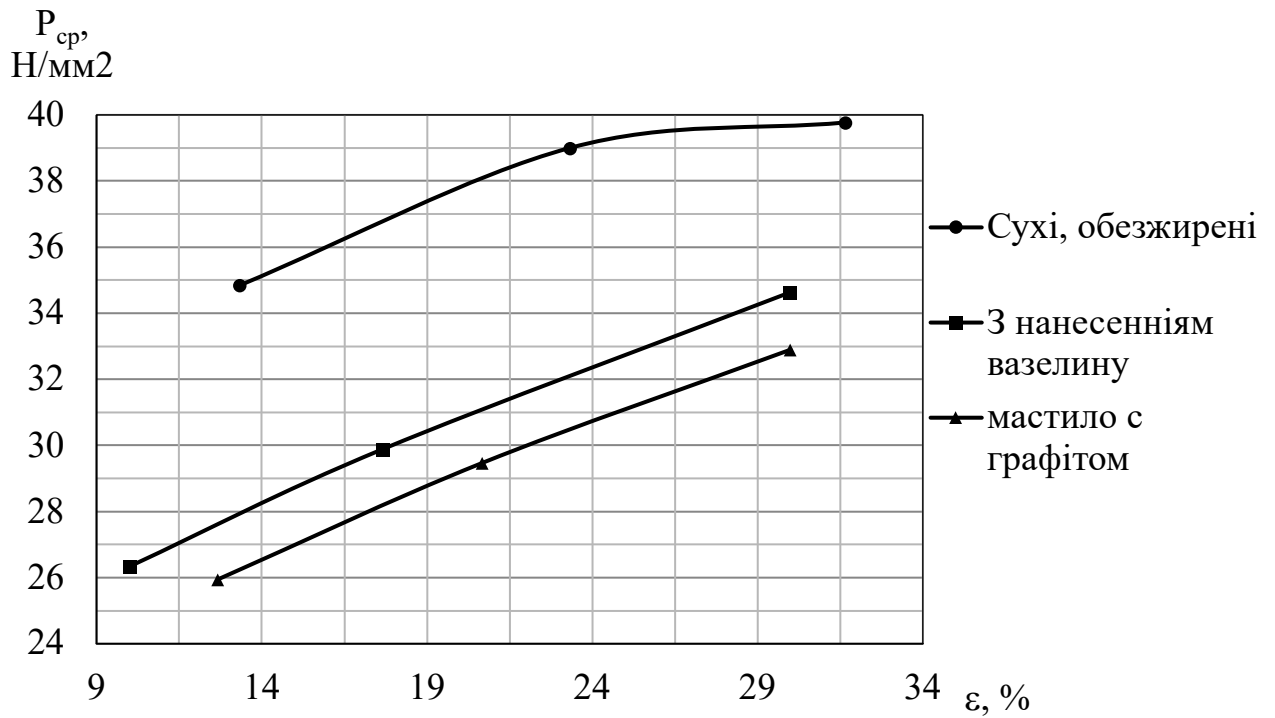


Рисунок 2.23– Графік залежності $P_{ср}$ від ступені осаджування ε , зразків з різними умовами контактного тертя, при $H=30$, $D=30$

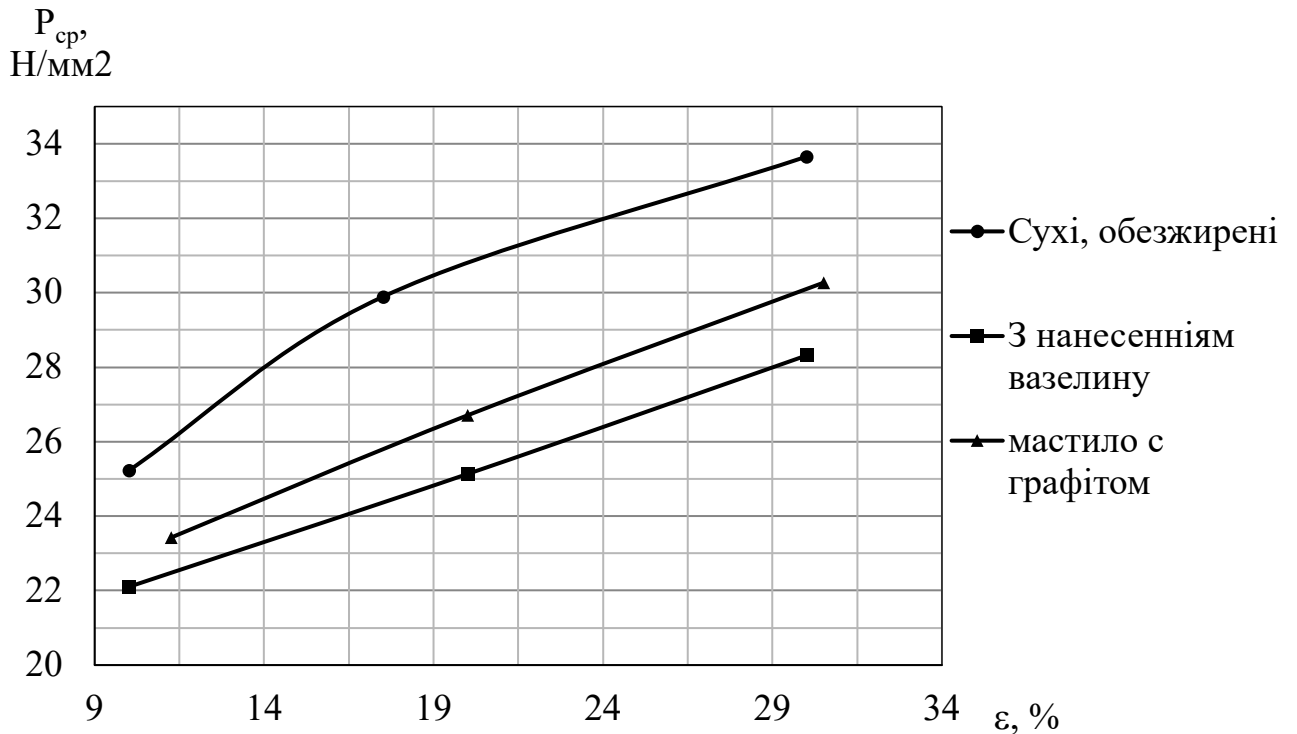


Рисунок 2.24– Графік залежності $P_{ср}$ від ступені осаджування ε , зразків з різними умовами контактного тертя, при $H=40$, $D=30$

Це можна об'яснити різними властивостями мастил. При більших навантаженнях тертя на мастилі з нафтової основи з графітом менше, ніж на вазеліні, при менших навантаженнях вазелін більш краще поліпшує тертя, дотичні напруги тертя зменшуються і як слід зменшується нормальний середній тиск. В'язкість нафтового мастила вище ніж вазеліну, тому при більших навантаженнях вазелін виштовхується з контактної поверхні.

Побудувавши графіки (рис. 2.25-2.27), ми бачимо, що середній нормальний тиск P_{cp} зростає лінійно з збільшенням ε ($\varepsilon=10\%$, $\varepsilon=20\%$, $\varepsilon=30\%$), при різних відношеннях D/H . Середній нормальний тиск змінюється однаково як при сухих плитах, так і з додаванням мастил. Це пояснюється зростанням площини контактного тертя, та зміцненням свинцю. При кожній зміні приконтактного середовища тертя, криві розташувались однаково (з низу в гору): з початку розташувалась крива з відношенням $D/H=0,75$, у цих зразків найменший середній тиск, потім крива $D/H=1$, вона розташувалась в середині, а самий великий середній тиск спостерігається в образцях з відношенням $D/H=1,5$. Таку черговість можна пояснити тим, що в образцях з меншим відношенням D/H зони дотичних напруг і як слід зони утрудненої деформації розташовані на більш далекій відстані між собою. Тоді як в більш низьких ці зони зближаються раніше, при цьому зростає середня дотична напруга і як слід середній нормальний тиск.

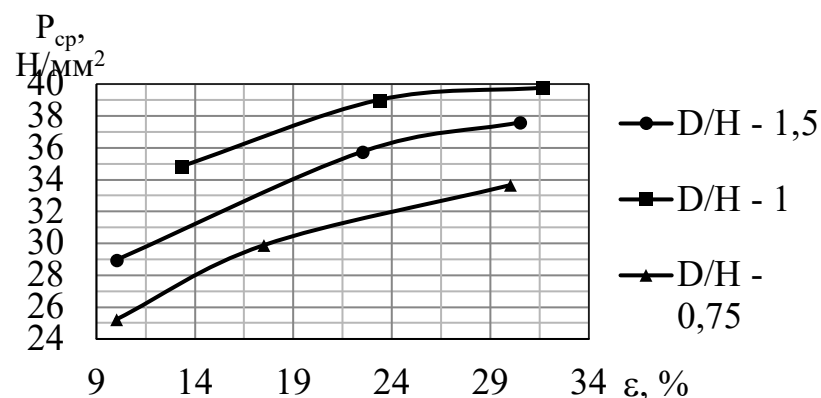


Рисунок 2.25 – Графік залежності P_{cp} від ступені осаджування ε , зразків з різними відношеннями D/H , на сухих, обезжирених плитах.

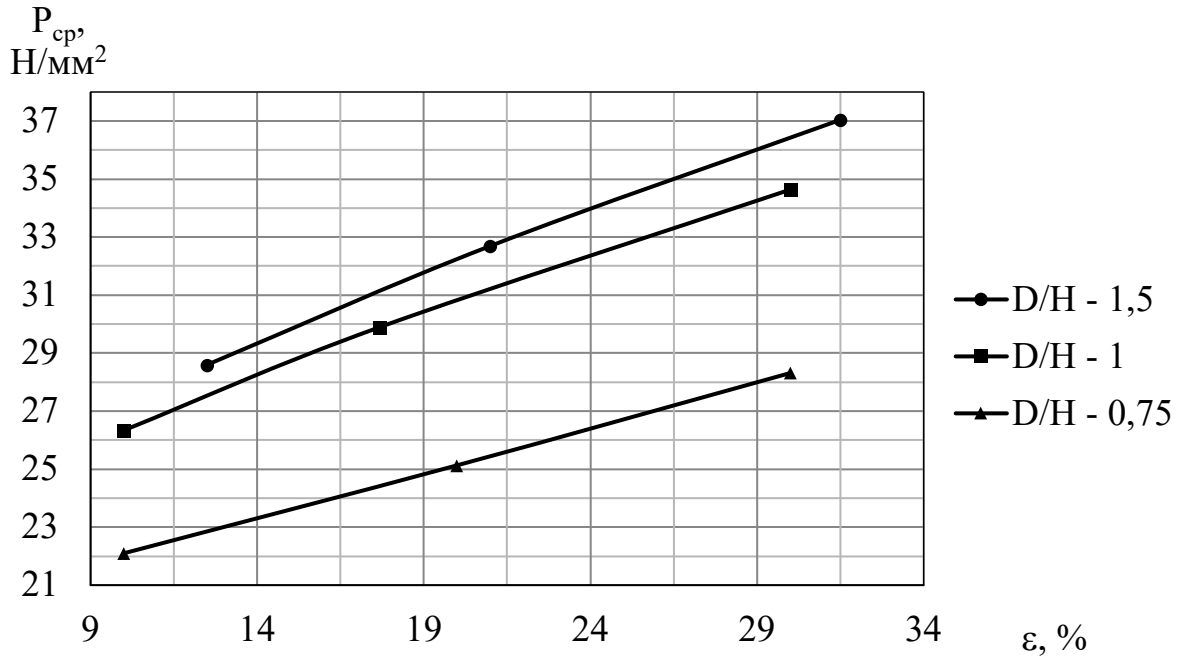


Рисунок 2.26– Графік залежності P_{cp} від ступені осаджування ε , зразків з різними відношеннями D/H , торці зразків яких змащувались вазеліном.

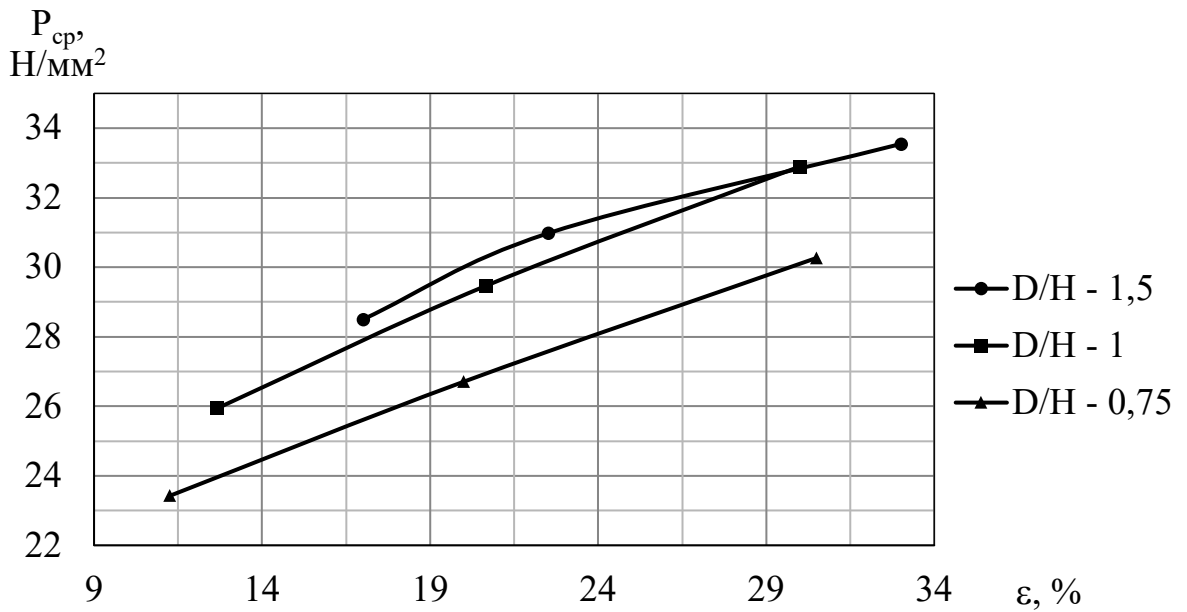


Рисунок 2.27 – Графік залежності P_{cp} від ступені осаджування ε , зразків з різними відношеннями D/H , на торці зразків яких наносилось мастило на нафтовій основі з додаванням графіту.

