МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЙНИЙ
(назва)

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ
(назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: Дослідження динаміки приводу чистової кліті широкоштабового стана гарячої прокатки 1680.

Спеціальність «Металургійне обладнання» 8.05050311
(найменування)

Виконавець _____ Дудко Т.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Розглянуто на засідання кафедри

_____
(найменування кафедри)

Рекомендовано до захисту в ДЕК

Протокол № 8 від 10 грудня 2015р.

Завідувач кафедри

_____ Малишев Г.П.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Запоріжжя
2015р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи містить:158 с., 7 частин, 35 рис.,26 таблиць, додатки, 22 джерела літератури.

Об'єкт дослідження – привод чистової кліті БШШС 1680.

Мета роботи - підвищення якості роботи й експлуатаційних показників прокатної кліті.

Метод дослідження – дослідження силових параметрів прокатки на діючій моделі обтискного прокатного стану, що виконана в 1/10 натуральної величини.

У магістерській роботі наведено: технічна характеристика моделі обтискного прокатного стану, його призначення та сфера застосування. Проведено дослідження з метою визначення технологічних навантажень під час прокатки, отримані результати експериментальних досліджень порівняно з теоретичними розрахунками. Представлено опис роботи та будова тензометричних датчиків, що використовувались під час проведення експерименту. Наведено опис вимірювальної апаратури «МС» та програмних комплексів Recorder та WinПос.

Представлене в роботі дослідження його може бути використане на ПАТ „Запоріжсталь” в ЦГПТЛ або на підприємствах металургійної промисловості, що мають аналогічне устаткування.

ПРОКАТНИЙ СТАН, ДЕФОРМАЦІЯ МЕТАЛУ, РОБОЧА КЛІТЬ ВАЛОК, ЛИСТ, ШТАБА, КОЕФІЦІЄНТИ ДЕФОРМАЦІЇ, ЗАЧЕПЛЕННЯ, МОМЕНТ, ВИГИН, РЕДУКТОР, НАПРУЖЕННЯ, ПЕРЕТИН, ТЕНЗОДАТЧИК, ПРЕС ГІДРАВЛІЧНИЙ, МЕСДОЗА, ТАРУВАННЯ

ВСТУП

Прокатне виробництво є завершальною ланкою металургійного циклу. Відповідно до збільшення виплавки сталі, і кольорових металів передбачається безперервне зростання випуску, розширення сортаменту й підвищення якості готового прокату.

У сучасних прокатних цехах технологічні операції здійснюються за потоковим й безперервному принципах, що дозволяє широко застосовувати комплексну механізацію й автоматизацію. Тому механічне устаткування прокатних цехів є досить складним і різноманітним за призначенням й конструкцією. Створення нового прокатного обладнання й експлуатація складних машин вимагає використання досягнення в різних галузях науки й техніки й підготовці висококваліфікованих фахівців - інженерів, конструкторів і механіків.

Основні цехи сучасного металургійного заводу з повним металургійним циклом - доменний, сталеплавильний і прокатний.

До складу металургійного заводу входять також допоміжні цехи й служби, до числа яких ставляться теплоелектростанції, водонасосні станції, ремонтні цехи, залізничне й транспортне господарство, сортувальні станції, загальнозаводські склади й обслуговуючі приміщення, керування, лабораторії й ін.

У відмінності від металургійного заводу, металургійний комбінат є більш розвиненим підприємством. До його складу, крім зазначених цехів, входять рудник і вапняний кар'єр, збагачувальні й агломераційні фабрики, коксохімічний цех й ін.

Технічний прогрес у чорній металургії забезпечується шляхом подальшої концентрації виробництва, збільшення одиничної потужності агрегатів, інтенсифікації технологічних процесів, впровадження нових процесів й устаткування, механізації й автоматизації виробництва.

Сьогодні, «Запоріжсталь» - індустріальний гігант, продукція якого добре відома більш ніж в 100 країнах світу.

По обсягу виробництва він входить у четвірку найбільших підприємств України. Комбінат є виробником високоякісної металопродукції - чавуну, сталі, листового прокату, низьколегованих, легованих і нержавіючих сталей, гнутого профілю, жерсті, будівельних матеріалів і товарів народного споживання.

Комбінат є одним з основних постачальників листового прокату й гнутих профілів для українського машинобудування, жерсті для харчової промисловості.

Міжнародне визнання й повага, яким користується «Запоріжсталь» у діловому світі, підтверджено численними міжнародними й національними призами й нагородами за конкурентну і якісну продукцію, а також інтеграцію у світову економіку.

Сьогодні особлива увага приділяється якості випускаємої продукції. Для чого здійснюється контроль над дотриманням установлених технологій на всіх стадіях виробництва, а так само над якістю вступник сировини, матеріалів і відвантажуємої продукції, що.

Створення на комбінаті «Запоріжсталь» Системи керування якістю, що відповідає вимогам міжнародних стандартів ISO серії 9000, є першим кроком на шляху реалізації на комбінаті концепції загального менеджменту якості.

Розроблено програму технічного переозброєння до 2020 р. Передбачені заходи спрямовані на підвищення якості й конкурентоздатності продукції, відновлення основних фондів, впровадження новітніх технологій, розширення сортаменту продукції, захист навколишнього середовища й економію матеріально-сировинних й енергетичних ресурсів.

1 Характеристика моделі обтискного прокатного стану

1.1 Призначення та конструкція моделі обтискного прокатного стану.

Діюча модель обтискного прокатного стану виконана в 1/10 натуральної величини й призначена для проведення лабораторних і дослідницьких робіт: визначення тиску металу на валки, визначення крутних моментів при прокатці, визначення напруг у станині закритого типу прямокутної форми, визначення деформації станини прокатного стану, визначення зусиль при виправленні металу між лінійками маніпулятора.

Фотографія моделі обтискного прокатного стану подано на рисунку 1, 2 та 3 а кінематичну схему на рисунку 4.

Рисунок 1. Фотографія моделі обтискного прокатного стану

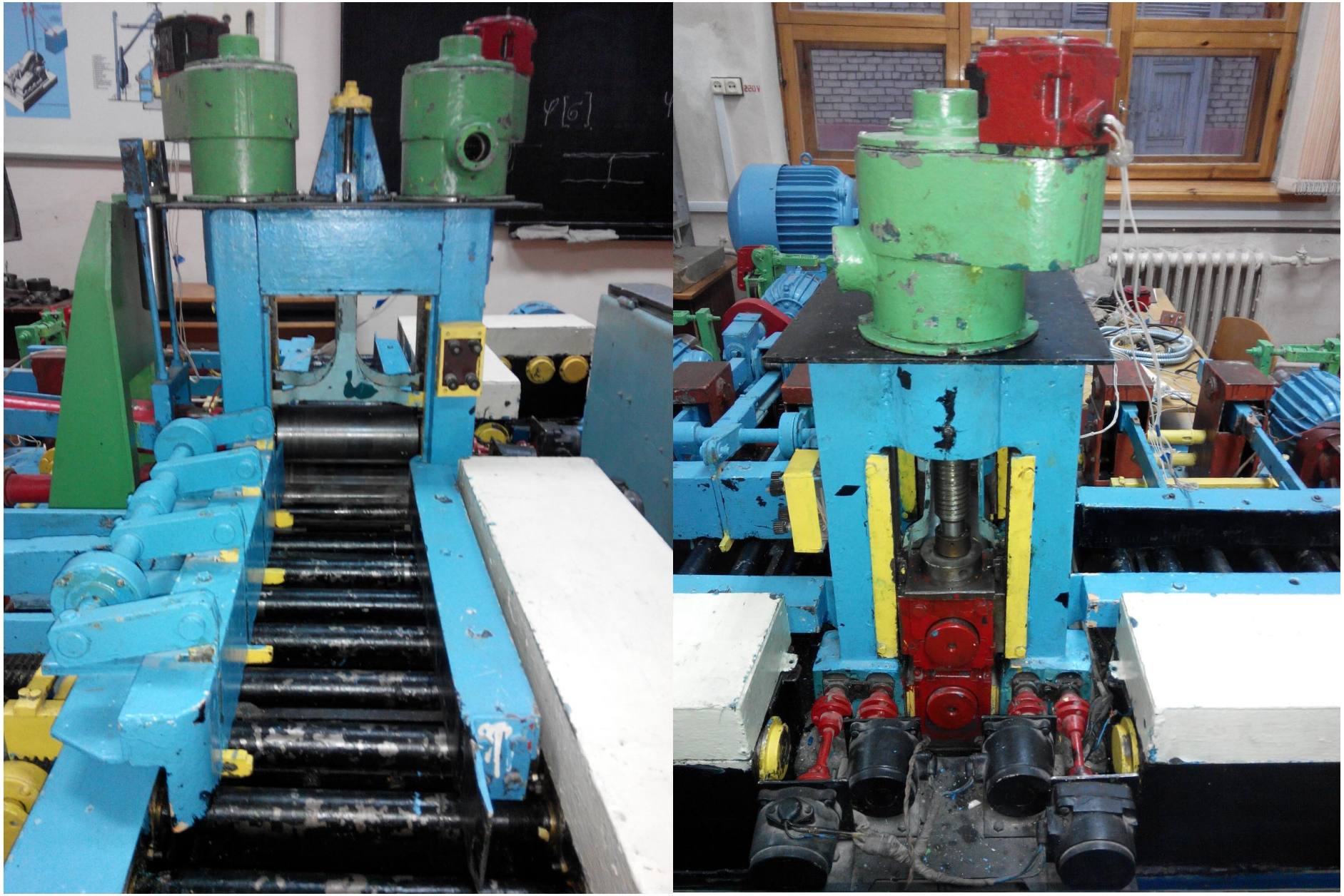


Рисунок 3 - Фото робочої кліті.

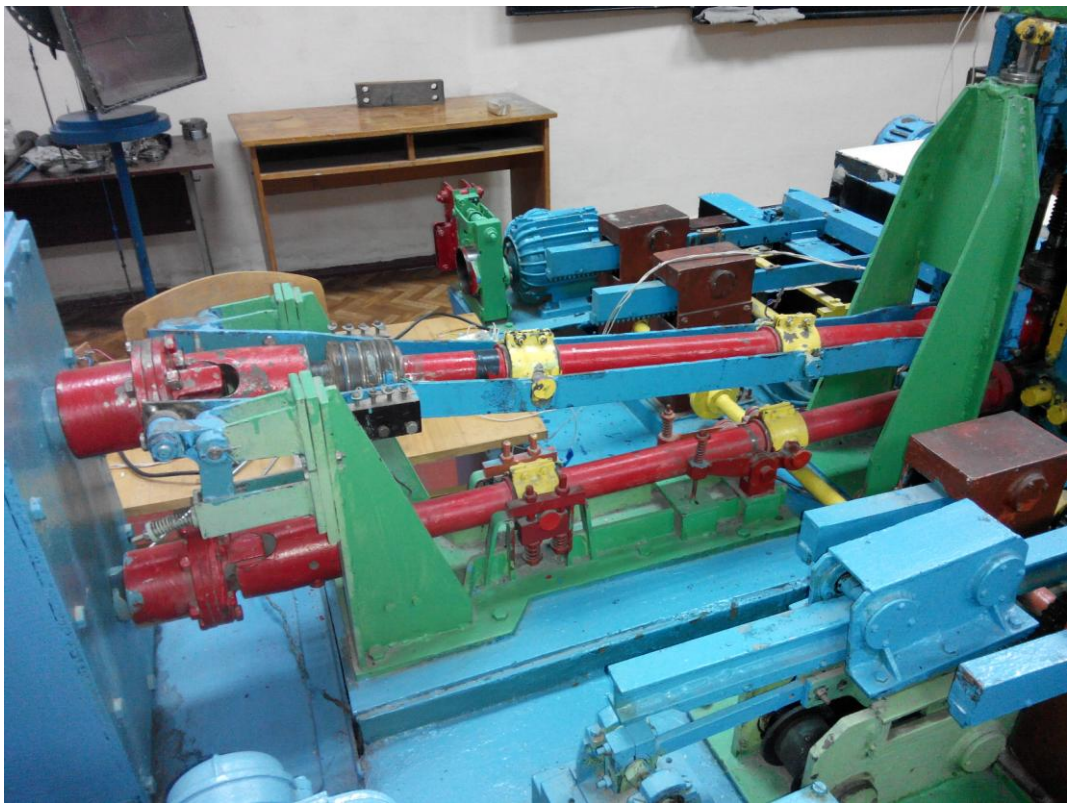


Рисунок 3 - Фото шпинделів.

Рисунок 7 - Фото пульта керування

Модель обтискного прокатного стану складається з:

а) робочої кліті;

б) шестеренної кліті;

в) маніпулятора;

г) кантувальник заготівок;

д) робочих рольгангів,

е) врівноважувального механізму,

ж) електроприводів,

з) прокатних валків,

и) пульта керування механізмами,

к) установочний механізму.

Валки прокатного стану призначені для обтиснення й прокатки металу. Основними конструктивними параметрами валків стану є діаметр і довжина бочки.

Кліть призначена для сприйняття зусиль, що виникають при прокатці, а також служить сполучним елементом для установки всіх механізмів і складається із двох станин закритого типу, двох плитовин, траверси, сполучних болтів.

Шестеренна кліть призначена для передачі крутного моменту до прокатних валянь. Складається із двох станин і шестеренних валків.

Установочний механізм призначений для установки певного зазору між валками. Складається із двох натискних гвинтів, зубчастої передачі, електродвигунів.

Маніпулятор призначений для орієнтування заготовки по осі прокатки й виправлення смуги. Складається з лівої й правої направляючих лінійок і зубчастих рейок, опорного й напрямного ролика рейки, зубчастої передачі, редуктора й електропривода.

Кантувач заготовки призначений для кантування смуги щодо осі прокатки. Складається з гаків, кривошипа, рейки, редуктора з електроприводом.

Рольганг призначений для транспортування смуги до валянь і від них. Складається з набору роликів, редукторів, електропривода.

Пульт керування призначений для включення й вимикання механізмів прокатного стану.

На лицьовій панелі пульта керування розташовано сім рукояток включення лівих лінійок, роликів кліті, рольганга, кантувача, натискних гвинтів, головного привода, правих лінійок.

1.2 Паспорт моделі обтискного прокатного стану.

Основним документом, який відображає характеристики, будову, принцип роботи і кінематичні схеми основних механізмів стана, є його паспорт.

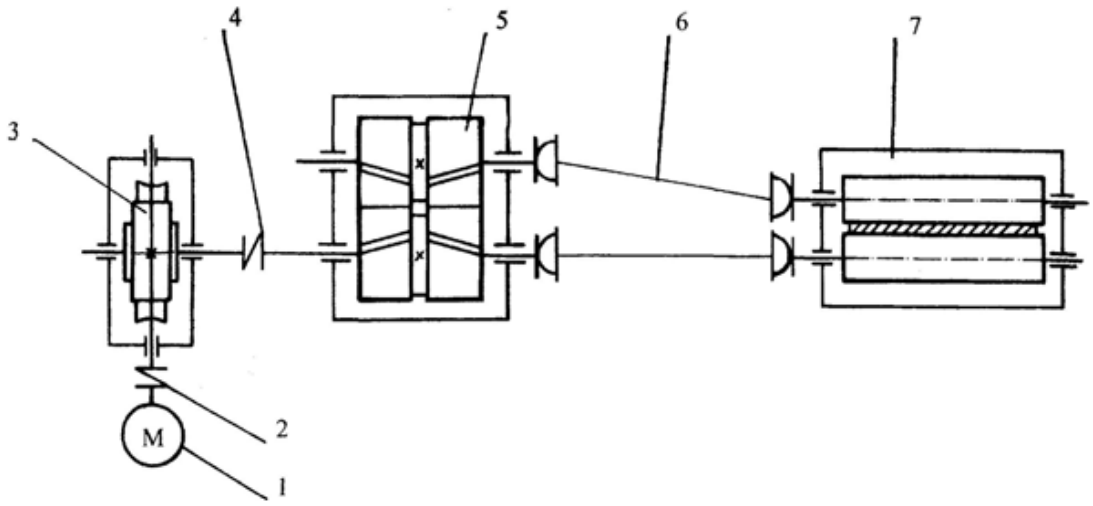
Таблиця 1 - Паспорт моделі обтискного прокатного стану.

Характеристика	Значення
Максимальні габарити (ширина х довжина х висота), мм	3000 х 2560 х300
Матеріал, що прокатується	Свинець
Розмір заготовки, що прокатується, мм х мм	10 х 30
Головний привод стана: - модель - потужність, кВт - швидкість обертання, хв-1	 АО-62-8 7,5 730
Прокатні валки: - матеріал - діаметр бочки, мм - діаметр шийки, мм - довжина шийки вала, мм - довжина бочки, мм - твердість по Брінеллю, НВ	 Сталь 65Г 95 60 90 212 350

Характеристика	Значення
Підшипники прокатних станів: - тип - матеріал - вид змащування - ґатунок мастила	 Ковзання Бронза Пластичне Литол 24
З'єднуючий пристрій: - діаметр тіла шпинделя, мм - діаметр головки шпинделя, мм - максимальний кут нахилу α, град - довжина шпинделя, мм - матеріал вкладишу - тип зрівноважування - матеріал шпинделів - вид змащування - марка мастила	 48 70 10 1100 Текстоліт Пружинне Сталь 3 Пластичне Солідол
Шестеренна кліть: - тип кліті - окружна швидкість валків, мс-1 - тип зуба валків - число зубів валка - модуль, мм - кут нахилу шевронних зубів, град - міжосьова відстань А, мм - матеріал шестеренних валків - тип змащування - ґатунок мастила - тип підшипників	 Шевронна Сталь 40Х Картерне Індустріальне Кочення
Редуктор головного привода - тип редуктора - міжосьова відстань, мм - число заходів черв'яка - число зубів венця колеса - передаточне відношення, i_p - максимальний передатний крутячий момент, Н·м	 Черв’ячний 180 2 22 11 106

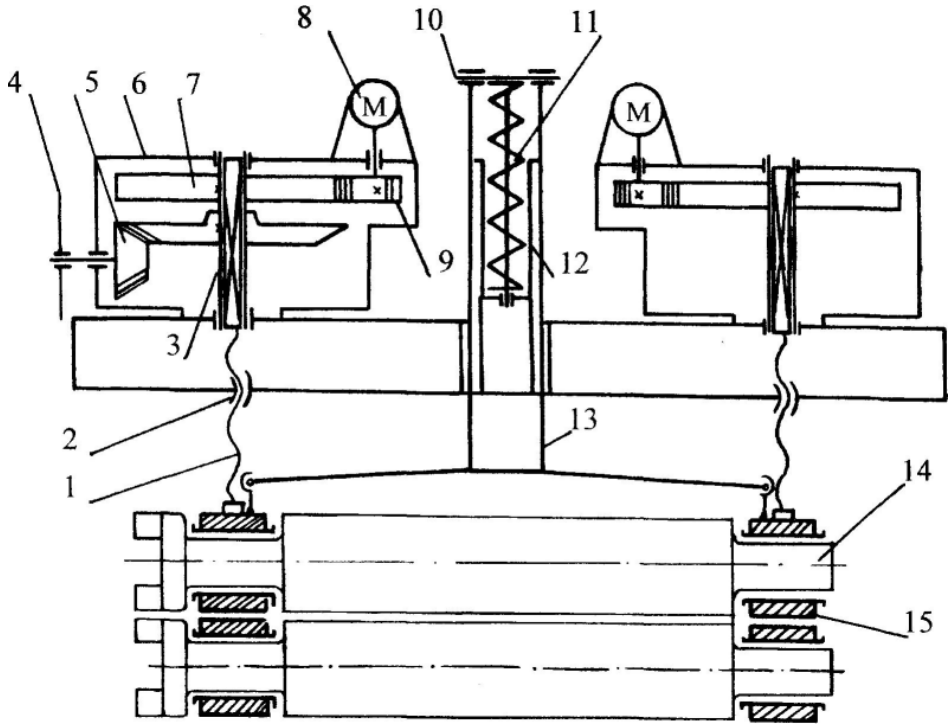
Характеристика	Значення
Установочний механізм: - тип - швидкість пересування верхнього валка, мм/с - тип зрівноважування верхнього валка - максимальна висота підйому, мм Двигун: - тип - потужність, кВт - швидкість обертання, $хв^{-1}$ Зубчаста передача: - число зубів шестерні, Z_1 - число зубів колеса, Z_2 - передаточне відношення, і - модуль, мм - діаметр натискного гвинта - тип різьби натискного гвинта - матеріал гвинта - матеріал гайки - висота гайки	 Механічний 1,25 Пружинне 190 ЗП-93 0,026 26 29 67 2,31 2 40 Упорна Сталь 40 Бронза 85
Станина: - тип - матеріал - площа перетину стійки станини на рівні осі верхнього валка, мм х мм - діаметр болтів якими кріпиться станина до плитовини, мм	 Закрита ДУО Сталь 35 60 х 60 М10
Станинні ролики: - діаметр бочки ролика, мм - кількість, шт. - тип підшипників - тип приводу Двигун: - модель - потужність, кВт - швидкість обертання, $хв^{-1}$	 27 4 Кочення Електричний Д-32 0.12 24

Характеристика	Значення
Кантувальник заготівок: - габарити, мм х мм х мм Двигун: - модель - потужність, кВт - швидкість обертання, хв$^{-1}$ Редуктор: - тип редуктора - міжосьова відстань, мм - число заходів черв'яка - число зубів венця колеса - передаточне відношення, i_p	 400 х 1500 х 240 АОП-2-21 1,1 1400 Черв'ячний 30
Маніпулятор: - габарити, мм х мм - робочий хід лінійок, мм Двигун: - модель - потужність, кВт швидкість обертання, хв$^{-1}$	 890 х 1400 170 АОП-2-21 1,1 1400
Рольганг: - габарити, мм х мм х мм - діаметр бочки ролика, мм - довжина бочки ролика, мм - кількість роликів - шаг роликів, мм Двигун: - модель - потужність, кВт - швидкість обертання, хв$^{-1}$ Редуктор - тип редуктора - загальне передаточне відношення, i_p	 900 х 250 х 1080 35 230 18 75 АОП-2-21 1,1 1400 Циліндричний 26



1 - електродвигун; 2 – муфта; 3 - черв’ячний редуктор; 4 – муфта; 5 – шестерінчаста кліть; 6 – шпинделі 4 – робоча кліть з валками.

Рисунок 4 – Кінематична схема головної лінії прокатного стану.



1, 2, 3 – натискний гвинт з гайкою; 4 – шкала; 5 – конічна передача; 6 – корпус; 7 – зубчате колесо; 8 – електродвигун; 9 –зубчата шестерня; 10 – врівноважуючий пристрій; 11 – пружина врівноваження; 12 – гільза; 13 – тяги; 14 – прокатні валки; 15 - корпуси підшипникових опор..

Рисунок 5 – Кінематична схема установочного механізму та врівноважуючого пристрою

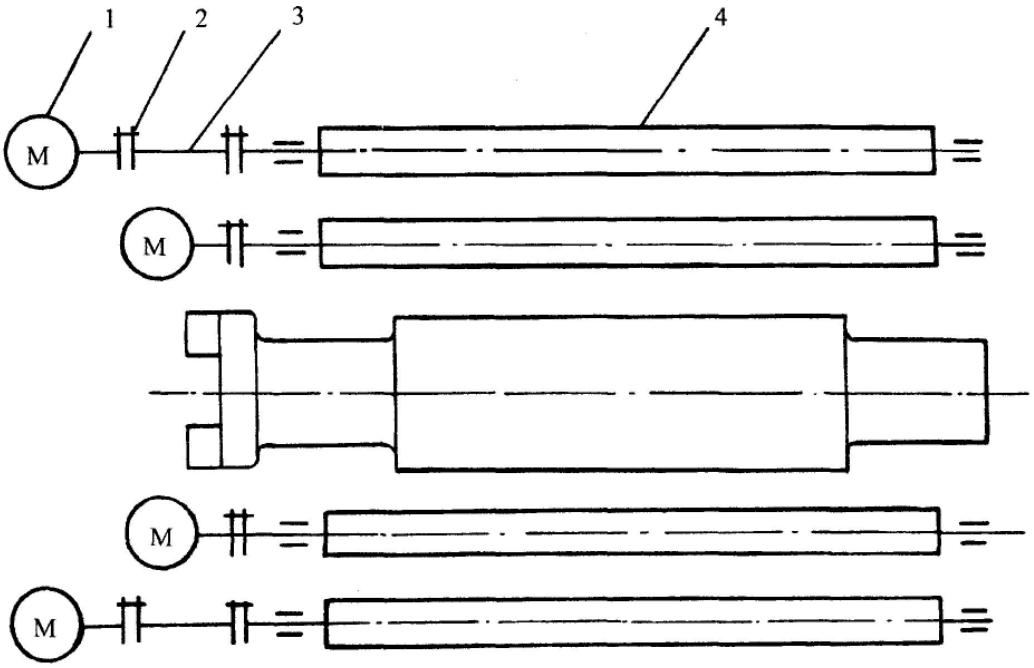


Рисунок 2.3 – Кінематична схема станинних роликів

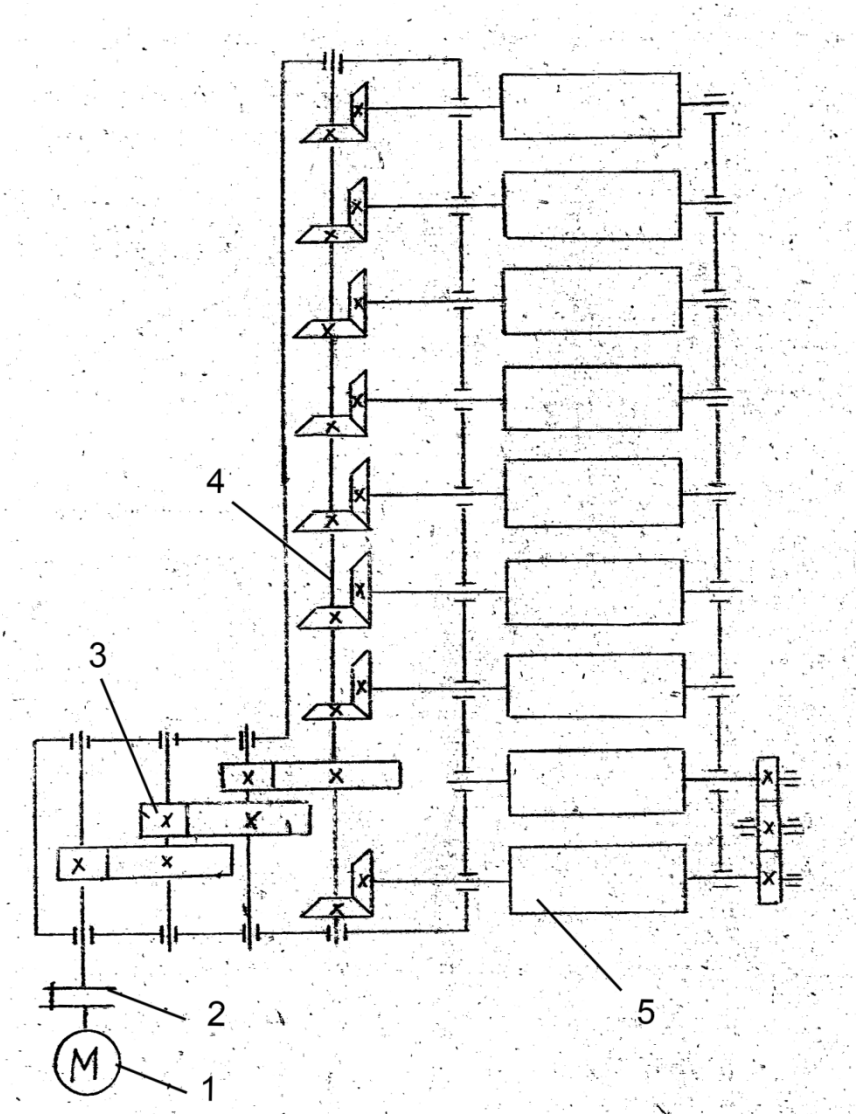


Рисунок 2.3 – Кінематична схема рольгангу.