Опір металу деформації відноситься до механічних властивостей металу, його величина теж впливає на середній нормальний тиск і як слід на зусилля осаджування та роботу.

В роботі я використовував величину коефіцієнту Лоде $\beta=1$, тому величина опору металу деформації дорівнює межі текучості металу.

На графіках (рис. 2.28-2.30) побудовані криві залежності опору металу деформації σ_{ϕ} від ступені осаджування ε при різних значеннях D/H. На кожному з цих графіків порівняні криві з різними умовами тертя. На всіх графіках криві при всіх ступенях осаджування ростуть в гору, це вказує на те, що при всіх ступенях осаджування свинець зміцнювався. Беручи до уваги те, що швидкість стиснення на пресі не велика і по вимірюванням секундоміром дорівнювала $v_z=0,645\text{мм/с}$, свинець при кімнатній температурі повинен був піддатися рекристалізації. Пояснення цьому може бути описано двома причинами. По-перше, швидкість зміцнення випереджала швидкість рекристалізації, в друге при температурі в приміщені 16 °С, рекристалізація відбувалась повільно. По А.А. Бочвару рекристалізація чистого металу починається при $\sim 0,4T_{\text{пл}}$. Нажаль хімічний состав свинцю, використовуваного для експериментів, мені не відомо.

На графіках з відносинами D/H=1,5 та D/H=1 характер змін кривих однаковий. Найменшу величину опору металу деформації σ_{ϕ} при всіх ступенях осаджування ε мають криві, які осаджувались з нанесенням на торці мастила на нафтовій основі з графітом. Середнє значення σ_{ϕ} мають криві, які теж осаджувались з нанесенням мастила вазеліну і сама велика величина опору металу деформації була у кривих, які осаджувались без використання мастил. При використуванні мастил, зменшується контактна напруга тертя і напруга зрізу метала на контакті з інструментом. На графіку з D/H=0,75 при всіх ступенях осаджування найменший показник опору металу деформації належить до образцю торці якого змащувались вазеліном, середній показник належить до образцю з нанесенням нафтово-графітного

мастила і найвищі показники при осаджуванні на сухих обезжирених образцях. Це ще раз підтверджує аналіз графіку (рис. 2.24) залежності P_{cp} від ступені деформації ε , що на менших навантаженнях вазелін краще поліпшує тертя і тому зростання опору метала проходить повільніше.

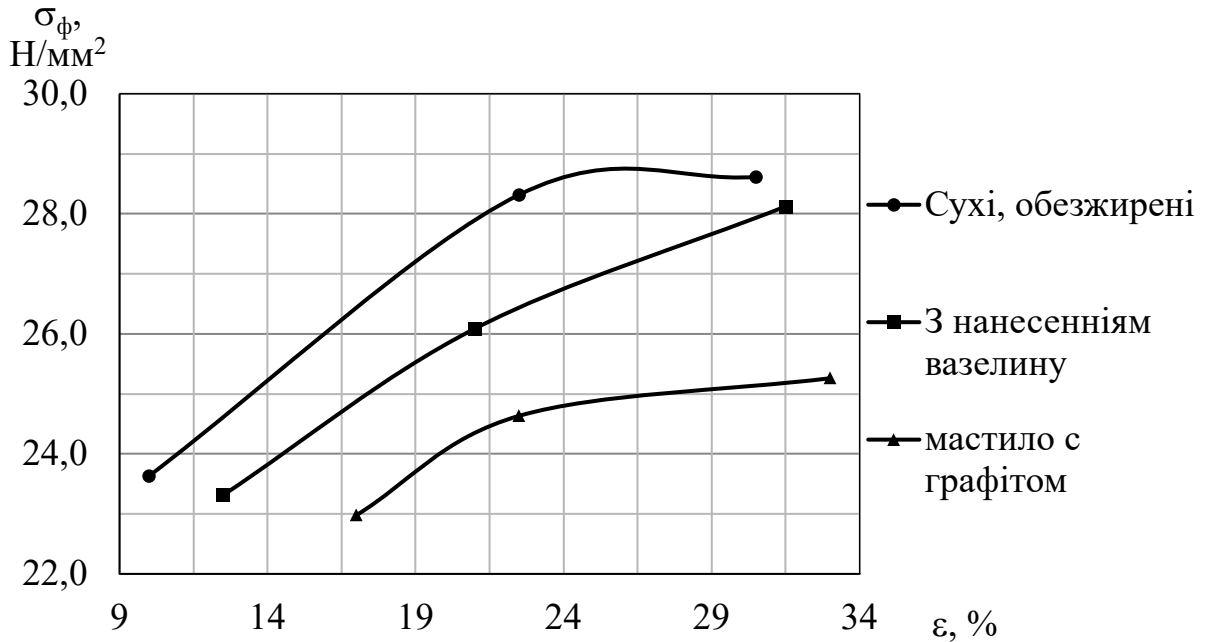


Рисунок 2.28– Графік залежності опору металу деформації σ_{ϕ} від ступені осаджування ε . $H=20\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

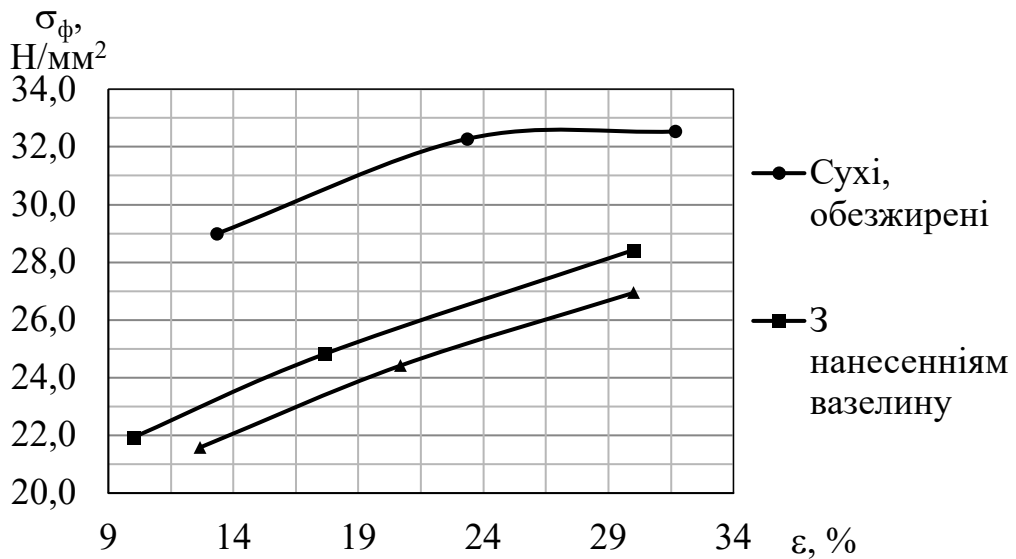


Рисунок 2.29 – Графік залежності опору металу деформації σ_{ϕ} від ступені осаджування ε . $H=30\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

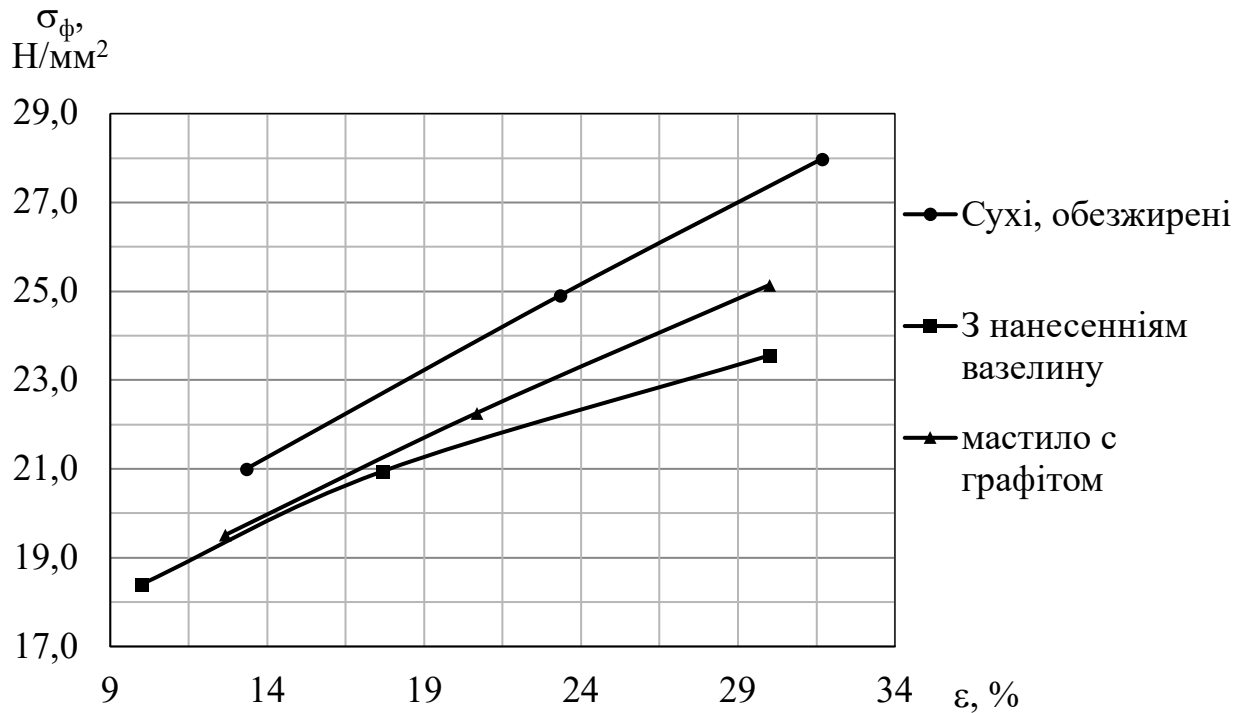


Рисунок 2.30 – Графік залежності опору металу деформації σ_ϕ від ступені осаджування ε . $H=40\text{мм}$, $D=30\text{мм}$

На графіках (рис. 2.31-2.33) побудовано порівняння відношення опору металу деформації σ_ϕ від ступені осаджування ε кривих з різними D/H . Кожен графік побудований з значеннями при різних умовах контактного тертя. На графіку осаджування на сухих, обезжирених плитах найменший показник опору металу деформації присутній кривій з відношенням $D/H=0,75$. Середнє та найвище значення належить до $D/H=1$ та $D/H=1,5$ відповідно. При розгляді цих кривих, звертається увага на характерну поведінку кривих, після проходження ступені осаджування $\varepsilon=20\%$, вони плавно вирівнюються і опір металу деформації майже не зростає, тільки крива високого образцю зростає більш лінійно. Це говорить про те, що при низьких заготовках зони утрудненої деформації знаходяться ближче друг к другу і при їх зближенні, при осаджуванні без змазки, величина середньої дотичної напруги зростає, тому що зменшується зона утрудненої деформації, і метал починає більш інтенсивно зміцнюватись в приконтатній зоні. На

графіках де образці які змащувались мастилами, криві ведуть себе однаково, всі криві зростають і при збільшенні ступеню осаджування зростає величина опору металу деформації.