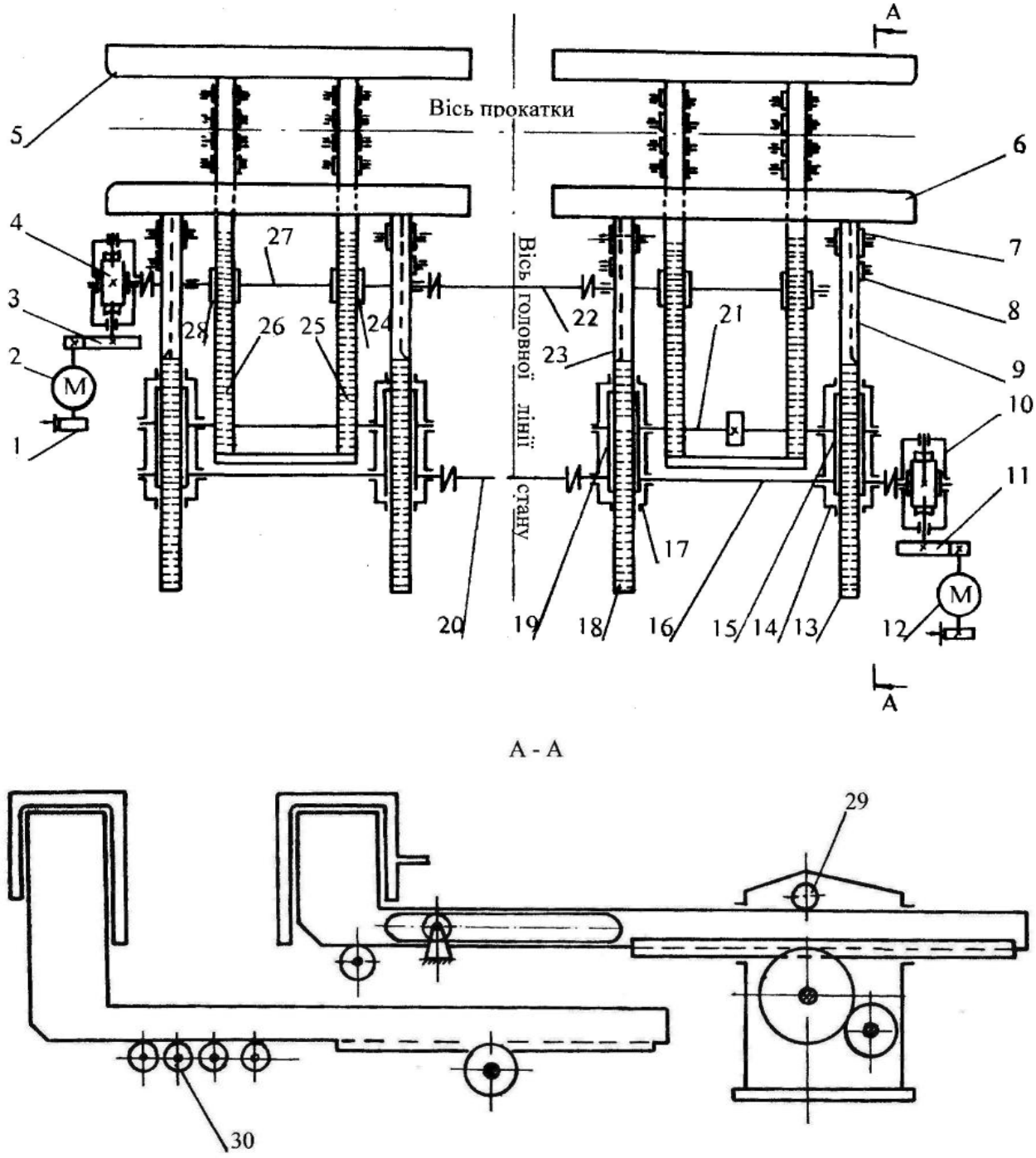


Рисунок 2.3 – Кінематична схема маніпулятора.

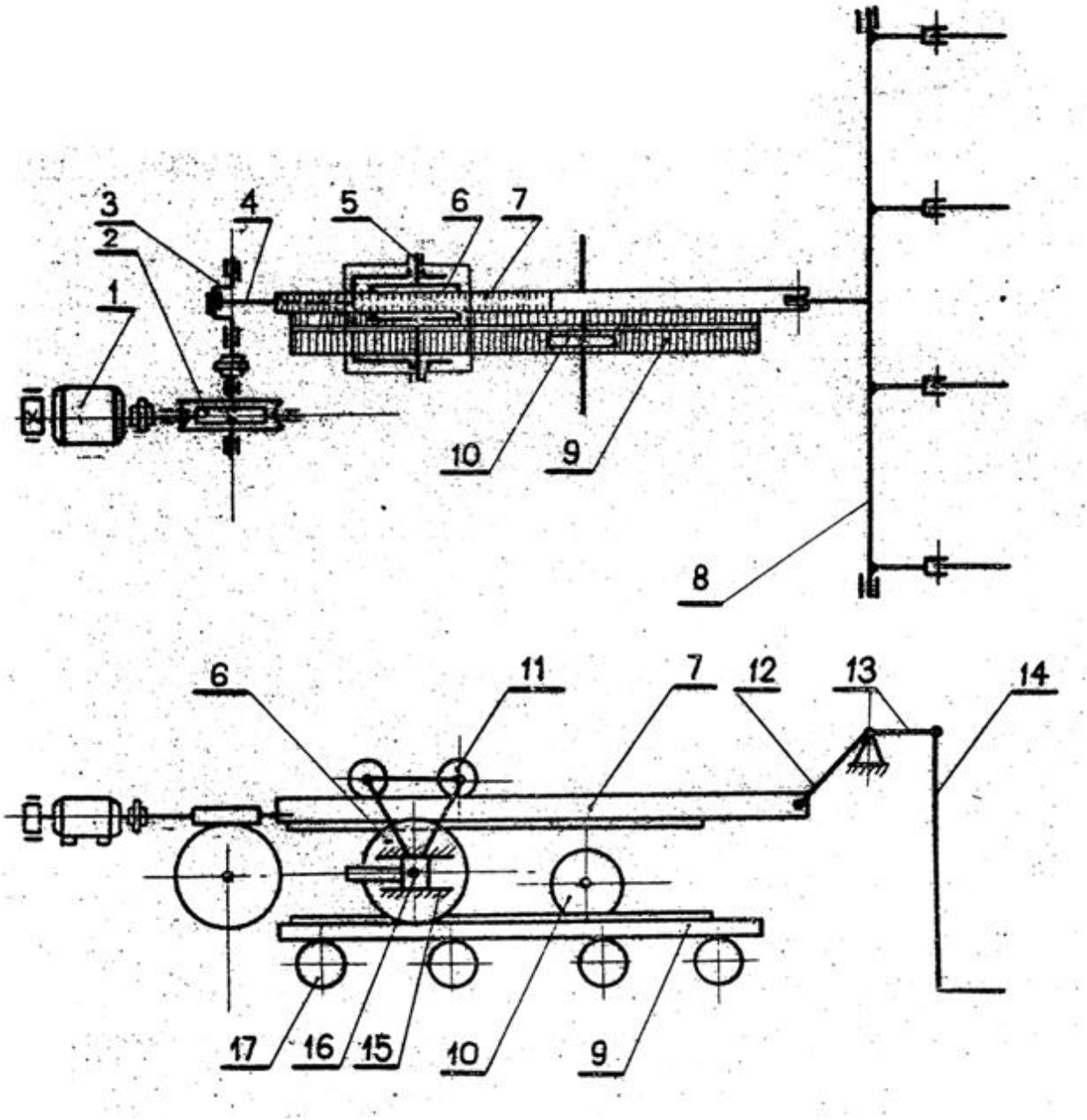


Рисунок 2.3 – Кінематична схема кантувача.

1.3 Інструкція по експлуатації моделі обтискного прокатного стану

Порядок виконання лабораторних або дослідницьких робіт на установці наступний:

- Установити месдозы під натискні гвинти, перевірити й підключити їхні вимірювальні мости із дротових датчиків до обчислювально-вимірювального комплексу МІС-18.
- Налаштувати обчислювально-вимірювального комплексу МІС-18 та програму Recorder-3.0.5.17b на одночасний запис по двом каналам.
- Збалансувати мости месдоз та виконати їх тарування.
- Зробити зовнішній огляд установки, переконавшись у її справності, подати напруга на пульт керування (загорілася сигнальна лампочка – пульт включений).
- Зробити пробні включення (без навантаження) валків, маніпулятора, настановного механізму, кантователя, рольгангів.
- Подати на рольганг заготовку й, переконавшись, що пуск установки нікому не загрожує, включити кнопку пуску стану, при цьому зробити запис показань.

1.4 Заходу безпеки при роботі на установці

Електродвигуни установки працюють на напрузі 200-380В. Поразка людини такою напругою є небезпечним для життя. Через необхідну наочність, механічні передачі не закриті кожухами. Щоб уникнути нещасних випадків студентам, лаборантам та викладачам при проведенні лабораторних і дослідницьких робіт необхідно виконувати наступні правила:

- Особи, допущені до роботи на установці, повинні мати відповідну технічну кваліфікацію й підготовку, а також уміти вчасно й правильно надати першу допомогу потерпілим від електричного струму.
- Подача напруги на установку або вимірювальну апаратуру може проводитися тільки викладачем заняттям, що керує.

- Студенти перед виконанням лабораторних або дослідницьких робіт на установці, повинні одержати інструктаж з техніки безпеки із записом і розписом у журналі для інструктажу. Студентам, що не пройшли інструктаж, категорично забороняється приступати до виконання лабораторних і дослідницьких робіт.
- Без дозволу викладача студентам не дозволяється включати установку й вимірювальну апаратуру.
- При роботі на установці, забороняється стосуватися руками рухливих частин механізмів.
- По закінченню лабораторних або дослідницьких робіт установку необхідно знеструмить і відключити контрольно-вимірювальну апаратуру.
- Після закінчення робіт на установці, робочі місця повинні бути ретельно прибрані.

2 Дослідження основних параметрів прокатки

2.1 Порядок проведення дослідної роботи на моделі обтискного прокатного стану.

Роботу виконуємо на діючій моделі двовалкового обтискного прокатного стану виконана в 1/10 натуральної величини з діаметром валків D=95мм. Повна технічна характеристика стана подана в розділі 1.2 а саме в таблиці 1.1.

Перед початком роботи необхідно підготовити прокатний стан, для чого звільнити проходи біля стану та його площадки від сторонніх речей; перевірити огородження муфт, шпинделів та інших обертових деталей; установити і настроїти проводкові столи і проводки.

Робота стану перевіряється холостим ходом, під час якого при необхідності готують валки до прокатки, протираючи та зачищаючи їхні бочки тільки з вихідної сторони стану.

Всі роботи, пов'язані з прокаткою виконуються тільки за розпорядженнями викладача або іншої особи уповноваженої на проведення роботи.

Студенти - виконавці роботи, повинні бути одягнені в застебнену одежу і головні убори.

Включення і відключення стану проводити тільки за командою викладача. Перед натиском кнопки "Пуск" необхідно переконатись, що працюючий стан нікому не буде загрожувати.

Під час прокатування короткі зразки (довжиною < 400 мм) задавати руками у валки забороняється, їх підштовхують до валків дерев'яним брусом довжиною не менш 350 мм. Металеві прутки в якості штовхача використовувати заборонено. Зразки довжиною > 400 мм дозволяється задавати у валки руками, утримуючи їх однією рукою за бокові грані, але не в якому разі за верхню і нижню грані. Останнє може привести до притиску руки і її травмуванню об нижній проводковий стіл. Після захоплення зразка валками руку або штовхач необхідно відвести.

Забороняється притискувати зразки до валків з зусиллям. За відсутності захоплення металу валками необхідно поліпшити умови захоплення, зменшуючи обтиск підняттям верхнього валка або розплющенням переднього кінця зразка молотком на ковадлі.

При роботі зі зразками із свинцю необхідно пам'ятати, що свинець досить ядовитий метал і його не можна брати руками, якщо на них є відкриті подряпини і ранки. Після роботи зі свинцем необхідно ретельно вимити руки. За виконанням цих умов робота зі свинцем вважається безпечною.

По закінченню роботи інструменти і прокатаний метал необхідно здати керівникові, а стан знеструмити, відключивши рубильник і закрити валки решіткою.

Хід виконання роботи

Ступінчатий зразок із свинцю різного поперечного перерізу H x B та довжини L прокатуємо за 6 проходів з обтиском $\Delta h = 1 - 3$ мм.

До і після кожного проходу вимірюємо розміри поперечного перерізу та довжини зразка.

Одночасно ведемо замір зусиль під натискними гвинтами за допомогою обчислювально-вимірювального комплексу MIC-212 та програми Recorder-3.0.5.17b. Результати замірів фіксуємо в робочі файли з ім'ям signal00XX.mera. Подальшу обробку файлів виконуємо в програмному комплексі WinPos-2.1.0.6-pro.

Результати замірів та назву файлів сигналів заносимо в таблицю 2.1. На рисунку 2.2 подано фотографії ступінчатого зразка до та після прокатки.

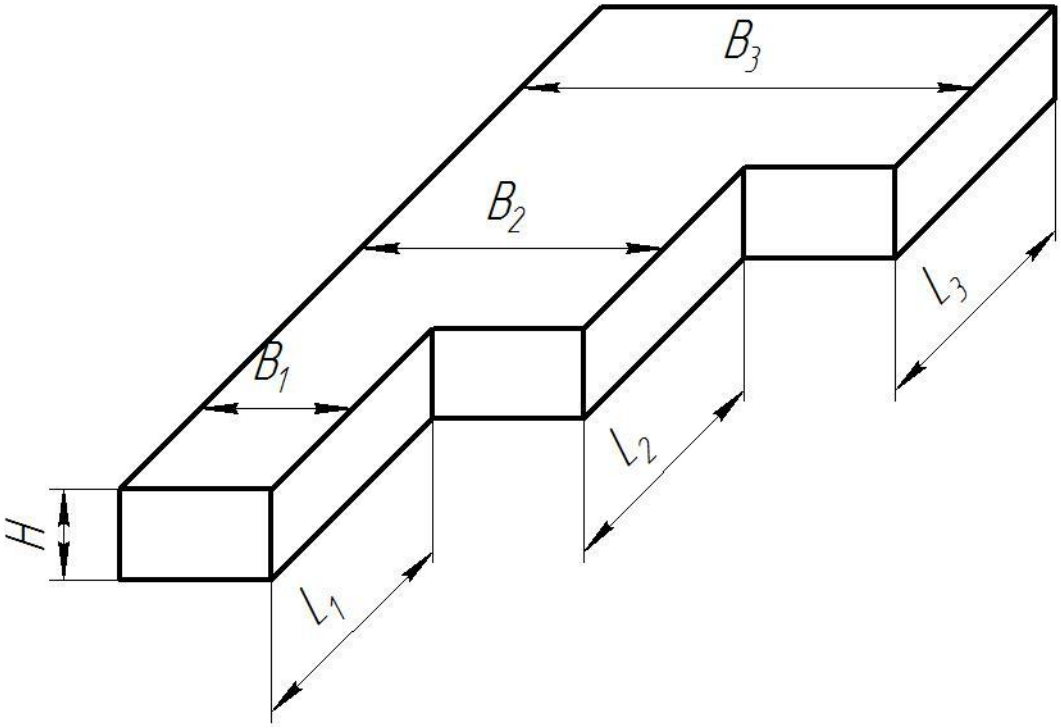


Рисунок 2.1 – Розміри ступінчатого за шириною зразка.

Таблиця 2.1 – Параметри зразка до та після прокатки.

№ проходу	Товщина зразка, мм	Ширина ступенів зразка, мм			Довжина ступенів зразка, мм			Примітки, назва файлу сигналу.
	H	**B_1**	**B_2**	**B_3**	**L_1**	**L_2**	**L_3**	
-	12,5	21	41	60	63	63	64	Базовий розмір зразка
1	11	21,5	41,2	60,5	72	73	73	signal0004
2	8	22	41,5	61	97	98	98	signal0005
3	5,7	22,4	41,8	61,3	134	134	131	signal0006
4	4	22,8	42	61,5	195	195	190	signal0007
5	2,9	23,8	42,1	61,6	275	285	275	signal0008

Рисунок 2.2 - Фотографія ступінчатого зразка до та після прокатки.

2.2 Дослідження осередку деформації при поздовжній прокатці та визначення його параметрів.

Процес пластичної деформації металу поміж двома валками, що обертаються у взаємопротилежних напрямках, називається поздовжньою прокаткою (в подальшому - просто прокаткою). Частку металу поміж валками АВДС (рис. 2.3.а) в дану мить прокатки називають геометричним осередком деформації, границями якого є площіна входу металу у валки АС, та виходу із нього - ВД.

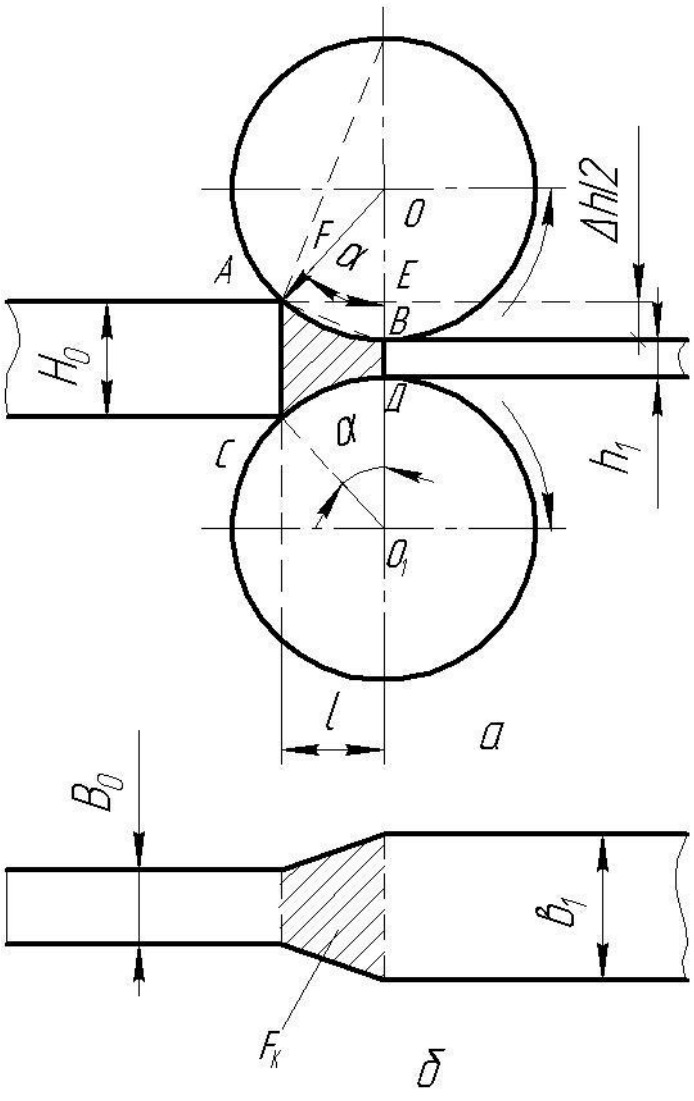


Рисунок 2.3 - Схема осередку деформації

Під час прокатки зменшується товщина штаби від H_0 до h_1 , але збільшується довжина від L_0 до l_1 і ширина від – B_0 до b_1. Індексами "0" позначаємо розміри зразка (штаби) до прокатки, а "1" - після прокатки.

Зменшення товщини називають абсолютним обтиском Δh:

$$\Delta h = H_0 - h_1. \tag{2.1}$$

Збільшення ширини називають розширенням Δb:

$$\Delta b = b_1 - B_0. \tag{2.2}$$

До головних параметрів осередку деформації відносять його довжину *l*, ширину $b_{ср}$ і кут захоплення (контакту) металу з валками α.

Кут контакту металу з валками α - центральний кут, утворений двома радіусами валка, проведеними із його центру до точок входу А та виходу В металу із валків.

Величина кута α визначається із трикутника АОЕ:

$$\cos\alpha = \frac{OE}{OA} = \frac{R - \Delta h/2}{R} \tag{2.3}$$

Звідки:

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right) \tag{2.4}$$

де D = 95мм - діаметр валків.

Розклавши cos α в ряд, отримують:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2!} + \frac{\alpha^4}{4!} + \frac{\alpha^6}{6!} + \ldots \qquad (2.5)$$

Взявши до уваги тільки два перших члена правої частини (2.5), запишемо:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2}. \qquad (2.6)$$

Прирівнявши праві частини (2.3) і (2.6), запишемо:

$$1 - \frac{\Delta h}{2R} = 1 - \frac{\alpha^2}{2}, \quad \text{або} \quad \alpha^2 = \frac{\Delta h}{R}. \qquad (2.7)$$

де R = 47,5мм - радіус валків.

Звідки отримаємо просту і зручну формулу для визначення α:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}, \ \text{рад} \qquad (2.8)$$

$$\alpha = 57{,}3\sqrt{\frac{\Delta h}{R}}, \ \text{град} \qquad (2.9)$$

Рівняння (2.3) часто використовується для визначення максимального обтиску із умов захоплення металу валками:

$$\Delta h_{max} = D(1 - \cos\alpha_{max}) \tag{2.10}$$

Довжину осередку деформації *l* можна визначити із прямокутного трикутника АОЕ, звідки:

$$l = AE = \sqrt{(AE)^2 - (OE)^2} = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \\ = \sqrt{R^2 - R^2 + 2R\frac{\Delta h}{2} - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} \tag{2.11}$$

Зневаживши за малістю другим членом під коренем, в кінцевому вигляді отримаємо:

$$l = \sqrt{\Delta h \cdot R}. \tag{2.12}$$

Переписавши (2.11) у вигляді $l^2 = \Delta h \cdot D/2$

і підставивши сюди значення Δh із (2.10), одержимо:

$$l^2 = \frac{D^2(1 - \cos\alpha)}{2} \tag{2.13}$$

Урахувавши, що $(1-\cos\alpha) = \sin^2\alpha/2$ і при порівняно невеликих кутах α прийнявши, що $\sin^2\alpha/2 = \alpha^2/2$, запишемо (2.13) у вигляді:

$$l^2 = \frac{D^2 \cdot \alpha^2}{4}. \qquad (2.13а)$$

У кінцевому вигляді (2.13а) матимемо зручну формулу для визначення довжини осередку деформації:

$$l = R \cdot \alpha. \qquad (2.14)$$

Площа контакту металу з валками F_k визначається рис. 2.1.б, звідки

$$F_k = \frac{B_0 + b_1}{2} l, \qquad (2.15)$$

або

$$F_k = \frac{B_0 + b_1}{2} \sqrt{\Delta h R}. \qquad (2.16)$$

Інтенсивність деформації при прокатці листів і штаб визначають відносним обтиском ε:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H_0} 100\%, \qquad (2.17)$$

а при прокатці в калібрах коефіцієнтом витяжки по формулі:

$$\mu = \frac{F_0}{F_1} = \frac{H_0 B_0}{h_1 b_1}. \qquad (2.18)$$

Усі результати розрахунків по визначенню параметрів осередку деформації по вищенаведеним формулам для кожної ступені зразка заносимо до таблиць 2.2, 2.3 та 2.4, а також будуємо графіки залежності $\alpha = f(\Delta h_i)$ і $\mu = f(\varepsilon)$.

Таблиця 2.2 - Параметри осередку деформації при прокатці для першої ступені зразка.

№ проходу	Розміри зразка				Площа перерізу, мм^2		Коефіцієнти деформації				Кут захоплення		Параметри осередку деформації		Площа контактної поверхні
	H_0	B_0	h_1	b_1	F_0	F_1	Δh, мм	Δb, мм	ε,%	μ	α, рад	α, град	l, мм	b_{cp} мм	F_{ki}, мм^2
1	12,5	21	11	21,5	262,5	236,5	1,5	0,5	12,00	1,11	0,18	10,18	8,44	21,25	179,37
2	11	21,5	8	22	236,5	176	3	0,5	27,27	1,34	0,25	14,40	11,94	21,75	259,64
3	8	22	5,7	22,4	176	127,68	2,3	0,4	28,75	1,38	0,22	12,61	10,45	22,2	232,04
4	5,7	22,4	4	22,8	127,68	91,2	1,7	0,4	29,82	1,40	0,19	10,84	8,99	22,6	203,09
5	4	22,8	2,9	23,8	91,2	69,02	1,1	1	27,50	1,32	0,15	8,72	7,23	23,3	168,42

Таблиця 2.3 - Параметри осередку деформації при прокатці для другої ступені зразка.

№ проходу	Розміри зразка				Площа перерізу, мм^2		Коефіцієнти деформації				Кут захоплення		Параметри осередку деформації		Площа контактної поверхні
	H_0	B_0	h_1	b_1	F_0	F_1	Δh, мм	Δb, мм	ε,%	μ	α, рад	α, град	l, мм	b_{cp} мм	F_{ki}, мм^2
1	12,5	41	11	41,2	512,5	453,2	1,5	0,2	12,00	1,13	0,18	10,18	8,44	41,10	346,92
2	11	41,2	8	41,5	453,2	332	3	0,3	27,27	1,37	0,25	14,40	11,94	41,35	493,61
3	8	41,5	5,7	41,8	332	238,26	2,3	0,3	28,75	1,39	0,22	12,61	10,45	41,65	435,34

4	5,7	41,8	4	42	238,26	168	1,7	0,2	29,82	1,42	0,19	10,84	8,99	41,90	376,52
5	4	42	2,9	42,1	168	122,09	1,1	0,1	27,50	1,38	0,15	8,72	7,23	42,05	303,95

Таблиця 2.4 - Параметри осередку деформації при прокатці для третьої ступені зразка.