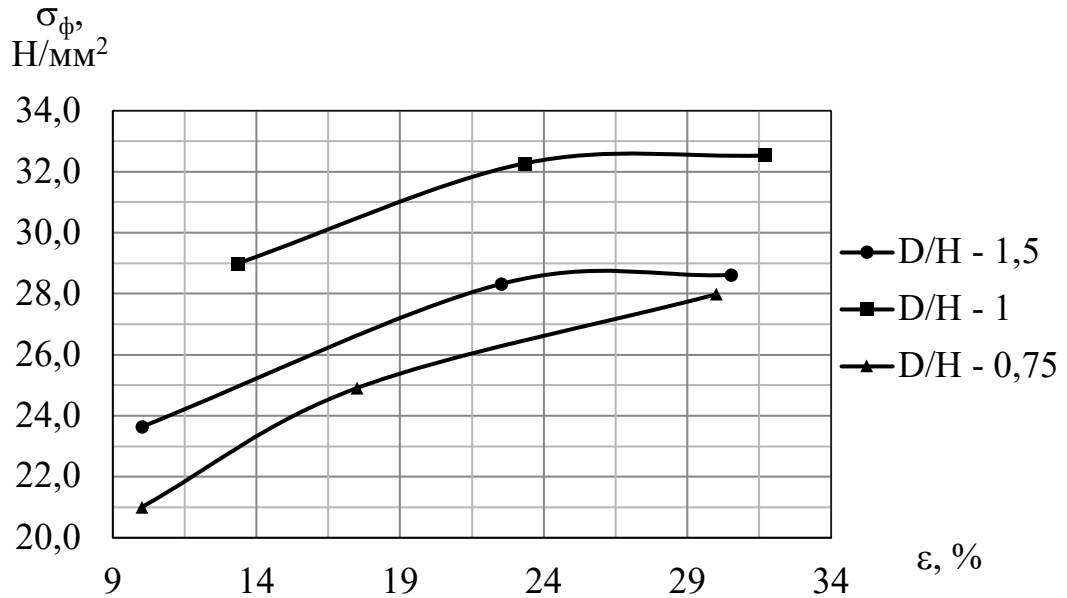


Рисунок 2.31 – Графік залежності опору металу деформації σ_{ϕ} від ступені осаджування ε на сухих обезжирених плитах при різних відносинах D/H

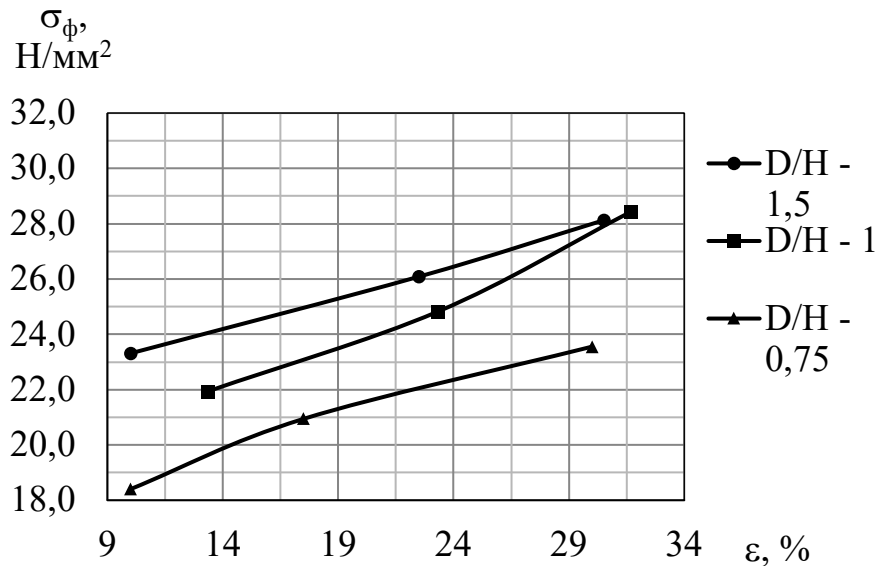


Рисунок 2.32 – Графік залежності опору металу деформації σ_{ϕ} від ступені осаджування ε з змащуванням торців образцю вазеліном при різних відносинах D/H

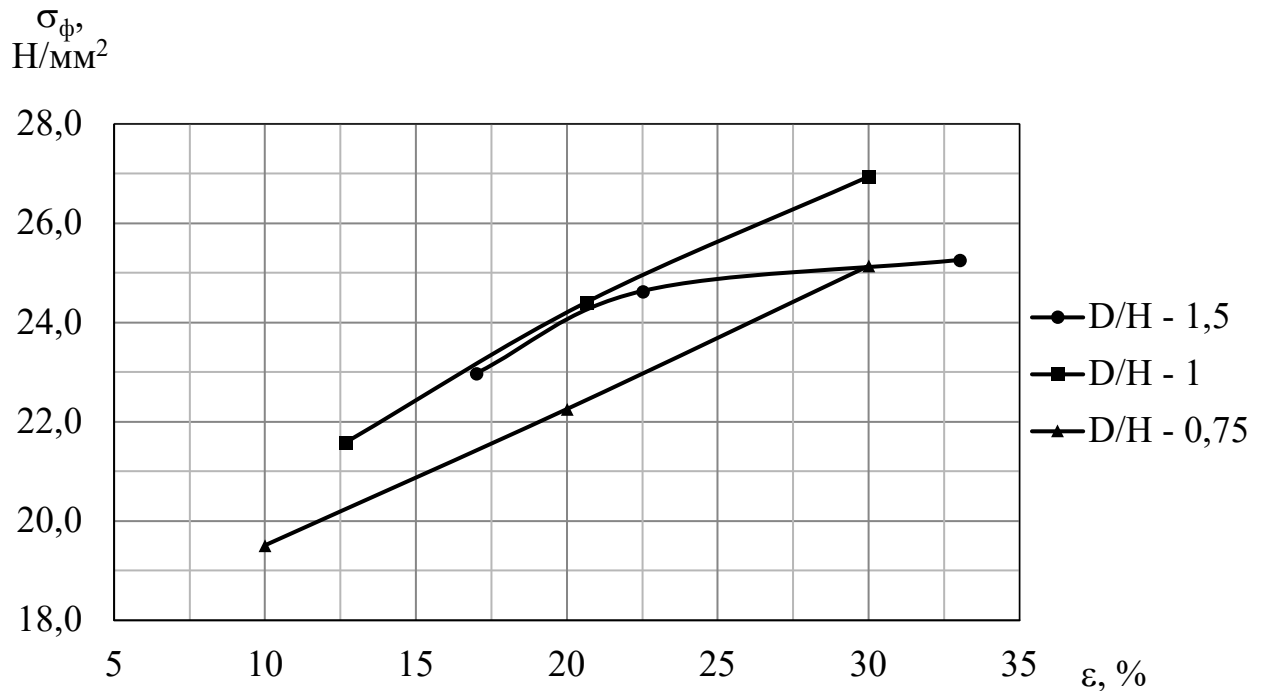


Рисунок 2.33 – Графік залежності опору металу деформації σ_ϕ від ступені осаджування ε з нанесенням на торці образцю мастила на нафтовій основі і графітом при різних відносинах D/H

Найнижче значення опору металу деформації мають високі зразок, середнє значення зразок з відношенням $D/H=1$ і найвище значення у низьких зразків. Тут теж причиною таких різниць є різниці в відстані утруднених зон деформації, але при змащуванні торців мастилом, зони утрудненої деформації зменшуються і метал основного об'єму і приконтного слою більш рівномірно зміцнюється.

Розглянемо графіки залежності коефіцієнту тертя f від ступені осаджування ε (рис 2.34-2.36) при різних відносинах D/H з різними умовами приконтного середовища. На всіх графіках при збільшені ступеню осаджування коефіцієнт тертя зменшується. При цьому криві з відношенням $D/H=0,75$ та $D/H=1$ зменшуються лінійно, а $D/H=1,5$ після $\varepsilon = 20\%$ зменшується більш повільно. Це дуже не частий випадок і пояснити його однозначно дуже складно. Аналізуючи причину такої поведінки коефіцієнту

тертя можна допустити, що причина полягає у стані контактної поверхні проміжних плит, на яких проводилась осаджування. Вони мають дуже зношену поверхню і мастило потрапивши в ці вибоїни в великому об'ємі зберігається там, та виходять менш повільно при невеликих ступенях осаджування. Такий процес може спостерігатись при осаджуванні з мастилами, але на сухих, обезжирених плитах також коефіцієнт тертя знижується. Тоді причиною зниження коефіцієнту тертя вважаю з'явлення в зоні утрудненої деформації, зони прилипання, в якій метал з'єднується з плитою до молекулярного з'єднання і контактне тертя в цій зоні дуже низьке, як слід середнє дотичне напруження з меншою швидкістю росте ніж зміцнення металу. Думаю при більшій ступені осаджування, коли метал дужче зміцниться і величина σ_f почне більш повільно рости, дотичні напруги збільшаться і зона утрудненої деформації почне зменшуватись швидше, крива зміниться і почне рости в гору. На графіках залежності (рис. 2.28) ми бачимо, що на зразках, де відносини D/H дорівнюють 1,5 (низькі образці) така залежність вже почалася, σ_f починає зменшуватись після ступені осаджування $\varepsilon=20\%$ і як слід на графіку залежності коефіцієнта тертя f від ступені осаджування ε (рис. 2.33), коефіцієнт тертя f теж починає вирівнюватись.

Для більш повного пояснення бажано провести осаджування на шліфованих плитах, для порівняння результатів і виявлення факторів які впливають на падіння коефіцієнту тертя.

Отримавши такі дані по коефіцієнту тертя, я допустив, що в розрахунку міг допустити помилку. При розрахунках для визначення коефіцієнту підпора я використовував формулу (12), а потім розраховував модуль текучості і коефіцієнт тертя. Для перевірки даних модулю текучості я взяв з експериментальних даних Тарновського [17], хочу підкреслити що вони не дуже відрізнялись від отриманих через формулу підпора (12) і їх значення були пропорційно нижчими. Розраховувавши коефіцієнт тертя і побудувавши

графік залежності від ступеня осаджування, я не отримав зростання (рис. 2.37), але коефіцієнт тертя був значно вищим. Це підтверджує правильність моїх розрахунків. Також я визначав межу текучості методом осаджування двох зразків. Дані не відрізняються (рис. 2.38).

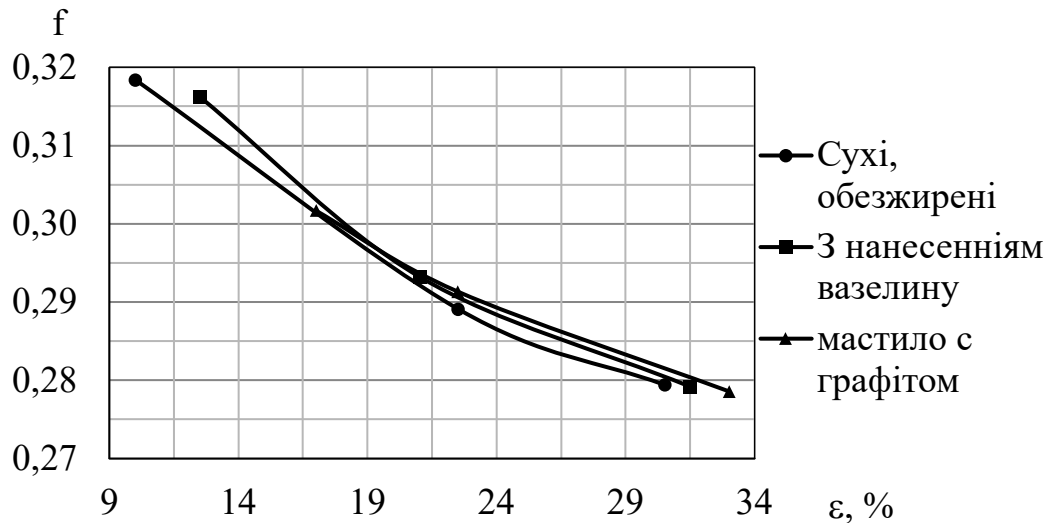


Рисунок 2.34 – Графік залежності коефіцієнта тертя f від ступеня осаджування ε при $H=20$, $D=30$

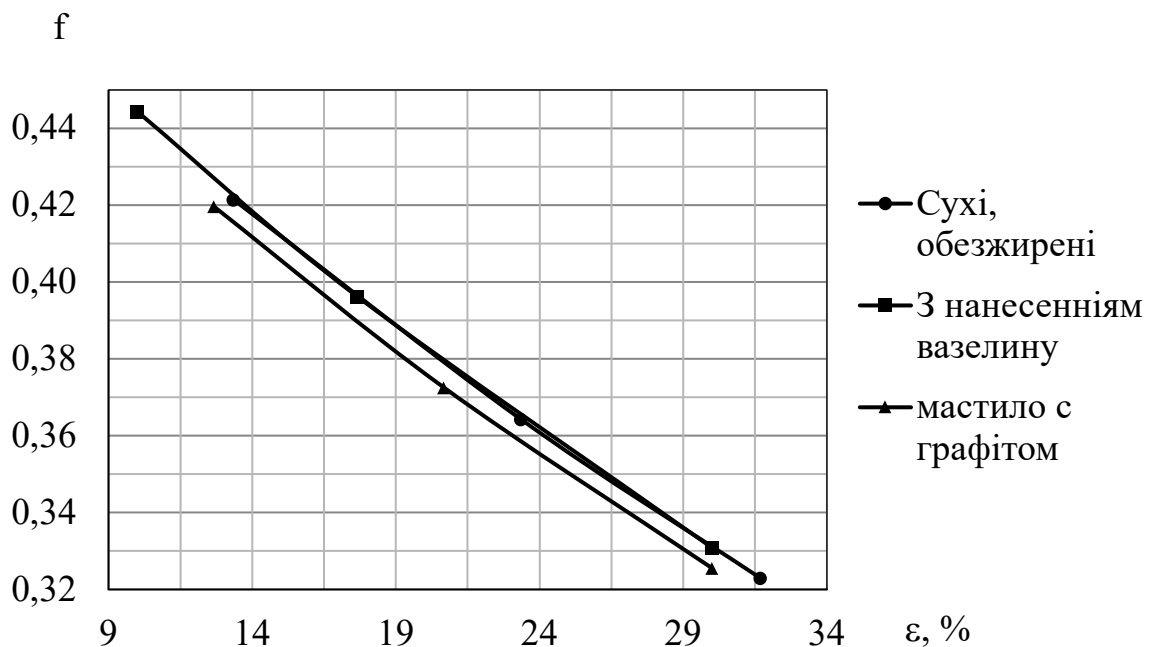


Рисунок 2.35 – Графік залежності коефіцієнта тертя f від ступеня осаджування ε при $H=30$, $D=30$

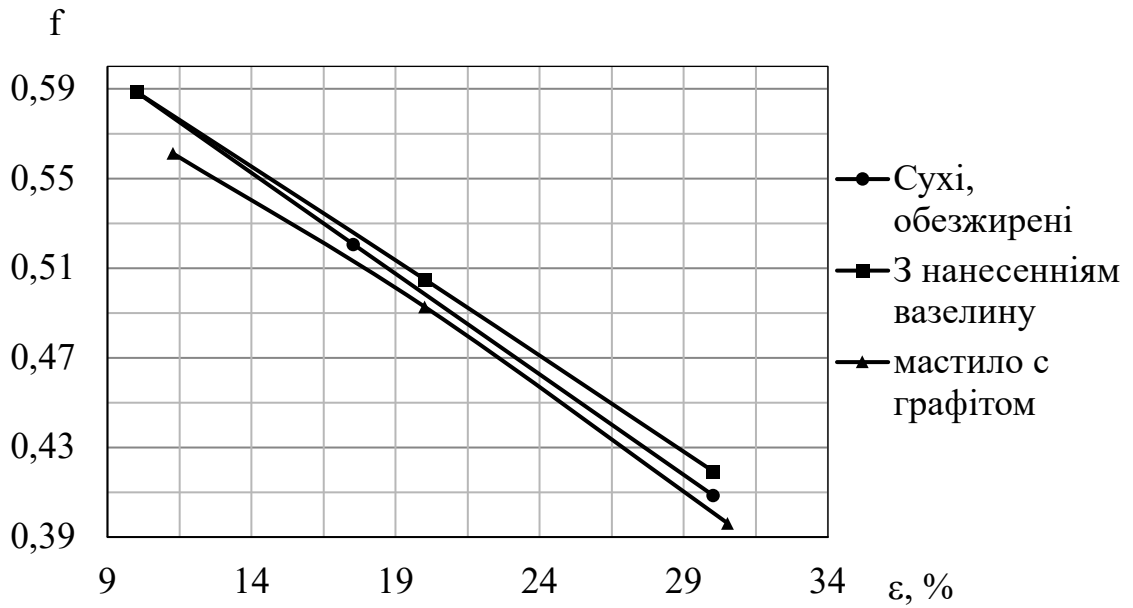


Рисунок 2.36 – Графік залежності коефіцієнта тертя f від ступеня осаджування ε при $H=40$, $D=30$

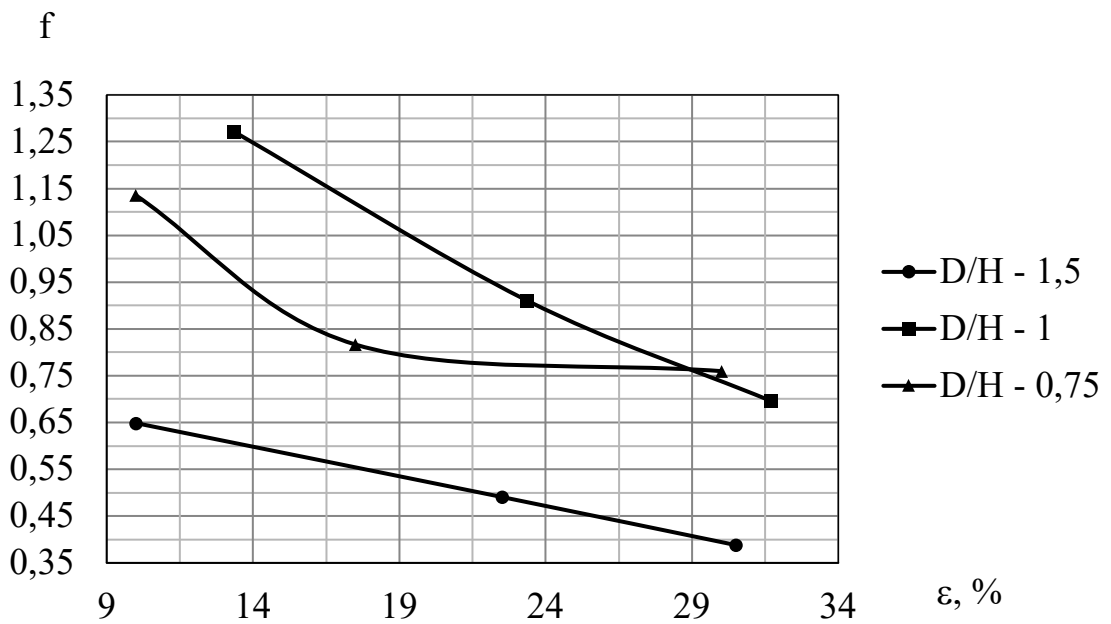


Рисунок 2.37 – Графік залежності коефіцієнту тертя від ступені осаджування на сухих обезжирених плитах. В розрахунку величина σ_T бралась з роботи

[17]

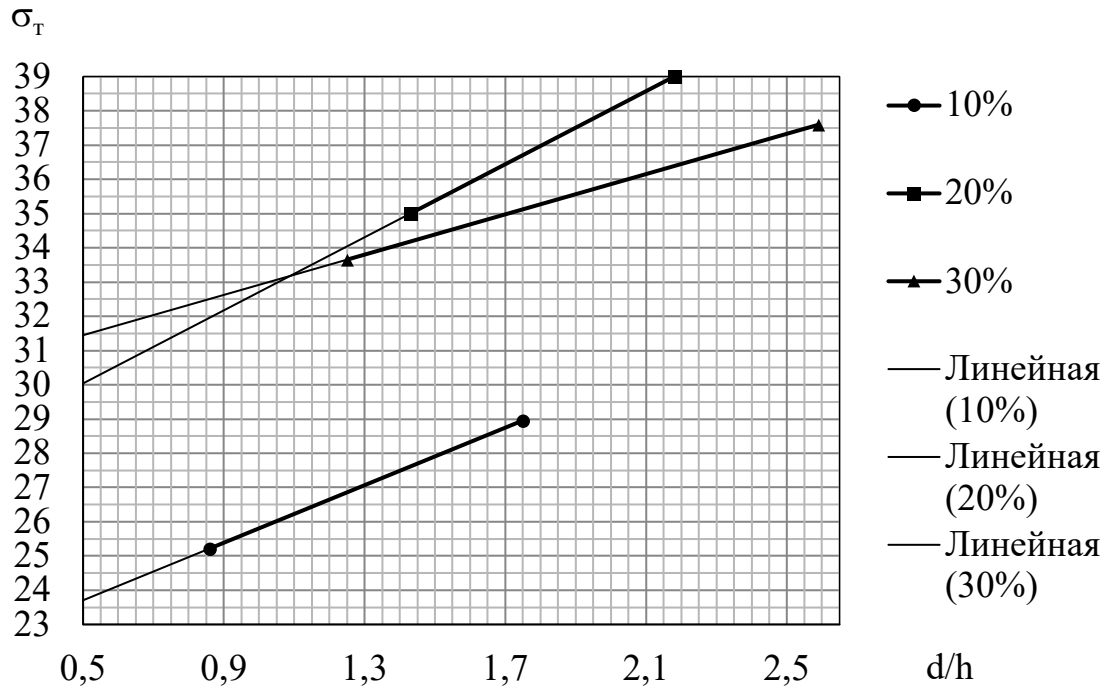


Рисунок 2.38 – Находження межі текучості методом осаджування двох зразків з однаковим обтисненням

На графіках (рис. 2.39-2.41) відношення коефіцієнту тертя від ступені осаджування. На кожному графіку порівняння кривих зразків з різними відношеннями D/H при різних умовах контактного слою. На всіх графіках характер кривих однаковий. Найменший показник коефіцієнта тертя належить до зразків де $D/H=1,5$ і ці криві більш повільно опускаються, середнє значення у кривих де $D/H=1$ і самий високий показник тертя у кривих з $D/H=0,75$. Два останніх більш стрімко опускаються чим перший. Така залежність спостерігається при всіх умовах контактного середовища. Пояснення цьому може бути відстанню між приконтактними зонами тертя. В більш низьких образцях, при однаковому діаметрі, зміцнення основного об'єму протікає швидше, при цьому росте тиск і контактні напруги. При більш високих образцях зміцнення протікає повільніше і контактні напруги зростають теж повільніше.

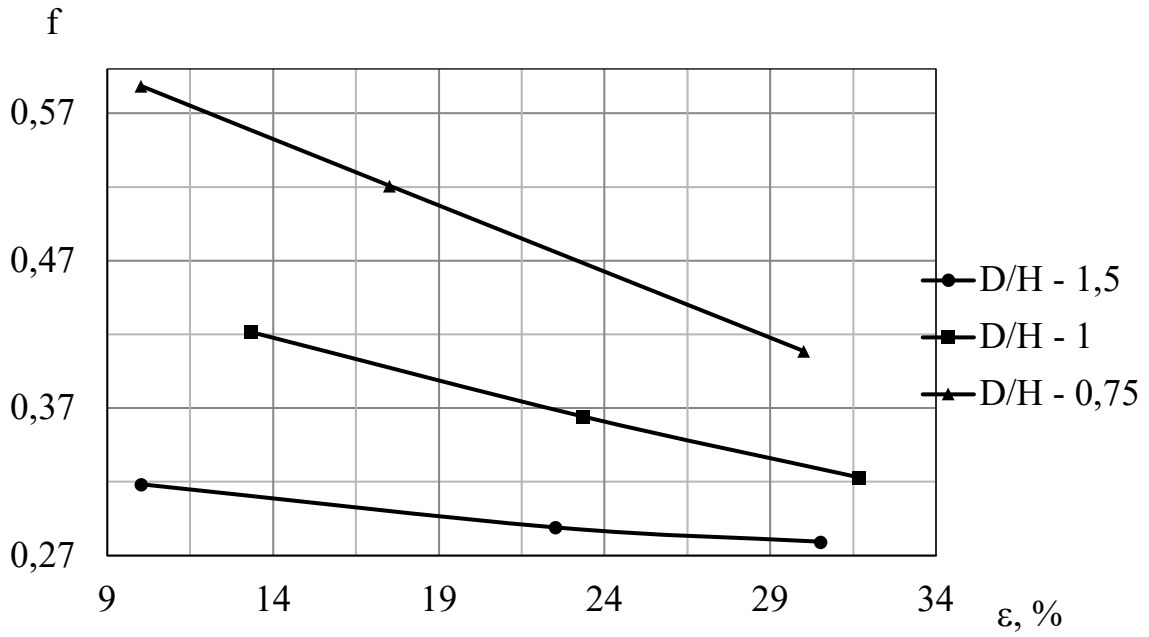


Рисунок 2.39 – Графік залежності коефіцієнту тертя f від ступені осаджування ε на сухих, обезжирених плитах

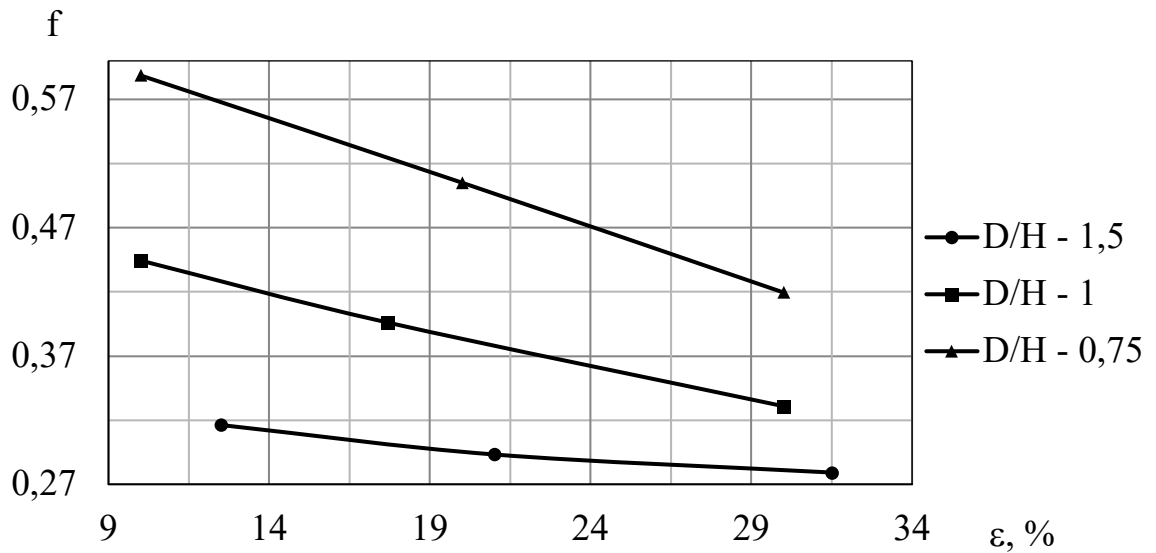


Рисунок 2.40 – Графік залежності коефіцієнту тертя f від ступені осаджування ε зразків, торці яких змащувались вазеліном