№ проходу	Розміри зразка				Площа перерізу, мм^2		Коефіцієнти деформації				Кут захоплення		Параметри осередку деформації		Площа контактної поверхні
	H_0	B_0	h_1	b_1	F_0	F_1	Δh, мм	Δb, мм	ε,%	μ	α, рад	α, град	l, мм	b_{cp} мм	F_{ki}, мм^2
1	12,5	60	11	60,5	750	665,5	1,5	0,5	12,00	1,13	0,18	10,18	8,44	60,25	508,57
2	11	60,5	8	61	665,5	488	3	0,5	27,27	1,36	0,25	14,40	11,94	60,75	725,19
3	8	61	5,7	61,3	488	349,41	2,3	0,3	28,75	1,40	0,22	12,61	10,45	61,15	639,16
4	5,7	61,3	4	61,5	349,41	246	1,7	0,2	29,82	1,42	0,19	10,84	8,99	61,40	551,75
5	4	61,5	2,9	61,6	246	178,64	1,1	0,1	27,50	1,38	0,15	8,72	7,23	61,55	444,91

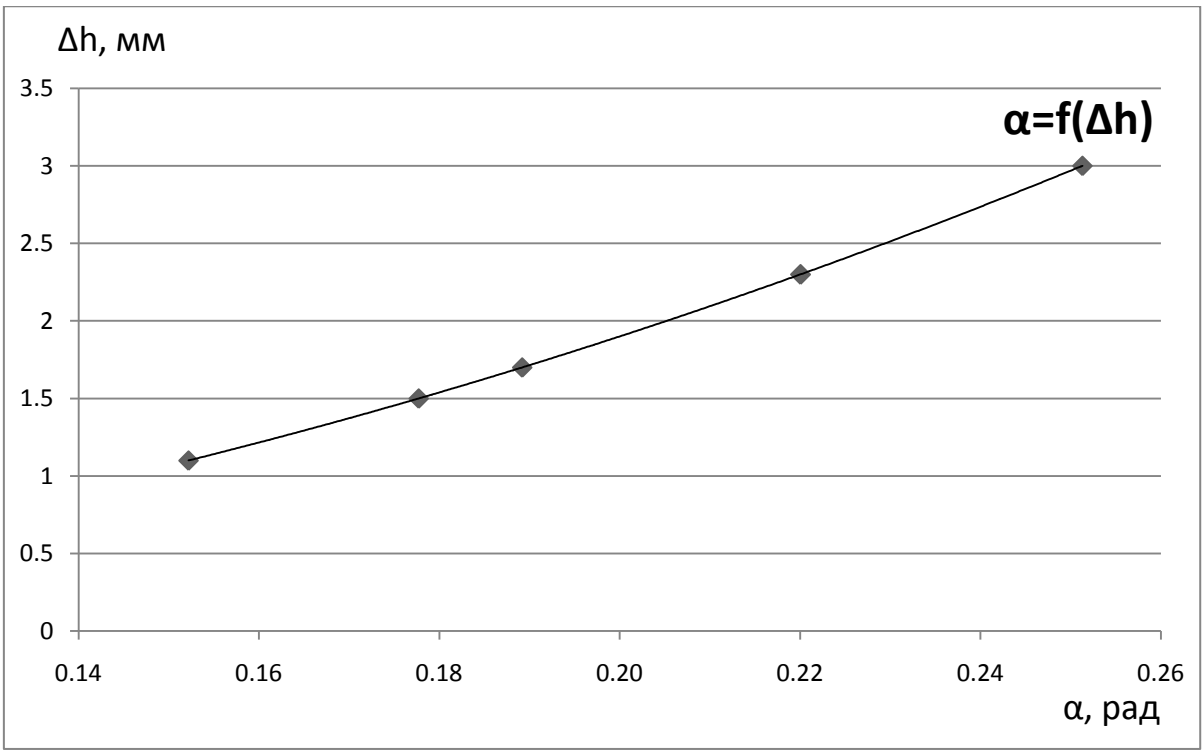


Рисунок 2.4 - Графічна залежність кута захоплення (α, рад) від абсолютного обтиску (Δh, мм).

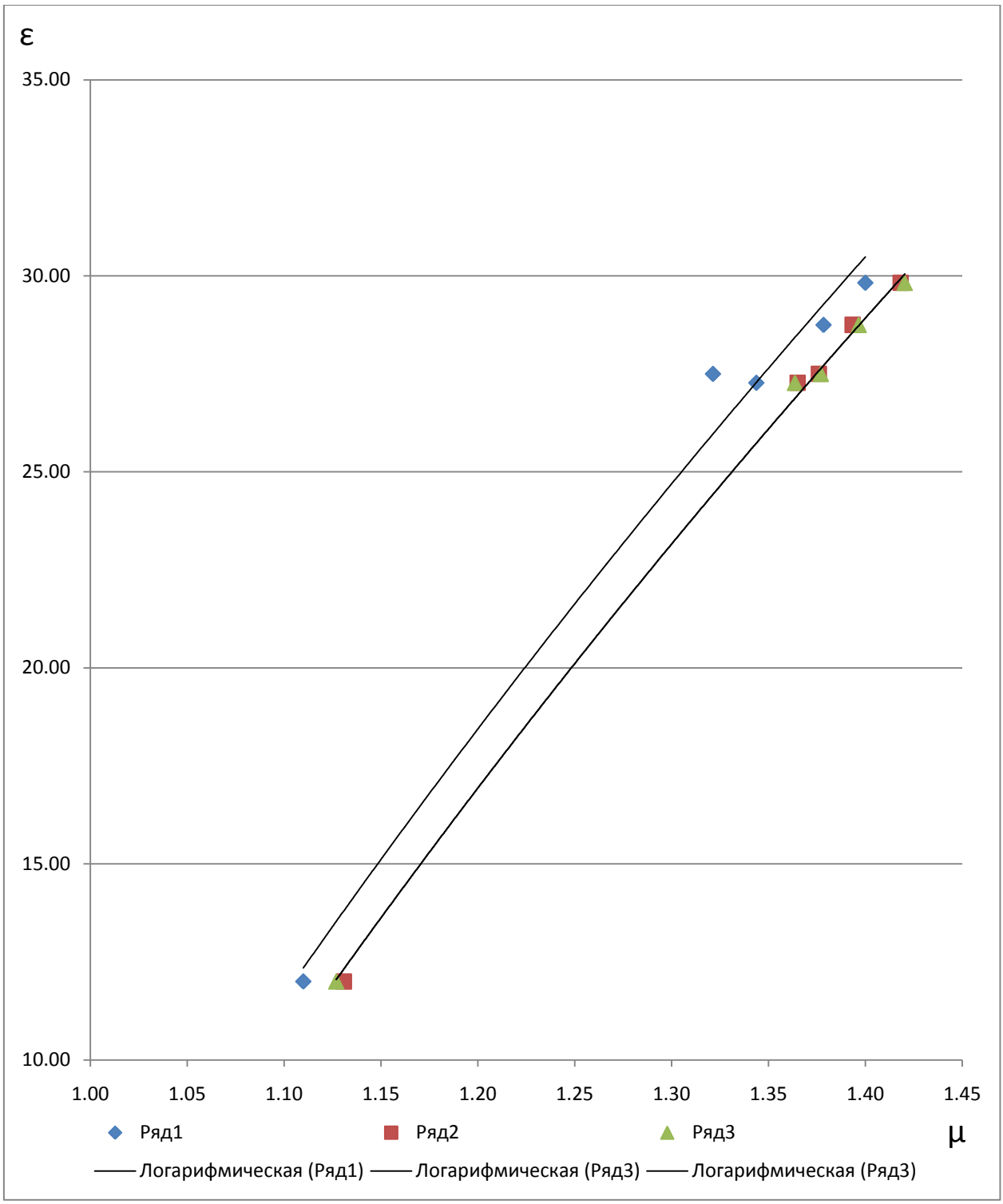


Рисунок 2.5 - Графічна залежність коефіцієнта витяжки (μ) від відносного обтиску (ε) по всім ступеням.

2.3 Дослідження сталості об'єму в процесі прокатки.

Оскільки, крім випадку згущення литого металу, густина майже не змінюється, апріорі приймають, що об'єм металу при ОМТ залишається сталим, тобто:

$$\mathbf{V_0 = V_1 = const} \tag{2.3.1}$$

де V_0 і V_1 - об'єм металу до і після обробки тиском.

Позначивши початкові лінійні розміри металевого паралелепіпеда до деформації висоту (товщину) - H_0, ширину - B_0 і довжину L_0 і відповідно опісля деформації h_1, b_1 , l_1 та скориставшись умовою (2.3.1), запишемо:

$$\boldsymbol{H_0 \cdot B_0 \cdot L_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1} \tag{2.3.2}$$

Вираз (2.3.2) за правилом пропорції перепишемо у вигляді:

$$\frac{\boldsymbol{H_0 \cdot B_0}}{\boldsymbol{h_1 \cdot b_1}} = \frac{\boldsymbol{l_1}}{\boldsymbol{L_0}} \tag{2.3.3}$$

Відношення l_1/L_o показує, у скільки разів видовжився паралелепіпед під час обтиску в процесі прокатки і називається коефіцієнтом поздовжньої деформації металу λ. Таким чином (2.3.3) у кінцевому вигляді дає:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{l_1}{L_0}} \tag{2.3.4}$$

Поділивши ліву та праву множини (2.3.2) на ліву, отримують:

$$\frac{H_0}{H_0}\cdot\frac{B_0}{B_0}\cdot\frac{L_0}{L_0}=\frac{h_1}{H_0}\cdot\frac{b_1}{B_0}\cdot\frac{l_1}{L_0} \qquad (2.3.5)$$

Частки ділення правої частини (2.3.5) позначають:

$$\eta=\frac{h_1}{H_0};\qquad \beta=\frac{b_1}{B_0};\qquad \lambda=\frac{l_1}{L_0} \qquad (2.3.6)$$

і відповідно називають коефіцієнтами висотної, поперечної і поздовжньої деформації.

Із (2.3.5) очевидно, що добуток, тобто:

$$\eta\cdot\beta\cdot\lambda=1 \qquad (2.3.7)$$

Усі результати розрахунків по визначенню коефіцієнтів деформації по вищенаведеним формулам для кожної ступені зразка заносимо до таблиць 2.5, а також будуємо графіки залежності $\lambda=f(1/\eta),\ \beta=f(1/\eta)$.

Таблиця 2.5 - Коефіцієнти деформації.

№ проходу	Розміри зразка, мм						Коефіцієнти деформації			$\eta \cdot \beta \cdot \lambda$
	H_0	B_0	L_0	h_1	b_1	l_1	η	β	λ	
Перша ступень зразка										
1	12,5	21	63	11	21,5	72	0,880	1,024	1,143	1,030
2	11	21,5	72	8	22	97	0,727	1,023	1,347	1,003
3	8	22	97	5,7	22,4	134	0,713	1,018	1,381	1,002
4	5,7	22,4	134	4	22,8	195	0,702	1,018	1,455	1,039
5	4	22,8	195	2,9	23,8	275	0,725	1,044	1,410	1,067
Друга ступень зразка										
1	12,5	41	63	11	41,2	73	0,880	1,005	1,159	1,025
2	11	41,2	73	8	41,5	98	0,727	1,007	1,342	0,983
3	8	41,5	98	5,7	41,8	134	0,713	1,007	1,367	0,981
4	5,7	41,8	134	4	42	195	0,702	1,005	1,455	1,026
5	4	42	195	2,9	42,1	285	0,725	1,002	1,462	1,062
Третя ступень зразка										
1	12,5	60	64	11	60,5	73	0,880	1,008	1,141	1,012
2	11	60,5	73	8	61	98	0,727	1,008	1,342	0,984
3	8	61	98	5,7	61,3	131	0,713	1,005	1,337	0,957
4	5,7	61,3	131	4	61,5	190	0,702	1,003	1,450	1,021
5	4	61,5	190	2,9	61,6	275	0,725	1,002	1,447	1,051