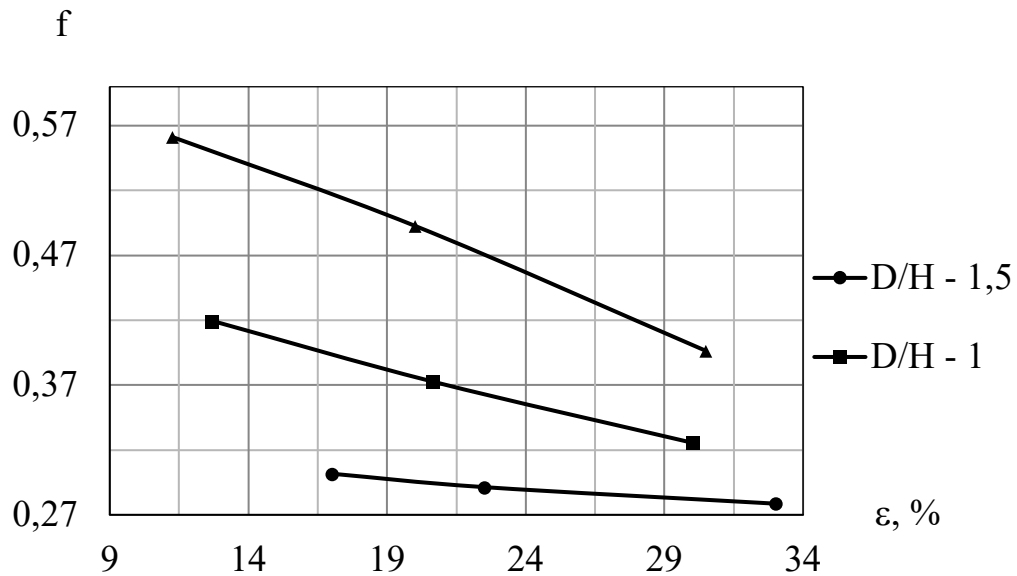


Рисунок 2.41– Графік залежності коефіцієнта тертя f від ступені осаджування ε зразків, на торці яких наносилось мастило на нафтовій основі з графітом

Після отриманих дивних даних по коефіцієнту тертя, який з збільшенням ступені осаджування зменшується і даних по межі текучості, які зростають, я розгляну як поводить себе дотичні напруги τ по всій площині торцю образцю.

На графіках (рис. 2.42-2.44) побудовані залежності дотичних напруг τ від ступені осаджування ε з різними умовами контактного тертя. Кожен графік відображає окрему відносину D/H . На графіку, де $D/H=1,5$ (рис. 2.42) всі криві з збільшенням ступені осаджування зростають, але крива, яка відображає образець який осаджувався на сухих, обезжирених плитах, після $\varepsilon=20\%$ починає повільніше зростати. Це відбувається тому що, зона застою зменшується і зона з більш зміцнілим металом в приконтактній зоні збільшилась і почала проковзувати. На кривих з мастилом цей процес йде повільніше, тому що метал основного об'єму і приконтактного слою більш рівномірно зміцнюються.

На графіку образцю з $D/H=1$ та $D/H=0,75$ (рис. 2.43, 2.44) на всіх кривих, з збільшенням обтиснення дотичні напруги зменшуються, завдяки

тому, що зміцнення проходить швидше, ніж зменшення зони утрудненої деформації.

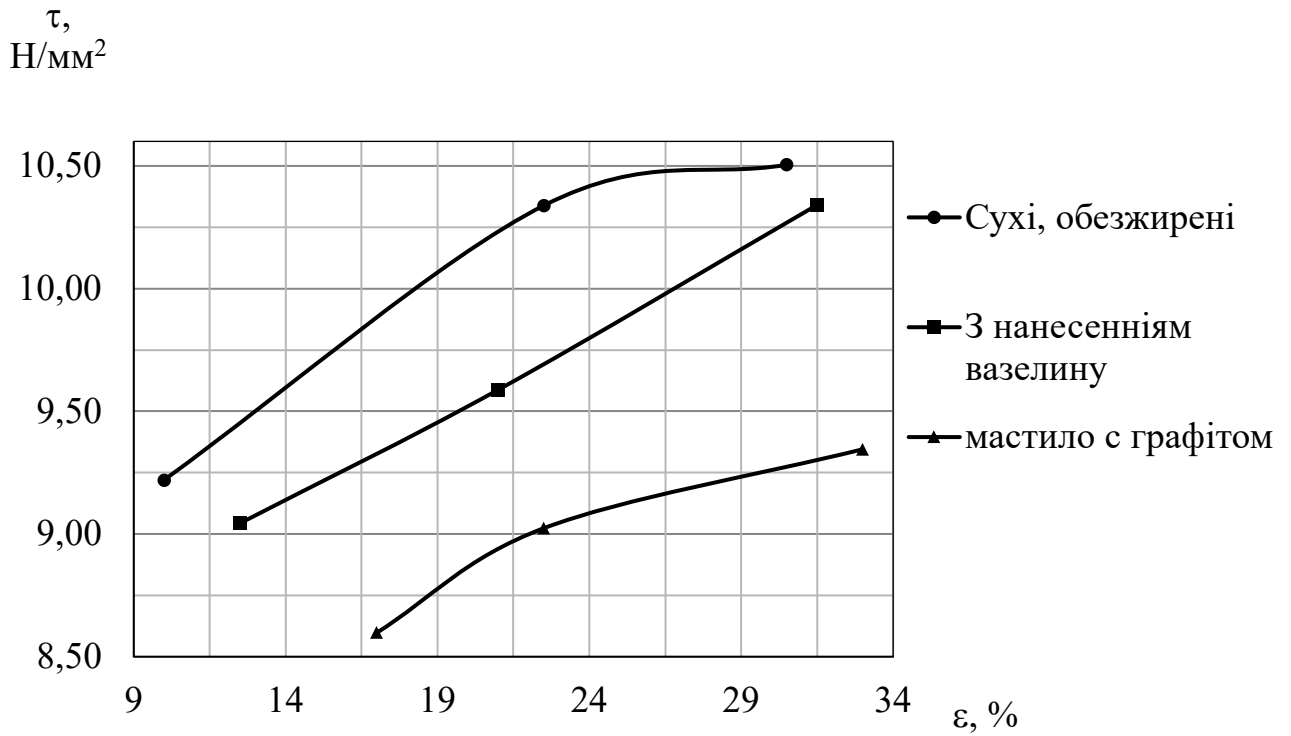


Рисунок 2.42 – Графік залежності дотичних сил напруження τ від ступеня осаджування ε при $D=30$, $H=20$

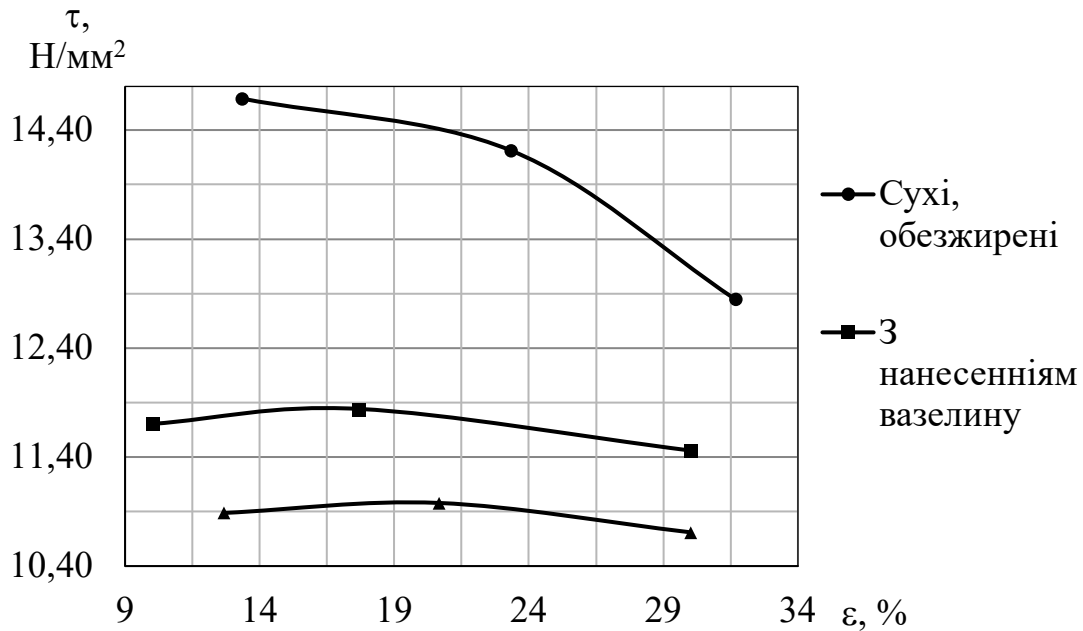


Рисунок 2.43 – Графік залежності дотичних сил напруження τ від ступеня осаджування ε при $D=30$, $H=30$

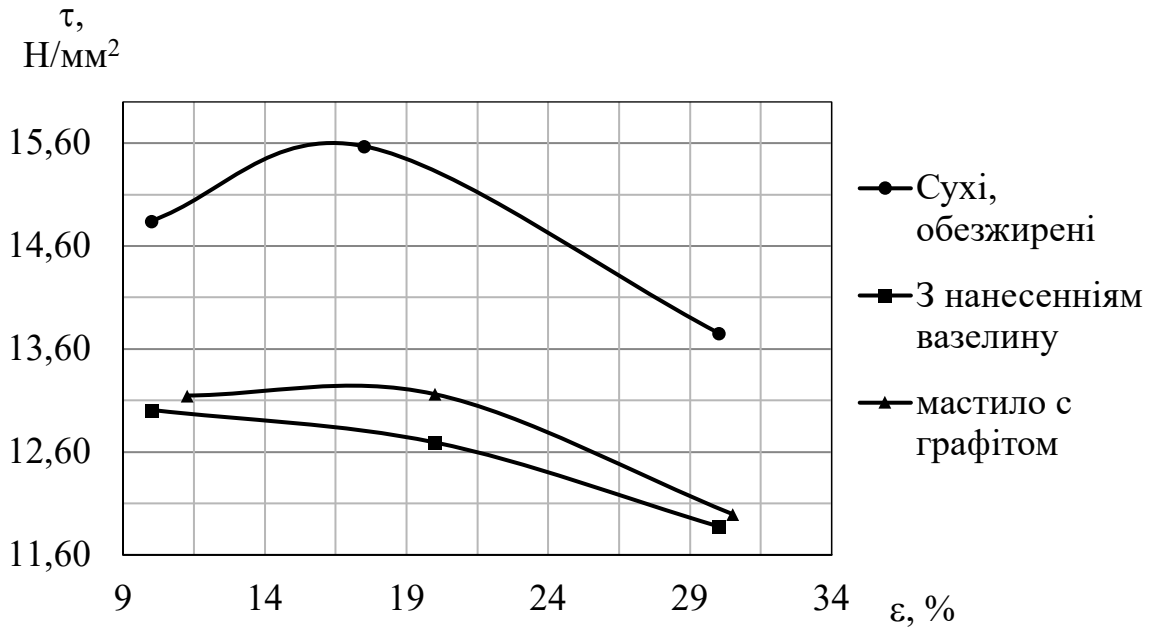


Рисунок 2.44 – Графік залежності дотичних сил напруження τ від ступеня осаджування ϵ при $D=30, H=40$

На графіках (рис 2.45-2.47) побудована залежність дотичних напружень τ від ступені осаджування при різних показниках D/H . Кожен графік відображає різні умови приконтного тертя.

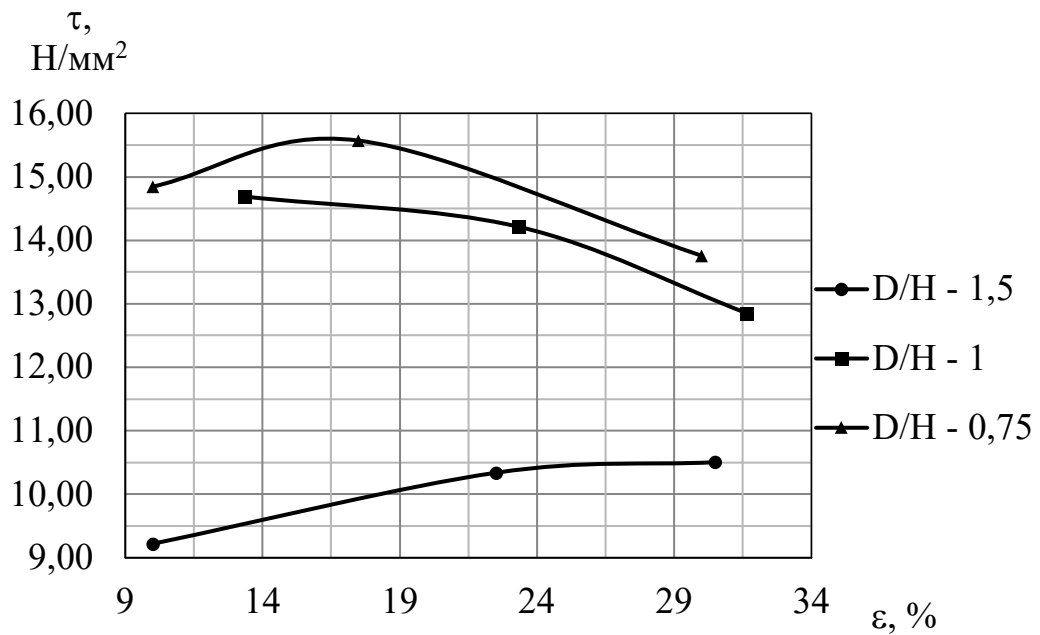


Рисунок 2.45 – Графік залежності дотичних сил напруження τ від ступені осаджування ϵ на сухих, обезжирених плитах

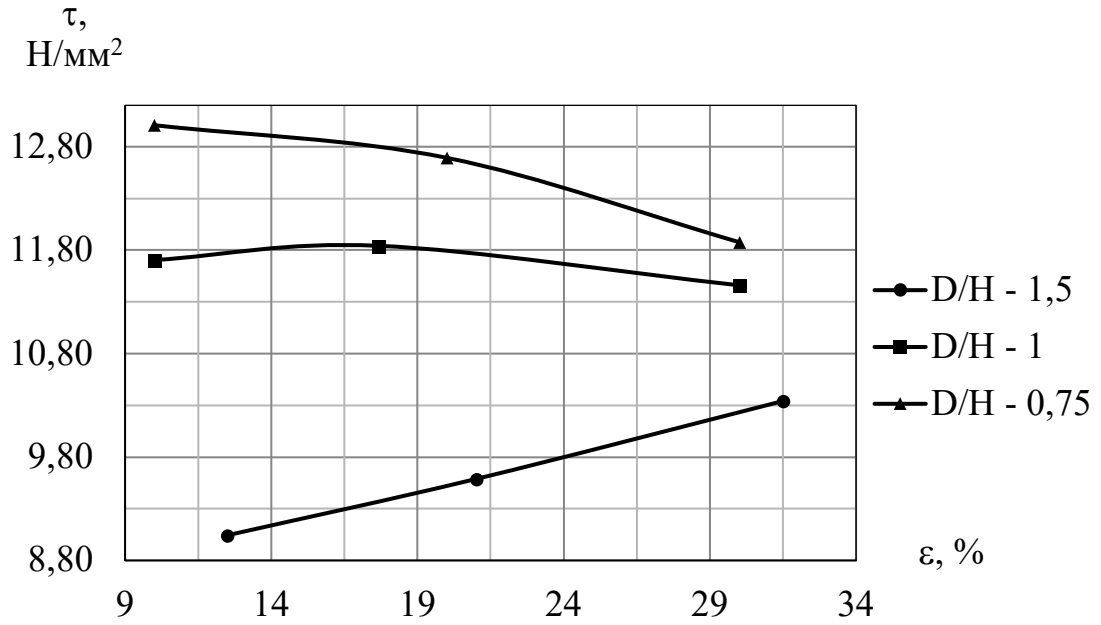


Рисунок 2.46 – Графік залежності дотичних сил напруження τ від ступені осаджування ε з змащуванням торців зразків вазеліну

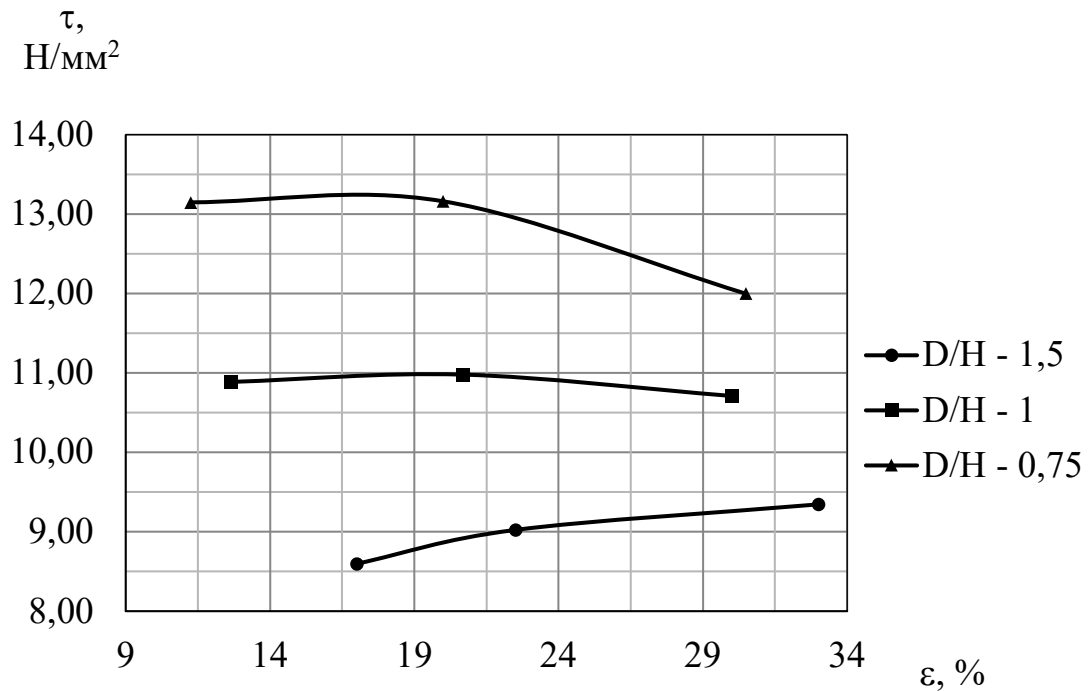


Рисунок 2.47 – Графік залежності дотичних сил напруження τ від ступені осаджування ε з нанесенням на торці зразків мастила на нафтовій основі з графітом

На всіх графіках характер зміни величини дотичних напружень від ступені осаджування однаковий. Найнижче значення у $D/H=1,5$, тому, що величина опору деформації вище ніж у вищих образцях. Середнє у $D/H=1$ і саме високе значення у $D/H=0,75$.

2.5 Пропозиції та заходи щодо вдосконалення процесу, технології, обладнання

Осаджування виконувалось на універсальній випробувальній машині УГ 20/2, на великому поршні, тому що маленький дає допустиму силу до 1тс. Висота зона осаджування дорівнює близько 2 метрів. Проводити осаджування на такій висоті, особливо з використанням проміжних плит, дуже незручно і небезпечно. В аудиторії 21 знаходиться ще один прес ПСУ 125, але він не коректно відображає зусилля. Для біль небезпечного та зручного проведення досліджень осаджування потрібно налагодити машину ПСУ 125. Ще одним недоліком УГ 20/2, якого нема у ПСУ 125, це люфт підйомного столу який допомагає образцю зсуватися в бік.

Для вироблення рівних половинок зразків, кокіль який є в наявності не підходить. Його осевий розріз проходить не по центру кокілю і під кутом, при цьому, коли покласти половинки зразків друг коло друга, їх різниця доходить до 3 мм. (рис. 2.48)



Рисунок 2.48 – Фото різниці двох половинок $D=30$ мм, $H=30$ мм

Після роз'єднання зразків на половинки, я побачив, що лінії, які проходять поперек осі образцю погано видно. Так вийшло, тому що вони йдуть поперек дії нормальних сил и їх більш сильно сплющує. Вони продивляються, але їх бажано робити більш глибокими.

Для більш повного аналізу впливу технологічних факторів бажано було ще вимірювати швидкість осаджування, але мені не вдалося точно вимірювати швидкість піднімання столу преса. Не зовсім зрозуміло було коли прес починав осаджування, тому, що спочатку плити пресу доторкалися до образцю я запускав секундомір, а потім виявилось, що є деякий люфт і осаджування починалося після проходження деякого часу після доторкання. Потім запускав по пристрою вимірювання, але своєчасно зупинити з закінченням осаджування було теж не можливо, тому що вимірювальний пристрій стояв в стороні, а я дивився за досягненням потрібної величина h . Вимірювання все ж робив, але тільки середнє для всіх зразків.

Для проведення більш кращих досліджень, думаю потрібно робити для кожного фактора окреме дослідження і робити по 5-6 зразків різного значення відношення D/H , та осаджувати не на три ступеня осаджування, а також на 5-6.

В наш час, коли прогрес ступив більш дальше, бажано оснастити обладнання електронними датчиками та можливістю підключати комп'ютер для виводу результатів на монітор. Мінімум, який потрібно, це: датчик швидкості пересузу стола, для точного визначення швидкості пересузу під навантаженням; датчик виміру навантаження; одноосний датчик визначення місця знаходження столу по осі y , для знаходження відстані від «0».

Висновки за розділом

Маючи всі результати експериментів, та побудувавши графіки залежності можна робити висновки які технологічні фактори і як впливають на величину сили і роботи.

В експерименті ми вимірювали силу осаджування P , але треба розуміти, що при однакових по формі зразках сила може відрізнитись, для цього силу розглядають в вимірюванні на 1 одиницю площини і позначають літерами P_{cp} . Тому і далі будемо розглядати середній нормальний тиск.

Першим фактором який впливає на величину середнього нормального тиску і з його зміною змінюється і величина P_{cp} це ступінь осаджування.

Зі зростанням ступені осаджування ε зростає площа контакту поверхні образцю і інструменту F і як наслідок зростають дотичні напруги τ і середній нормальний тиск P_{cp} . Також при зростанні величини ε зміцнюється метал об'єму образцю, що впливає на розмір зони застою. Зона застою зменшується, а зона з дотичними напругами, які мають максимальну величину збільшується і з нею збільшуються середній нормальний тиск і як наслідок сила P . При використанні змазок, обтиснення теж відіграє немалу роль. При збільшені обтиснення мастила швидше виштовхуються з контактної зони, росте тертя і середній нормальний тиск. При збільшені середнього нормального тиску, зростає робота деформації.

Наступним фактором, який впливає на величину сили і роботи є форма образцю. В осаджуванні циліндричних зразків прийнято позначати її як відносину D/H . При низьких образцях ($D/H=1,5$), при однаковому діаметрі, з

однаковим обтисненням, середній нормальний тиск має вищий показник. В низьких образцях відстань між приконтактними зонами менша ніж у високих і тому зони утрудненої деформації розташовані між собою на близькій відстані. При осаджуванні вони починають зменшуватись, а дотичні напруги тертя збільшуватись, тому і збільшується середній нормальний тиск. З зменшенням D/H збільшується зона утрудненої деформації, зменшуються дотичні напруги і збільшується величина P_{cp} .

При осаджуванні метала, по мірі підвищення ступені осаджування, його опір деформації росте σ_{ϕ} . Це можна пояснити наклепом (зміцненням) металу. При гарячій деформації одночасно з зміцненням проходить і рекристалізація (зворотній процес зміцненню). Величина зміцнення залежить від ступені деформації, а швидкість підвищується разом зі швидкістю деформації. При збільшенні величини опору металу деформації росте середній нормальний тиск.

Ще одним чинником, який впливає на середній нормальний тиск є швидкість. В роботі я нажалі не розглядав цей фактор, тому що проводячи експеримент не мав змоги осаджувати на обладнанні з більш швидким пересуванням робочого інструменту. Але хочу написати, що швидкість теж несе вплив на величину середнього нормального тиску, як відомо з [1] при збільшенні швидкості збільшується величина межі текучості.

При зміні температури нагрівом образцю, пластичні показники покращуються і величина межі текучості і міцності зменшується. Як відомо з експерименту, при менших показниках σ_T зменшується середній нормальний тиск.

Особливу роль в факторах впливу на силу і роботу при осаджуванні я відважу третю. Майже кожен чинник пов'язаний на пряму чи частково з тертям. При зміні величини сили, тертя може як зростати, так і зменшуватись. З отриманих даних експерименту, на тертя при осаджуванні впливають: використання мастил, фактор форми образцю (відносини D/H),

ступінь осаджування, хімічний стан металу (у різних металів різні значення опору металу деформації σ_{ϕ}). При осаджуванні на шорстких плитах з використанням мастил сила тертя значно відрізнялась від осаджування на сухих, обезжирених плитах і була нижче. Водночас з використанням при осаджуванні мастил з різними фізичними властивостями, величини дотичного напруження тертя теж змінювалась однаково при всіх показниках D/H, але по різному з різними ступенями осаджування. Як впливає фактор форми образцю (відносини D/H), ступінь осаджування, хімічний стан металу (у різних металів різні значення опору металу деформації σ_{ϕ}) описано вище.

І так, знаючи які фактори і як впливають на величину сили, можна всі ці фактори віднести до чинників які впливають на величину роботи. При осаджуванні з збільшенням середнього нормального тиску, при постійному об'ємі, збільшується робота деформації. Величина роботи також залежить від об'єму образцю і ступені осаджування. При збільшені об'єму, при однакових ступенях осаджування, величина роботи також збільшується, а при збільшені ступені осаджування, при постійному об'ємі, величина роботи зменшується.