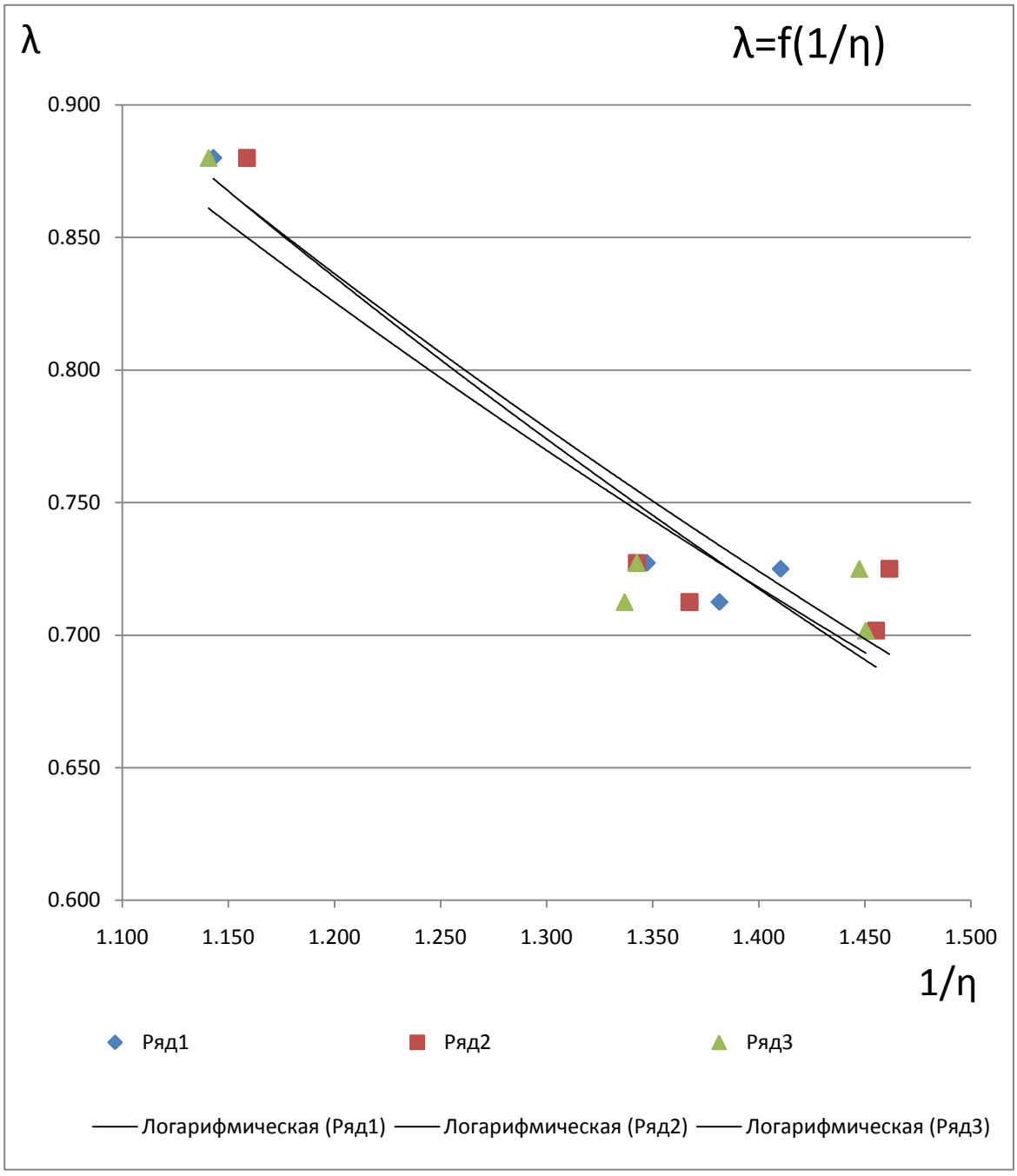

λ
λ=f(1/η)
0.900
0.850
0.800
0.750
0.700
0.650
0.600
1.100
1.150
1.200
1.250
1.300
1.350
1.400
1.450
1.500
1/η
Ряд1
Ряд2
Ряд3
Логарифмическая (Ряд1)
Логарифмическая (Ряд2)
Логарифмическая (Ряд3)

Рисунок 2.6 - Графічна залежність поздовжньої деформації металу (λ) від співвідношення (1/η) по всім ступеням.

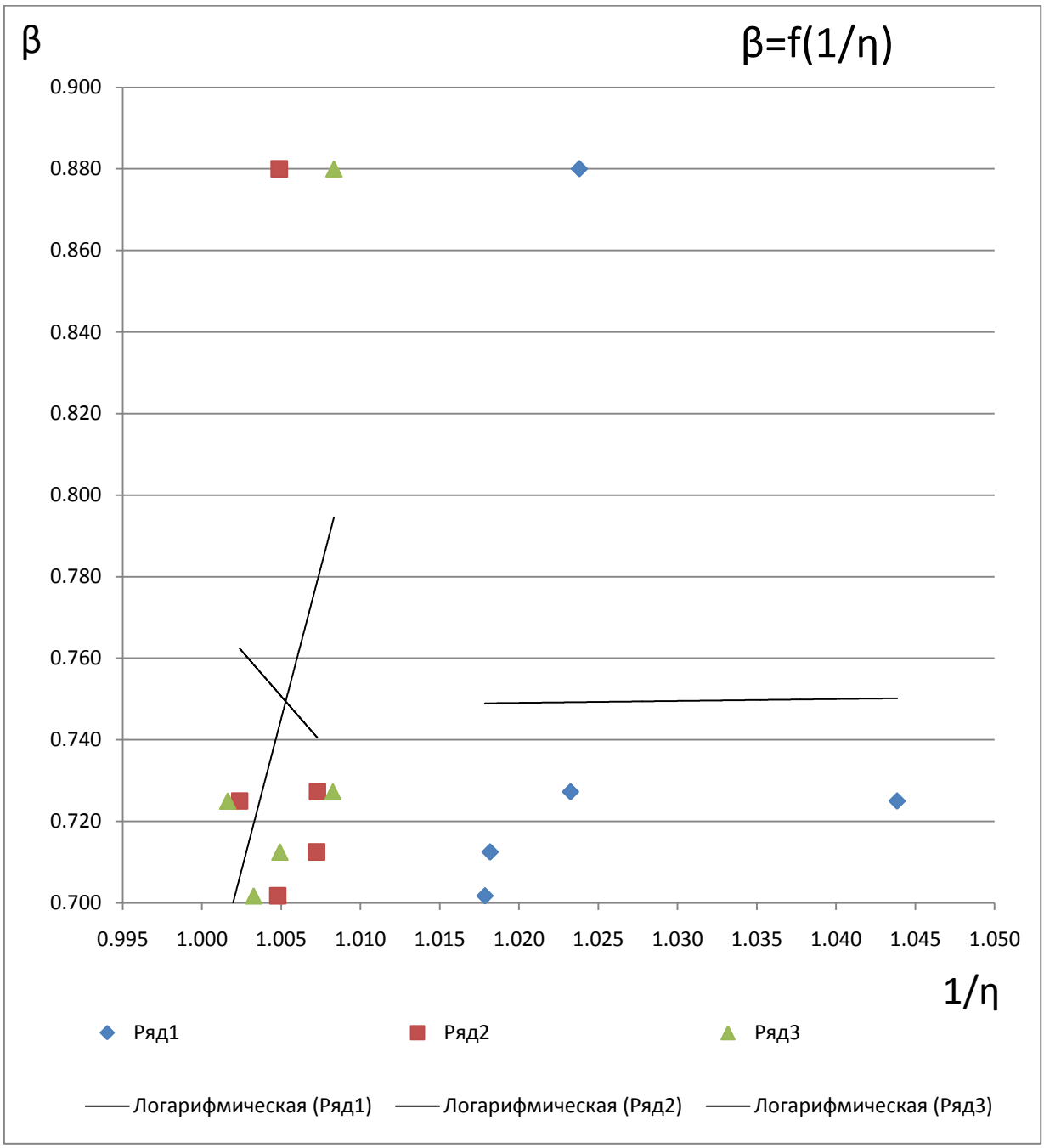


Рисунок 2.7 - Графічна залежність поздовжньої деформації металу (λ) від співвідношення (1/η) по всім ступеням за винятком останнього проходу.

2.4 Дослідження тиску матеріалу на валки і крутячих моментів при прокатуванні

Валки прокатних станів виконують основну операцію прокатки - деформацію (обтиснення) металу та придання йому потрібної форми поперечного перетину. В процесі деформації металу обертаючі валки сприймають тиски, виникаючі при прокатуванні і передають цей тиск на підшипники. Основні елементи валка: робоча частина (бочка), шийка, кінцева частина. В залежності від форми робочої частини валки розподіляються на листові та сортові.

Листові валки установлюють в клітях листових станів та вони мають бочку циліндричної форми. Сортові валки служать для прокатування сортових профілів і мають на робочій частині поглиблення (рівчаки). Рівчаки двох суміжних валків утворюють калібр, відповідний профілю прокату (наприклад, квадрату).

Для визначення зусиль Р, діючих на валки при деформації металу, використовують залежність:

$$P = p_{cp} \times b_{cp} \times \sqrt{\Delta h R},$$

де p_{cp} - середній питомий тиск, Н/м2,

b_{cp} - середня ширина штаби, м;

$\Delta h = H - h$ – абсолютне обтиснення, м;

H, h – відповідно висота заготовок до та після проходу, м.

При практичних розрахунках зусилля прокатування знаходять як добуток середнього контактного нормального напруження (контактного тиску) $p_{ср}$ на проекцію до напряму зусилля P площі стикання металу з валком P:

$$P = p_{ср} \times F.$$

Момент прокатування:

$$M_{пр} = 2P \times a = 2\psi l P \approx 2\psi P\sqrt{\Delta h R},$$

де a - плече прикладання зусилля прокатки, м;

ψ - коефіцієнт плеча прикладання рівнодіючої;

l - довжина зони деформації, м;

R - радіус валка, м.

На основі експериментальних даних можна прийняти: при гарячій прокатці ψ= 0,45...0,5 та при холодній прокатці ψ= 0,2...0,35.

Зокрема викладеного, для визначення моменту прокатування використовується другий метод по витраті енергії при прокатуванні [1].

Загальний момент прокатування по різним причинам між валками розподіляються нерівномірно. З погляду на це розрахунковий момент, який при падає на один шпиндель, визначають як:

$$M_P = (0{,}6...0{,}8)M_{пр}.$$

Момент на валу двигуна, необхідний для приводу валків прокатного стана, складається з чотирьох величин:

$$M_{дв} = \frac{M_{пр}}{i} + M_{ТР} + M_{хол} + M_{дин},$$

де Мпр - момент прокатування;

і - передаточне число між валками та двигуном;

Мтр - момент додаткових сил тертя, приведений до валу двигуна;

Мхол - момент холостого ходу;

Мдин - динамічний момент на валу двигуна, необхідний для подолання інерційних зусиль, виникаючих при нерівномірному обертанні валків.

Середній питомий тиск металу на валки, обчислюють за формулою О.І. Целікова:

$$p_{cp} = \frac{2K(1-\varepsilon)}{\varepsilon(\delta-1)}\left(\frac{h_H}{h}\right)\left[\left(\frac{h_H}{h}\right)^{\delta} - 1\right],$$

де К - опір металу деформації К = 1,15σs ;

σ_s - межа текучості металу в умовах прокатки, МПа.

При холодній прокатці (σs визначається по графікам в залежності від відносного обтиснення ε [1, 2].

ε - відносне обтиснення:

$$\varepsilon = \frac{H-h}{H};$$

δ - коефіцієнт, враховуючий вплив зовнішнього тертя.

$$\delta = f\sqrt{\frac{2D}{\Delta h}};$$

f - коефіцієнт зовнішнього тертя металу об валки. В випадку холодної прокатки алюмінію (без змазування) f = 0,16...0,24, при великій ступені "заалюміні-юванні" робочої поверхні валків f = 0,24...0,32. При прокатуванні міді f = 0,16...0,20 і латуні (з наклепом) f = 0,1...0,12; D - діаметр валка, м;

$\frac{h_H}{h}$ - відношення висоти розкату в нейтральному перетині до його висоти після проходу:

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1)\left(\frac{H}{h}\right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right]^{\frac{1}{\delta}}.$$

Для визначення коефіцієнта плеча рівнодіючої тиску металу на валки ψ по експериментальним даним можна скористуватися формулою:

$$\psi = \frac{M_{ПР}}{2P_Э\sqrt{R \times \Delta h}},$$

де МПР - момент прокатки, який витрачається на пластичну деформацію металу в валках, Нм;

$$M_{ПР} = M_Э \times \eta_Ш - M_{ТР},$$

МЭ - повний крутячий момент при сталому процесі прокатування, Нм; ηш = ККД універсального шпинделя (прийняти ηш =

0,97) МТР - сумарний момент тертя в опорах валків, Нм; РЭ - повне значення тисків при сталому процесі прокатки, Н.

Сумарний момент тертя в опорах валків складається з моментів тертя в підшипниках верхнього МТРі, та нижнього МТР2 робочих валків при прокатці:

$$M_{TP} = M_{TP1} + M_{TP2};$$

$$M_{TP1} = (P_y - G_B)\frac{fd}{2};$$

$$M_{TP2} = (P_y - G_B)\frac{fd}{2},$$

де Ру - стале значення тиску на натискному гвинті Н; GB - вага робочого валка; Gв = 100 Н; d - діаметр шийки валка, м; f - коефіцієнт тертя в підшипниках валка (для бронзових підшипників робочих валків лабораторного стана прийняти f = 0,11).

Усі результати розрахунків по визначенню зусилля та моменту прокатки по вищенаведеним формулам для кожної ступені зразка заносимо до таблиці 2.6, приймемо що межа текучості свинцю в умовах прокатки становитиме σ_s = 30 МПа.

Таблиця 2.6 Розрахунок зусилля та моменту прокатки.