Схематично залежність впливу технологічних факторів на величину сили і роботи представлена на рисунку 2.49.

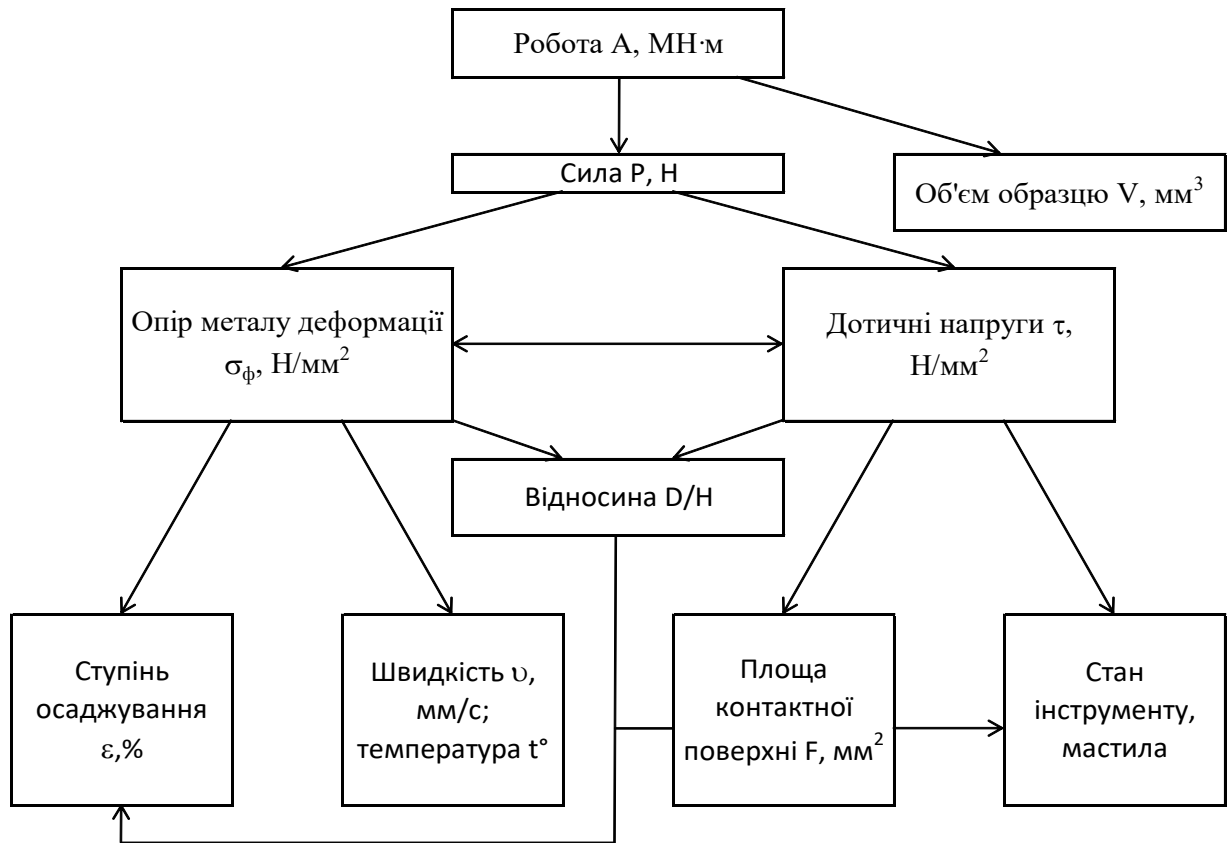


Рисунок 2.49 – Схема впливу технологічних факторів на величину сили і роботи під час осаджування циліндричних зразків

3 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

Економічні аспекти мотивують розробляти більш сучасні машини для обробки металів тиском та розробки нових технологій та вдосконалення тих, які несуть службу останні роки. Така мотивація дає користь як в економії енергоресурсів, зменшення собівартості, підвищення якості виробленої продукції, підвищенню фінансових доходів підприємств, конкурентоспроможності виробництва, підвищення людського ресурсу та авторитету підприємства і держави.

В нинішніх умовах, на підприємствах поділяють велику увагу економії, тому при виборі постачальника більшу перевагу приділяють постачальникам, які запропонують дешевше, якісніше і швидше.

Для зменшення собівартості продукції, яка виходить з ковальського цеху, потрібно більше уваги приділяти зменшенню нерівномірності осаджування, зменшенню споживання електроенергії, та підвищити ресурс обладнання, за рахунок меншого навантаження на обладнання з умов виробництва тієї ж продукції.

Величина сили і роботи напряму впливає на затрати електроенергії та ресурс обладнання. Знаючи яка потрібна сила для виробництва потрібних деталей, можна розрахувати потужність необхідної енергосилової установки. Якщо знати які фактори і як впливають на цю величину, можна підібрати режим осаджування з більш економічними показниками. Для зменшення сили і роботи і як слід зміни обладнання на обладнання з меншою потужністю і більш економічне, потрібно багато уваги поділяти таким показникам як: тертя, швидкість осаджування, температура, ступінь осаджування та форма заготівки.

Для зменшення тертя можна використовувати мастила, користуватися інструментами з достатньо гарною поверхнею, правильно підбирати фактор форми образцю. Мастила треба використовувати для кожного режиму більш

відповідні. Для невисокого обтиснення підійдуть мастила менш в'язкі, для обтиснення з більш затрачуваної силою, потрібно використовувати такі мастила, які мають властивість зберігатись в осередку деформації.

При проведенні експерименту величина сили при осаджуванні циліндричного образцю зі свинцю ($D=30\text{мм}$, $H=30\text{мм}$) на пресі с сухими, обезжиреними плитами зі ступеню осаджування $\varepsilon=10\%$, $\varepsilon=20\%$, $\varepsilon=30\%$ складала: $P=26968\text{ Н}$, $P=33343\text{ Н}$, $P=38246\text{ Н}$ відповідно (рис 2.23). Такий самий, за розмірами і металом образець осаджував на плитах з нанесенням мастила на нафтовій основі з додаванням графіту і при таких же ступенях осаджування, сила вже складала: $P=20594\text{ Н}$, $P=25497\text{ Н}$, $P=32361\text{ Н}$. Зусилля зменшилося на 24%; 23%, 15%. Якщо брати швидкість опускання інструменту преса і КПД однакове, то і потужність електричного двигуна також можна зменшити на 15%.

Зі зменшенням тертя процес осаджування, набуває більш рівномірний характер. При рівномірному осаджуванні величина бочки зменшується, а якість поковки покращується. На рисунку 3.1 показані фотографії осаджених зразків ($D=30\text{мм}$, $H=30\text{мм}$). На фотографії 1 сфотографована координатна сітка образцю, який осаджував на сухих, обезжирених плитах, на фотографії 2 сфотографована координатна сітка образцю, який осаджував з нанесенням на торці контактної поверхні мастила на нафтовій основі з додаванням графіту. При порівнянні фотографій бачимо, що на першому фото вертикальні лінії більш зсунуті по середині к краям образцю. Це вказує на те, що нерівномірність на першому образцю більша, ніж на другому, при цьому діаметр середньої частини теж більший. Метал, при цьому, в основному об'ємі деформувався не рівномірно і в різних точках поковки має різні механічні властивості.



1) на сухих, обезжирених плитах; 2) на плитах з мастилом.
 Рисунок 3.1 – Координатна сітка осаджених зразків на $\epsilon = 30\%$,
 $D = 30\text{мм}$, $H = 30\text{мм}$

При зменшенні бочки, поковка отримує більш циліндричну форму це дає змогу технологам зменшити потрібний об'єм заготовки і при подальшій обробці з меншими відходами отримати потрібну деталь (рис 3.2). Це напряду зменшую собівартість, тому як близько 80% собівартості заготовки в ковальському цеху складає ціна металу. З отриманням більш рівномірно осаджених поковок, готова продукція виходить дешевша і більш якісна

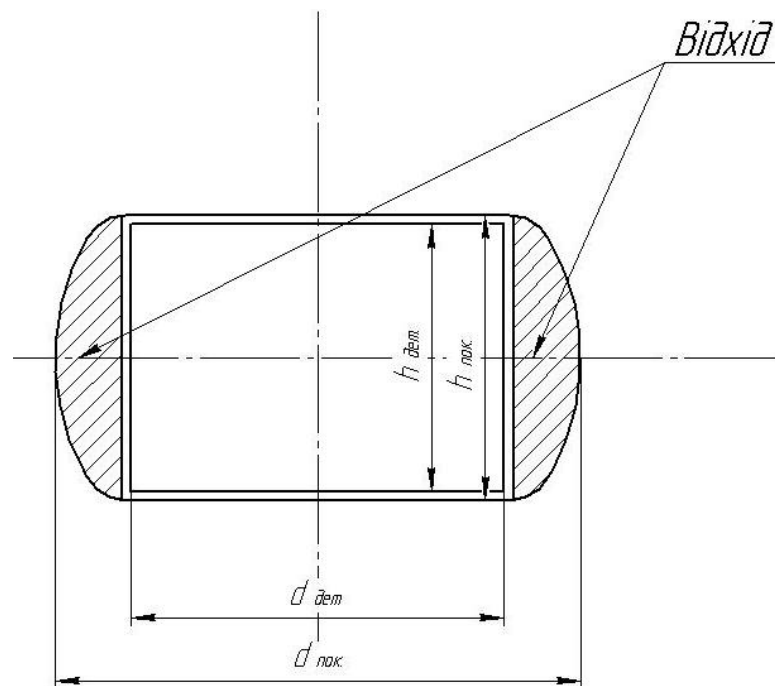


Рисунок 3.2 – Відхід металу при механічній обробці після нерівномірного осаджування

Для наведення приклада, прорахуємо на скільки відсотків можна зменшити об'єм потрібної заготовки, на прикладі отриманих експериментальних даних при осаджуванні свинцевих, циліндричних зразків з розмірами $D=30\text{мм}$, $H=30\text{мм}$. Осаджуванню піддавались два образці, перший осаджував на сухих, обезжирених плитах, а другий з нанесенням на торці контактної поверхні образцю мастила на нафтовій основі з додаванням графіту (рис. 3.1). Обидва образці осаджували зі ступеню осаджування $\varepsilon=30\%$. Розміри осаджених зразків на сухих, обезжирених плитах наведені в таблиці 2.3, а зразків, на торці контактної поверхні яких наносили мастило на нафтовій основі з додаванням графіту, в таблиці 2.15. Допустимо, що з отриманих зразків потрібно виготовити деталь з максимально можливим діаметром. З першого образцю можливо виготовити деталь з максимальним діаметром 35 мм, а з другого 35,6 мм, тоді об'єми цих деталей становлять:

$$V_1=(3,14 \cdot 35^2) \cdot 21/4=20194 \text{ мм}^3$$

$$V_2=(3,14 \cdot 35,6^2) \cdot 21/4=20892 \text{ мм}^3$$

різниця, на якій можливо було заощадити становить:

$$V_{\text{різ}}=20892-20194=700\text{мм}^3.$$

В відсотках від первинного об'єму це становить 3,3%.

Зменшення в ковальському цеху на кожній машині до 15% споживання електроенергії, та збільшенню до 3 % виходу гідного, дає великі річні заощадження коштів, які можна перенаправляти на інші енергозберігаючі проекти.

При зменшенні об'єму заготівлі, також зменшується величина сили і роботи.

При більш рівномірному осаджуванні якість отриманих зразків більша, ніж на образцях осаджуваних з меншою рівномірністю. На рисунку 3.1 по координатним сіткам видно, що на першому образці метал деформується по основному об'єму менш рівномірно, ніж другий образець. Метал в ньому в середній частині деформується на багато більше, ніж в приконтатній зоні, тому і механічні властивості в окремих містах об'єму поковки різні, а в приконтатній зоні можливі залишки дефектів. На другому образці при тому самому ступеню осаджування координатна сітка залишається більш рівною як в горизонтальних напрямках, так і в вертикальних.

Велику роль треба поділяти швидкості осаджування. При її збільшені збільшуються величина межі текучості і зростає середній тиск. Тут треба теж підходити для кожного випадку окремо. У молота швидкість осаджування швидше і енерговитрати менші ніж у преса, але молот не дає таких зусиль як прес. Тому великі поковки виробляють на пресі.

При збільшені температури, межа текучості і міцності метала зменшується, тому температура має велике значення при осаджуванні. Якщо розігріти метал вище температури рекристалізації, то в металі на ряду з процесом зміцнення йде зворотній процес знеміцнення. Це зменшує навантаження на машину і зменшує енергозатрати. Метал залишається пластичним і проробляється на всю глибину майже рівномірно, тому при осаджуванні великих поковок використовують тільки гарячу обробку. При осаджуванні гарячих поковок, технологу потрібно в розрахунку враховувати відхід металу на угар при розрахунку об'єму.

Також показником, який має вплив на енергозатрати є ступінь осаджування. При збільшені ступені осаджування, сила росте і навантаження на енергосилові прилади теж росте. Позитивним чинником є якість отриманої поковки. З збільшенням ступені осаджування метал проробляється на більшу глибину. В водночас з цим показником, слід для кожної окремої деталі, розраховувати такий показник як форма образцю. Знаючи з якими механічними властивостями потрібно отримати заготовку деталі, можна

підбираючи форму і ступінь осаджування отримати потрібну форму поковки з потрібними геометричними і механічними властивостями і з меншими енергосиловими затратами.

Висновки за розділом

Опираючись на отримані дані, можна зробити висновок, що для підвищення ресурсу ковальських машин і пресів, зменшенню енергозатрат, збільшенню виходу годного, для підвищення якості отриманих поковок, чи для отримання поковок потрібної форми з не обов'язково гарними механічними властивостям, але з більш економічними затратами, потрібно знати як і які технологічні фактори впливають на величину сили і роботи при різних режимах осаджування та які з них ведуть до нерівномірного процесу осаджування.

В першому розділі роботи описувались найбільш цікаві уривки літератур, які стосуються осаджуванню та процесів які проходять в середині образцю при осаджуванні. З роботи таких авторів як В.О. Ніколаєв, І.Я. Тарновський, О. П. Грудєв, Є. П. Унксов, С.І. Губкин і інші відомо що нерівномірність осаджування залежить в першу чергу від тертя, яке присутнє між образцем та робочим інструментом. В нинішнім стану прогресу поки немає технологій осаджування, які могли би проводитись з виключенням тертя, виходячи з цього процес осаджування повністю рівномірним поки не вдасться зробити, але можна, з зменшенням тертя, зробити його більш рівномірним.

Ще одним питанням є не досить повна уява теоретичного знаходження величини межі текучості, його і не існує, є тільки експериментальні данні, але при кожному різному експерименті однакових факторів впливу на цю величину не можливо здобути, тому вони все одно будуть відрізнятись і їх величина буде наближеною. Для знаходження експериментально цієї величини є декілька способів і при різному способі знаходження ця величина не значно, але відрізняється. При нерівномірному осаджуванні опір металу деформації в різних точках поковки різний.

У другому розділі я описував підготовку, процес і обробку отриманих даних осаджування. Підготовкою зразків, а саме відливка, доведення до розмірів, нанесення координатної сітки, паяння половинок зразків та інше я займався вперше, тому в процесі підготовки стикався з труднощами, які можливо було уникнути і заощадити час. Процес осаджування проводив на машині УГ 20/2, вона більш придатна для проведення робіт на розрив. Взагалі для проведення більш об'ємних досліджень по осаджуванню я б порадив проведення робіт на більш жорсткої машині та використання декілька плит з різним класом чистоти. Дані, які я отримав осаджуванням образцю показують, що вплив технологічних факторів на величину сили і роботи, а також на нерівномірність осаджування є і він значний, це підтверджує те, що при зміні впливу технологічних факторів, можливо зменшити споживання електроенергії, зменшити нерівномірність і як слід зменшення відходів і збільшення якості отриманої поковки.

У третьому розділі проаналізована економічна вигода при зміні технологічних факторів впливу. При порівнянні двох зразків, які були осадженні при різних умовах контактного середовища, при підрахунках, економія електроенергії склала до 15%. На цих же образцях була заміряна різниця геометричних форм і образець який осаджувався з нанесенням на контактну поверхню мастила був більш рівним, ніж образець який осаджували на сухих, обезжирених плитах. Ця різниця дає змогу заощадити метал – при подальшій механічній обробці зменшити об'єм відходу до 3.3%.

При розрахунках потрібного обладнання і форми заготовки технолог потрібен досконало розрахувати процес і враховувати як і які фактори впливають друг на друга та на показники сили і роботи взагалі, при зміні кожного фактора окремо та разом водночас. В висновках вище (розділ 2) я вже писав як і які фактори впливають друг на друга і на силу і роботу в загалі, а в економічних аспектах поступово доводив економічну доцільність цієї роботи.

Проводячи роботу, можу вказати на недоліки, які я допустив при отриманні даних, та які бажано перевірити. При осаджуванні свинцю, який має дуже пластичні властивості, на плитах з великою вироботкою, коефіцієнт тертя при збільшенні ступені осаджування зменшувався. Я прийшов к висновку, що це поява зони зчеплення металу до молекулярного зчеплення, при якому дотичні напруги на стільки малі, що сили осадки майже всі затрачались на зміцнення металу в основному об'ємі і зона застою зменшувалась дуже повільно. Також я в розрахунках не враховував стан плит, хочу підкреслити, що на такому стані плит реальна площа контактної поверхні більша. Для більш точних даних, потрібно було провести ще осаджування на плитах з кращим класом шорсткості поверхні.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі в лабораторії

1. Працювати в лабораторії дозволяється лише в халатах з довгими рукавами, ковпаках, рукавичках, при потребі у респіраторях. За виконання практичних робіт у медичних рукавичках, окулярах, прогумованих наруківниках. Довге волосся має бути акуратно підібране.

2. У лабораторії забороняється курити, вживати їжу та напої.

3. Забороняється працювати в лабораторії без наукового керівника або лаборанта або лаборанта, а також виконувати в лабораторії експериментальні роботи, не пов'язані з виконанням навчального практикуму.

4. Під час роботи в лабораторії необхідно дотримуватися чистоти, тиші та порядку. При всіх роботах дотримуватись максимальної обережності, пам'ятаючи, що неакуратність, неухважність, недостатнє знайомство з приладами та властивостями речовин можуть спричинити нещасний випадок.

5. Усі процедури при виконанні роботи (відмірювання реактивів, їх переливання, нагрівання тощо) повинні проводитись тільки на своєму робочому місці або під тягою.

6.. При роботі зі спиртом та іншими легкозаймистими речовинами можливе несподіване запалення парів. Кількість цих речовин у практикумі обмежена.

7. Забороняється підключати невідомі пристрої до лабораторних розеток.

8.. Забороняється переносити увімкнені прилади.

9. Усі питання щодо виконання експерименту, що виникають у процесі роботи, слід негайно з'ясувати у наукового керівника.

10. Можливий перелік небезпечних та шкідливих факторів при роботі в лабораторії:

- ураження електричним струмом;
- Хімічний опік різних частин тіла;
- інфікування під час роботи з біологічним матеріалом;
- травмування при порушенні правил безпеки під час роботи з приладами та обладнанням.

11. Працюючи з хімічними речовинами, біологічним матеріалом, т.д., учні мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту (лабораторні халати; за необхідності – захисні окуляри, рукавички (ГР, ЛЗР), респіратори).

4.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи

4.1. Той, хто навчається, повинен бути інформований про зміст майбутньої роботи і знати її методичні особливості з навчального практикуму.

4.2. Лабораторний журнал має бути заздалегідь оформлений.

4.3. Робота в лабораторіях повинна проводитися зі справними приладами, непошкодженим посудом, відомими реактивами та матеріалами.

4.4. Обладнання та допоміжні інструменти має бути чистим, т.я. бруд може змінити перебіг реакції.

4.5. Одягти ЗІЗ, видані викладачем. Робота з газоподібними та летючими речовинами, шкідливими для здоров'я, повинна проводитись лише під тягою. Під час роботи з біологічним матеріалом перевірити наявність дезінфікуючих розчинів. Почати роботу без застосування ЗІЗ забороняється.

4.3 Вимоги охорони праці під час роботи

4.1. Забороняється проводити досліди, не призначені викладачем, вносити та виносити з лабораторії будь-які речовини та прилади без дозволу викладача.

4.2. Виливку відливків проводити згідно з інструкцією та у таких приладах та посуді, як зазначено в описах робіт. Необхідно уважно прочитати напис на етикетці перед тим, як взяти речовину для досвіду.

4.3. Жодні речовини в лабораторії не можна куштувати на смак. Нюхати будь-які речовини в лабораторії необхідно з обережністю, не вдихаючи на повні груди, а направляючи до себе пари або газ рухом руки.

4.4. Про всі неполадки у роботі обладнання, водопроводу, електромережі учні зобов'язані повідомити викладача. Усувати несправності самостійно забороняється.

4.5. При отриманні травм (порізи, опіки тощо), а також за поганого самопочуття необхідно негайно повідомити викладача.

4.6. Необхідно дотримуватися великої обережності при роботі з кислотами, лугами, солями важких металів, а також такими речовинами, як бромна вода, фенол та ін. .

4.4 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

4.1. Про будь-який нещасний випадок постраждалий або очевидці зобов'язані негайно повідомити керівника.

4.2. У разі нещасного випадку завідувач кафедри (викладач, лаборант) зобов'язані вжити заходів щодо запобігання впливу травмуючого фактора на потерпілого та надати першу допомогу або звернутися до здравпункту (1 поверх), або викликати «Швидку допомогу» (виклик зі стаціонарного телефону – 03; 9); зі стільникового телефону – 112), або доставити потерпілого до організації охорони здоров'я.

4.3. При виявленні пожежі або ознак горіння (задимлення, запах гару, підвищення температури тощо) негайно повідомити наукового керівника або лаборанта(лаборанта) та дотримуватися його вказівок.

ВИСНОВКИ

В ході літературного огляду було встановлено, що в процесі осаджування циліндричних зразків процес набуває нерівномірний характер осаджування. Це в свою чергу веде до збільшення відходів, енергозатрат та зменшенню якості отриманих поковок. Дослідивши експериментально по величині сили і роботи які технологічні фактори впливають на нерівномірність, можна на підставі отриманих даних використовувати більш оптимальні режими, які процес осаджування циліндричних зразків зведуть до більш рівномірного.

Експериментально показано, що вплив технологічних факторів на величину сили і роботи, а також на нерівномірність осаджування є і він значний, це підтверджує те, що при зміні впливу технологічних факторів, можливо зменшити споживання електроенергії, зменшити нерівномірність і як слід зменшення відходів і збільшення якості отриманої поковки.

Зі зменшенням тертя процес осаджування, набуває більш рівномірний характер. При рівномірному осаджуванні величина бочки зменшується, а якість поковки покращується.

Для зменшення тертя можна використовувати мастила, користуватися інструментами з достатньо гарною поверхнею, правильно підбирати фактор форми образцю. Мастила треба використовувати для кожного режиму більш відповідні. Для невисокого обтиснення підійдуть мастила менш в'язкі, для обтиснення з більш затрачуваної силою, потрібно використовувати такі мастила, які мають властивість зберігатись в осередку деформації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Николаев В.А. Теория обработки металлов давлением Учебн. пос. для студентов ЗГИА. Изд. второе доп. и перераб. Запорожье: Издательство ЗГИА, 2002. 152 с.

2 Николаев В. А., Васильев А. Г. Зависимость коэффициента трения от условий волочения. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2007. №2. С. 67-69.

3 Васильев Я. Д., Сафьян М. М. Производство полосовой и листовой стали. Киев: Изд. Вища школа, 1976. 192 с.

4 Николаев В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. Підручник.. Запоріжжя, ЗНТУ, 2010. 320 с.

5 Николаев В.О., Мазур В.Л. Технологія виробництва сортового та листового прокату. Навч. посібник. Частина П. Запоріжжя: ЗДІА, 2000.- 220 с.

6. Николаев В.А. Теория прокатки полос. Запорожье, ЗГИА. 2014. 258 с.

7 Николаев В.А. Трение и технологические смазки при прокатке Запорожье, ЗГИА. 2002. 114 с.

8 Николаев В.А. Валки прокатных станов. Навч. посібник. Запорожье: ЗГИА. 2000. 176 с.

9 Горенштейн М.М. Трение и технологические смазки при прокатке. К.: Техніка, 1972. 192 с.

10 Ионов С.М., Белосевич В.К. Эмульсии для холодной прокатки. *Производство проката*. 1999. № 6. С. 3 – 6.

11 . Николаев В.А. Влияние температурі металла на параметрі прокатки с технологическими смазками. Изв.вуз. «Черная металлургия», 1975. № 12. С. 91 – 93.

12 Максименко О.П. Самохвал В.М. Повышение эффективности смазки в контакте валков и полосы при воздействии на реологию масляной пленки. *Изв. Вуз. «Черная металлургия»*. 2005. №11. С. 30-33.

13 Николаев В.А. Теория прокатки. Запорожье, ЗГИА. 2007. 228 с.

14 Николаев В.А., Путноки А.Ю. Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах. Запорожье: Дикое поле, 2011. С. 9 – 18.

15 Николаев В.А., Васильев А.Г., Куприков В.О. Экспериментальное и теоретическое определение силы прокатки полос. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 2. С. 33 – 37.

16 Николаев В.А. Среднее нормальное контактное напряжение при холодной прокатке полос. *Производство проката*. 2012. № 1. С. 6 – 8.

17 Николаев В.А. оценка методов расчета нормальных напряжений при прокатке полос. *Производство проката*. 2013. № 9. С. 20 – 25.

18 Николаев В.А., Жученко С.В., Васильев А.Г. Определение силы прокатки по опытному опережению. *Производство проката*. 2015. № 8. С. 12 – 15.

19 Жидецкий В.Ц. Основи охорони праці / Жидецкий В.Ц. – Львів: Афіша. 2002. 320 с.

20 Геврик Є.О. Охорона праці: [навчальний посібник для студентів вищих Навчальних закладів]. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

21 ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. 1992.