№ проходу	Розміри зразка				Коефіцієнти деформації					
	H_0	B_0	h_1	b_1	Δh,мм	$b_{ср,мм}$	ε	δ	$\frac{h_H}{h}$	p M
Перша ступень зразка										
1	12,5	21	11	21,5	1,5	21,25	0,12	2,25	1,04	36
2	11	21,5	8	22	3	21,75	0,27	1,59	1,07	37
3	8	22	5,7	22,4	2,3	22,2	0,29	1,82	1,09	38
4	5,7	22,4	4	22,8	1,7	22,6	0,30	2,11	1,11	40
5	4	22,8	2,9	23,8	1,1	23,3	0,28	2,63	1,12	41
Друга ступень зразка										
1	12,5	41	11	41,2	1,5	41,1	0,12	2,25	1,04	36
2	11	41,2	8	41,5	3	41,35	0,27	1,59	1,07	37
3	8	41,5	5,7	41,8	2,3	41,65	0,29	1,82	1,09	38
4	5,7	41,8	4	42	1,7	41,9	0,30	2,11	1,11	40
5	4	42	2,9	42,1	1,1	42,05	0,28	2,63	1,12	41
Третя ступень зразка										
1	12,5	60	11	60,5	1,5	60,25	0,12	2,25	1,04	36
2	11	60,5	8	61	3	60,75	0,27	1,59	1,07	37
3	8	61	5,7	61,3	2,3	61,15	0,29	1,82	1,09	38
4	5,7	61,3	4	61,5	1,7	61,4	0,30	2,11	1,11	40
5	4	61,5	2,9	61,6	1,1	61,55	0,28	2,63	1,12	41

3 Дослідження силових параметрів прокатки за допомогою тензометричних датчиків.

3.1 Будова тензометричних датчиків

Для дослідження напружень і навантажень у деталях та вузлах металургійних машин і механізмів широко використовуються тензометричні датчики опору.

Сутність тензометрування полягає в тому що на об'єкт, в якому потрібно визначити навантаження, кріпляться сприймаючі елементи з кількох тензодатчиків, зібраних у місткову схему з подачею на неї електроживлення. Разом з деформацією піддослідного об'єкту деформуються і тензодатчики, змінюючи свій опір. В результаті чого на виході моста виникає електричний сигнал розбалансу, пропорційний величини деформації (напруження, навантаження).

Використовують дротові та фольгові тензодатчики (рис.3.1).

Дротяний тензодатчик (рис.3.1, а) складається з тонкого дроту діаметром 0,012...0,05 мм з великим омічним опором (200 Ом), зигзагоподібно розташованих поміж двох шарів паперу або плівки. Фольгові тензодатчики (рис.3.1, б), на відміну від дротяних, мають спіраль, виготовлену із фольги значно меншої товщини методом фото-травлення. Як ізолююча підстилка використовується лакостійка плівка. Матеріалом для тензодатчиків є константан, манганін та ніхром. Тензодатчики на паперової підстилці скріплюються з деталлю за допомогою клею БФ-2 , а тензодатчики на плівочній підстилці – лаком ВЛ-4 або ВЛ-7. Для більш надійної роботи тензодатчиків вони після наклейки можуть бути захищені від впливу вологи спеціальними покриттями (фуріловою смолою Ф-10, клеєм Р-88, перхлорвініловою емаллю ХЗ-13 та ін.). Наклейку тензодатчиків здійснюють так, щоб їх осьова лінія суворо збігалась з лінією впливу головних напружень. В такому разі тензодатчик сприймає суто деформації розтягнення або стиску. При розтягненні опір тензодатчиків збільшується, при стиску – зменшується.

Зміна опору тензодатчика підкоряється лінійному закону. Як відомо, опір провідника, Ом :

$$R = \rho \frac{l}{S}, \tag{3.1}$$

де ρ – опір провідника, Ом·м;

l – довжина провідника, м;

S – площа поперечного перерізу, м^2.

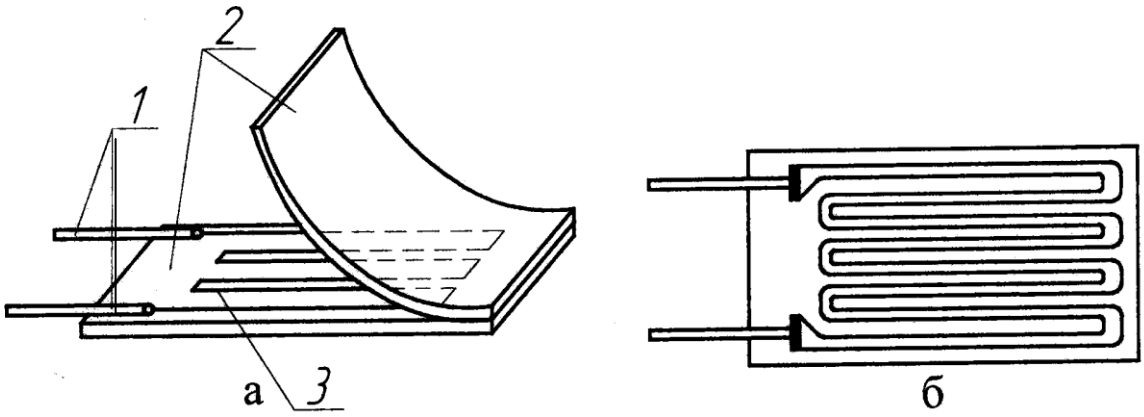
Тому, що коефіцієнт Пуассона малий, S змінюється незначно. При постійних ρ і S опір прямо пропорційний l. Однак опір тензодатчика змінюється і при зміні температури навколишнього серодовища, Ом :

$$R_t = \rho \cdot l \cdot \frac{1 + a \cdot (t_1 - t_0)}{S}; \tag{3.2}$$

де a - коефіцієнт лінійного подовження;

$t_1 - t_0$ - перепад температур.

Тому один датчик здебільше не застосовують, а використовують спеціальні схеми їх з'єднання, виключаючи вплив температури навколишнього середовища.



1 – виводи; 2 – ізоляційна підстилка; 3 – спіраль

Рисунок 3.1 – Пристрій дротяного (а) і фольгового (б) тензодатчиків

3.2 Спосіб з'єднання тензодатчиків

Для того, щоб виключити похибки від температурного впливу, отримати подвійну або збільшену в четверо чутливість тензодатчиків в порівнянні з одним, тензодатчики з'єднують по містковій схемі. На рис. 3.2 а показана схема одинарного мосту Уітстона, який дає можливість компенсувати температурний вплив на показання тензодатчиків та підвищити їх чутливість.

Тензодатчики з'єднують так, щоб отримати найбільшу різницю у виразі для знаходження сили струму. Дійсно, що найбільше значення струму буде отримано, якщо тензодатчики R_1, R_3 будуть сприймати деформацію розтягнення, збільшуючи свій опір, а тензодатчики R_2, R_4 – деформацію стиснення, зменшуючи свій опір. Але у цьому випадку

необхідно розглянути схему із її можливості компенсувати дію температурного впливу. Якщо при зміні температури деталі, що досліджується, усі датчики моста сприймають деформацію одного знаку, то така схема буде компенсувати температурний вплив. У випадку, коли датчики мають різні деформації, необхідно використовувати місткову схему з компенсаційними датчиками (рис.3.2, б), які не повинні сприймати активних деформацій. Їх наклеюють на пластинах, розташованих поряд з піддослідною деталлю, або перпендикулярно до лінії дії головних напружень.

Відповідно в містковій схемі (рис.3.2, б) робочі датчики R_1,R_2 повинні мати один вид деформації (розтяг або стиск), так як в протилежному випадку сигнал на виході мосту буде рівний нулю.

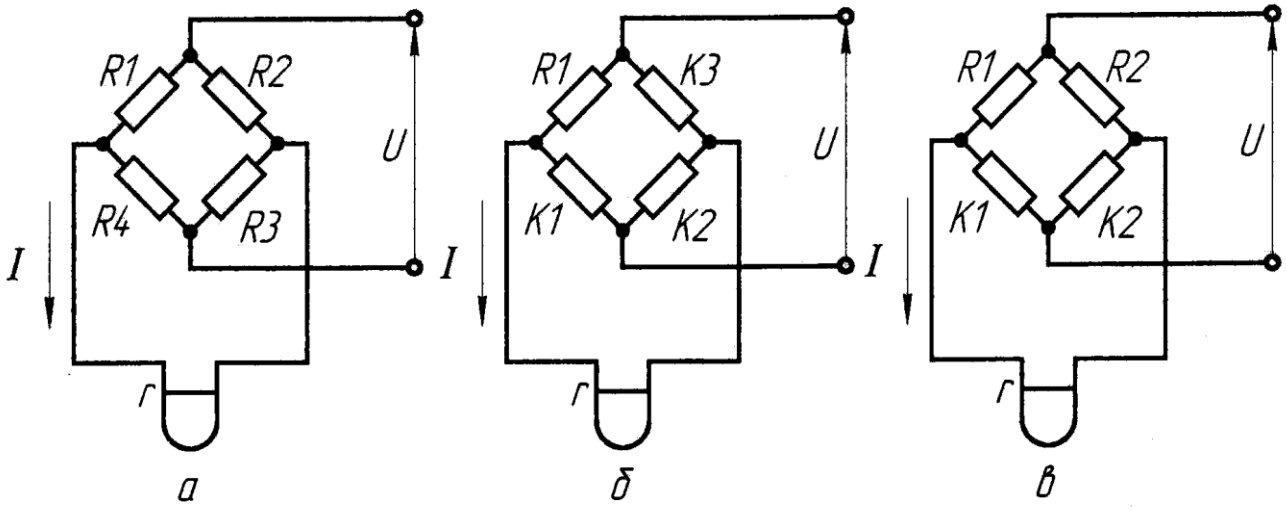


Рис. 3.2 – Схеми з’єднання тензодатчиків: R – робочі (активні) датчики; К – компенсаційні датчики

Якщо робочі датчики мають деформації зворотних знаків (у випадку виміру напруження вигину у балці при наклеюванні з нижньої та верхньої сторін), схема включення мосту буде мати вигляд, показаний на рис. 3.2 в. Ця схема використовується при вимірах крутних моментів, при цьому компенсаційні датчики розташовують на окремій пластині.

3.3 Вимір зусиль під натискними гвинтами за допомогою мездоз

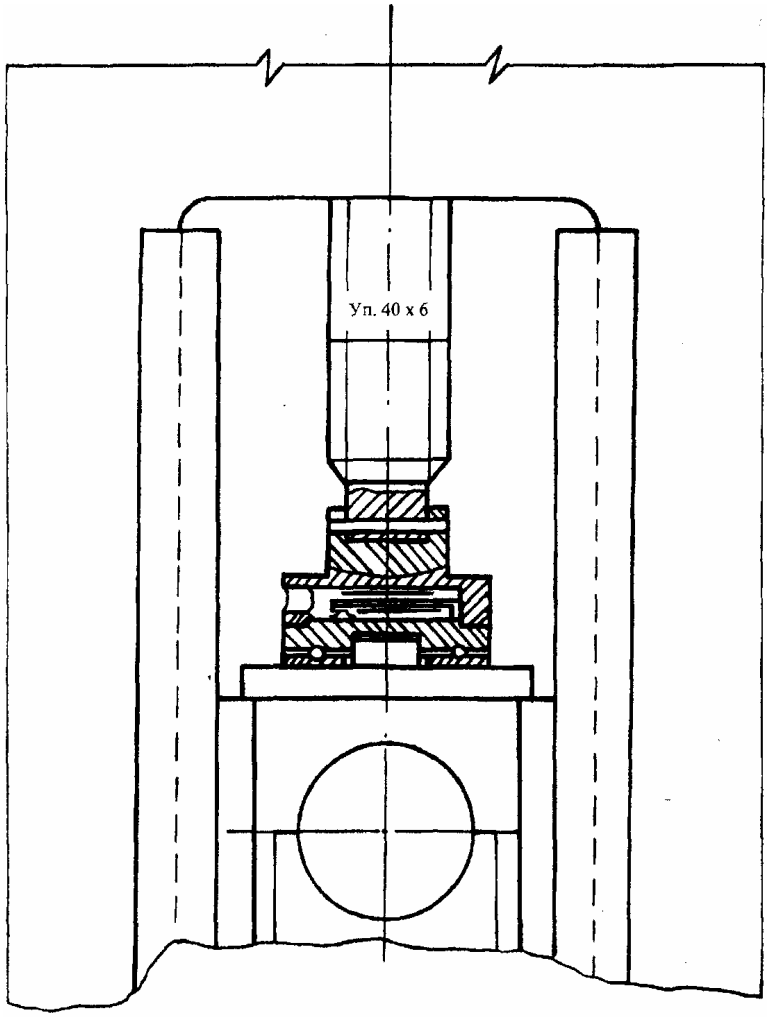


Рисунок 3.3 – Встановлення мездози заміру тиску при прокатці

У мездозі мембранного типу (рис.3.4) два робочих датчика 1, наклеєно на внутрішню поверхню мембрани 2, виконаної за одне ціле з корпусом 3. Знизу мездоза зачинена кришкою 4. Компенсаційні датчики 5 наклеєні на не навантажену пластину 6, розміщену у корпусі мездози. Сферичні укладки 7 забезпечують центральне навантаження до мездози.

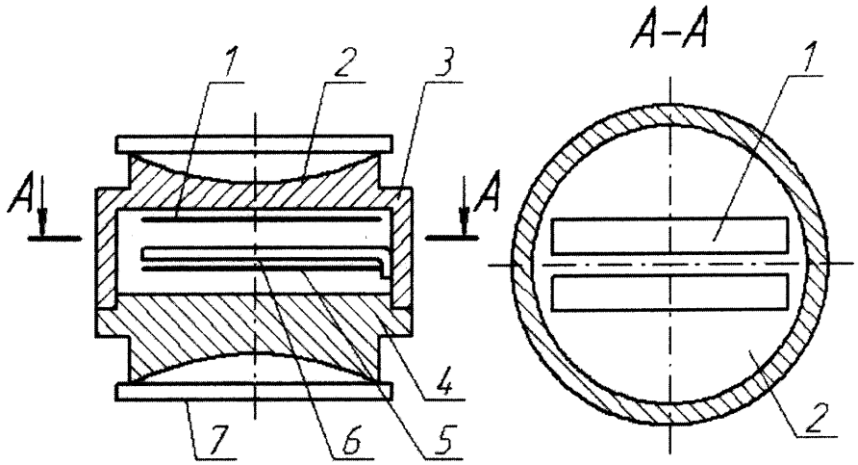


Рисунок 3.4 – Мездоза для дослідження зусиль

Тарування мездоз мембранного типу виконуємо безпосереднім навантаженням на лабораторному пресі ПГПР-4.

Прес гідравлічний ручний ПГПР-4 призначений для вивчення дії гідравлічного преса і демонстрації різних фізичних дослідів, де потрібно

значний тиск до 15МПа (150кгс/см^2), для випробування матеріалів на вигин, розтяг, стиск, розрив, штампування матеріалу і тарування.

Технічні характеристики преса гідравлічного ручного ПГПР-4:

- Діаметр великого поршня (плунжера) – D = 58 мм
- Діаметр малого поршня – d = 10 мм
- Хід великого поршня – L = 60 мм
- Максимальна відстань між поршнем і верхньою плитою - 120 мм
- Діаметр опорної поверхні поршня - 80 мм
- Номінальне зусилля - 39,2 кН (4 тс)
- Граничний робочий тиск - 15,2 МПа (155 кгс /см^2)
- Маса - 22 кг
- Розміри - 460х385х160 мм

Мездозу встановлюємо поміж верхньою траверсою та плунжером і підключаємо до реєструючої апаратури.

Задаємо тарувальні зусилля, Н :

$$F_T = P_T \cdot A \cdot k;$$

де P_T – тиск мастила у циліндрі гідропресу, який встановлюється по манометру, МПа (Н/мм^2);

А – площа великого поршня , мм^2;

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 58^2}{4} = 2640 мм^2$$

k = 0,98 - коефіцієнт, враховуючий втрати на тертя в ущільненні.

Виконуємо тарування для наступних показань манометра:

$$0\text{МПа} \rightarrow F_0 = 0 \cdot 2640 \cdot 0.98 = 0\,H$$

$$5\text{МПа} \rightarrow F_5 = 5 \cdot 2640 \cdot 0.98 = 12936\ H$$

$$10\text{МПа} \rightarrow F_{10} = 10 \cdot 2640 \cdot 0.98 = 25872\ H$$

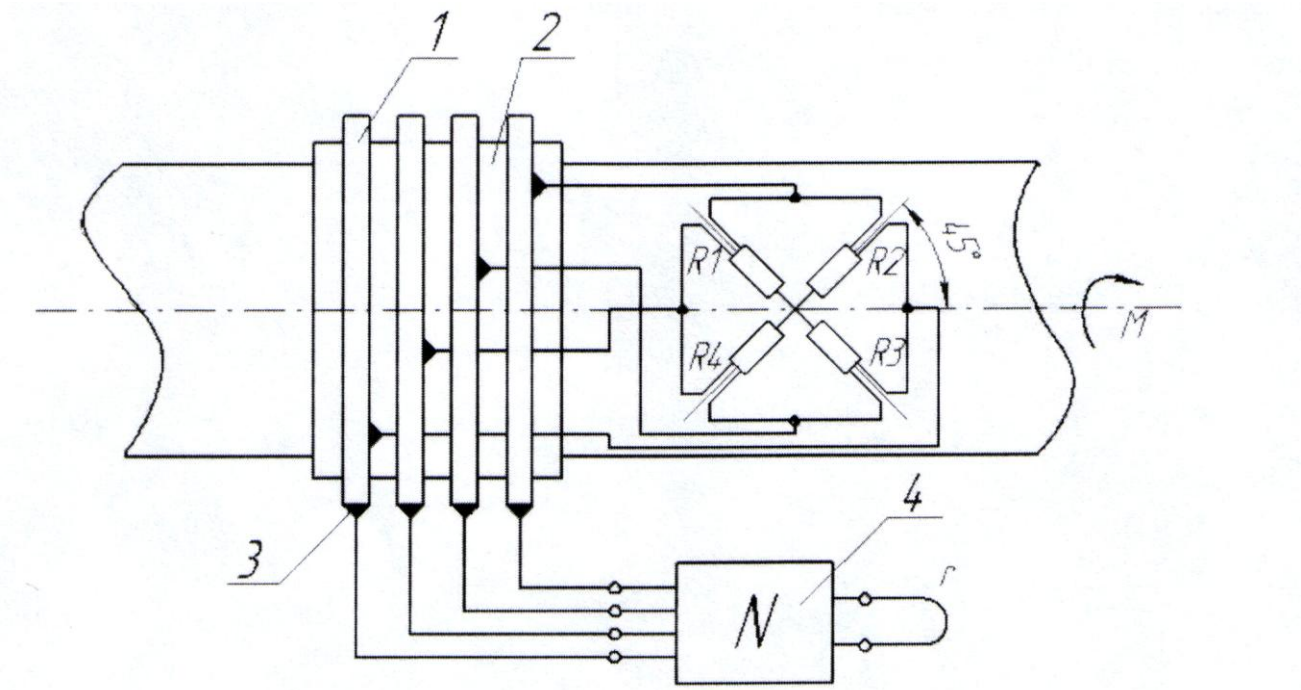
$$15\text{МПа} \rightarrow F_{15} = 15 \cdot 2640 \cdot 0.98 = 38808\ H$$

Замір зусиль під натискними гвинтами виконуємо за допомогою обчислювально-вимірювального комплексу MIC-212 та програми Recorder-3.0.5.17b. Подальшу обробку файлів виконуємо в програмному комплексі WinPos-2.1.0.6-pro. Робочі осцилограми замірів подано в додатку.

3.4 Вимірювання крутних моментів

При вимірюванні дотичних напружень і крутних моментів робочі датчики наклеюють на вал під кутом 45° до осі та під кутом 90º один до одного. Вони одержують різні по знаку напруження: один датчик працює на стиск, другий – на розтягнення. Міст може бути складений з двох або чотирьох робочих датчиків. Схема розміщення тензодатчиків на валу показана на рисунку 3.5.

Для точного наклеювання тензодатчиків на вал по осям найбільших деформацій використовують трафарети з паперу або картону, котрі наклеюють на підготовлену поверхню.



1 – токоз’ємні кільця; 2 – ізолююча втулка; 3 – контактні щітки;

4 – реєструюча апаратура.

Рисунок 3.5 – Схема розташування тензодатчиків на валу

При наклейці тензодатчиків на валу, який досліджується, тарування крутних моментів виконують, як правило, непрямим способом, так як вал механізму важко навантажувати тарувальними приладами.

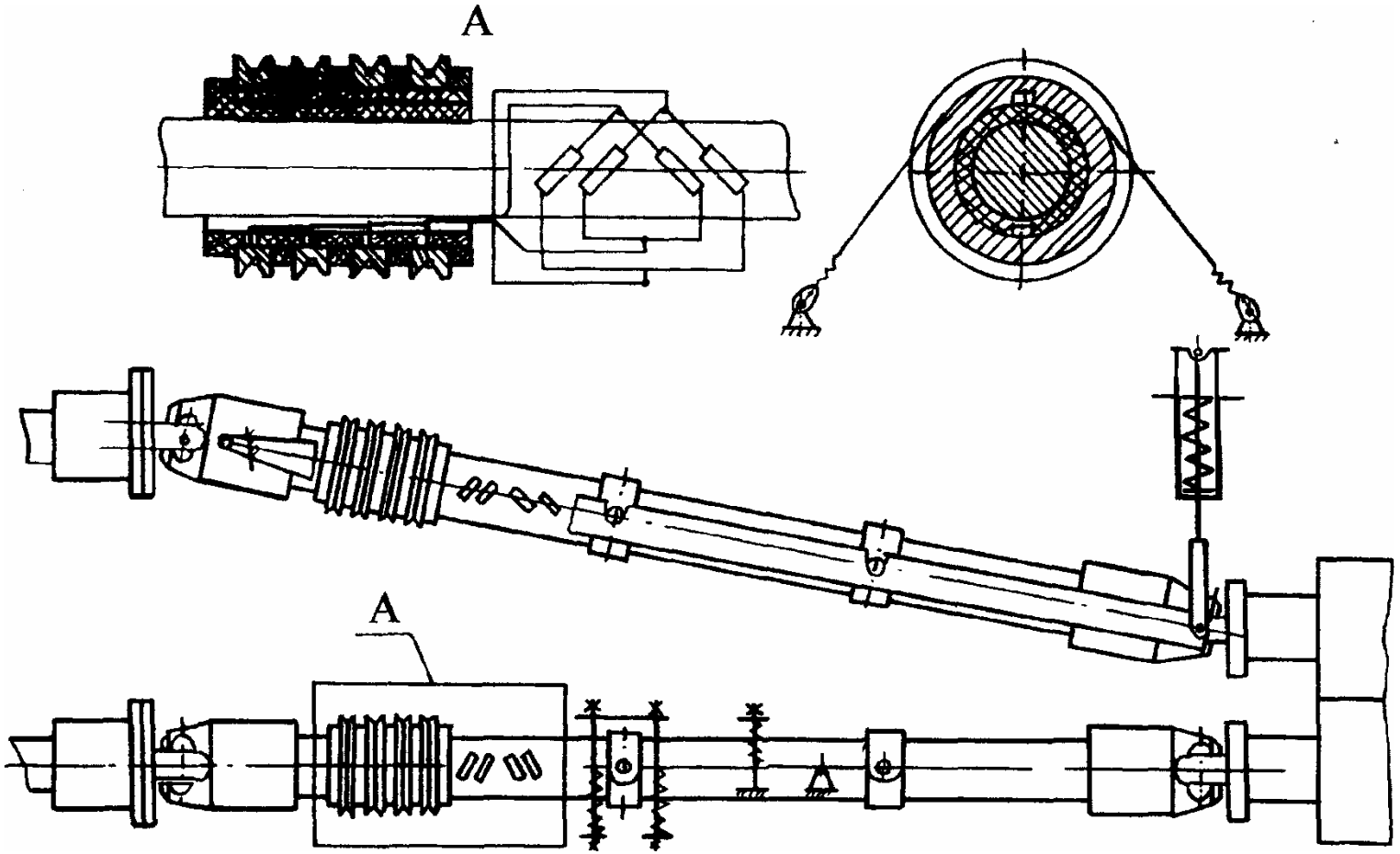


Рисунок 3.6 – Місце розташування датчиків токозємного приладу на універсальних шпинделях при дослідженні крутячих моментів

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1 Ознайомлення з технологією й устаткуванням ЦГПТЛ ПАТ «Запоріжсталь» показало, що одним з «вузьких місць» прокатного стану є динамічні навантаження в приводі стана, що суттєво впливають на працездатність окремих деталей та стані в цілому.

2 На основі проведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури, а також відповідно з виробничими можливостями цеху встановлені „вузькі" місця цеху та надано рекомендації щодо усунення деяких з них.

3 В прикладній частині представлено опис місця лінії робочої кліті в технологічному процесі, опис конструкції та принципу дії робочої кліті, опис та характеристики елементів лінії робочої кліті. Виконані розрахунки параметрів деформації, визначені значення зусилля прокатки, моменту та потужності прокатки. Проведено розрахунки на міцність його найбільш навантажених деталей робочої кліті (опорний та робочий валок), які вказують на високий запас міцності ($n = 8{,}19 > [n] = 4$). Представлено розрахунок потужності приводу станинних роликів.

4 В дослідницькій частині магістерської роботи було проведено огляд та аналіз устаткування дослідної моделі прокатного стану. Розроблена схема проведення експерименту для дослідження зусиль і крутних моментів при прокатці. Наведено опис вимірювальної апаратури «МС-212» та програмних комплексів Recorder та WinПос для отримання, обробки та візуалізації інформації з сигналів, що отримані під час експерименту.

За результатами обробки теоретичних та експериментальних даних можна дійти наступного висновку. Аналізуючи робочі осцилограми по

отриманим сигналам ми бачимо, що зусилля під натискними гвинтами нерівне. Це можливо обгрунтувати тим, що зразок має ступінчасту форму по ширині і при входженні в кліть першої ступені центрується по середині бочки валків, а вже друга та третя ступінь зміщується у бік приводної частини. Тим самим збільшується зусилля під натискним гвинтом з боку приводу. Також дослідження показали, що в період неусталених процесів зусилля прокатки збільшується до 10%.

5 В електричній частині проведено розрахунки вибору потужності двигуна головного приводу робочої кліті, вибору силової комунікаційної апаратури та наведено опис роботи електросхеми привода.

6 В організаційній частині дана характеристика ремонтної служби комбінату, зроблені розрахунки обґрунтування чисельності механослужби, річного фонду заробітної плати механослужби. Розроблено мережевий графік капітального ремонту та модернізації лінії робочої кліті.

7 У розділі охорона праці та техногенна безпека проведено аналіз потенційних шкідливих факторів виробничого середовища при проведені експерименту. Надані методи захисту від небезпечних факторів та рекомендації них щодо техніки безпеки при роботі у лабораторії. Наведено дані стосовно причин аварій виробництва на металургійному підприємстві. Зроблено розрахунок освітлення лабораторії..

8 В розділі техніко-економічне обґрунтування був зроблений розрахунок додаткових капітальних вкладень на розробку пропозицій по проектуванню прокатного обладнання з урахуванням перевантажень, що виникають в період неусталеного процесу прокатки, та величину прибутку від їх впровадження.

9 Представлена в робота може бути впроваджена на ПАТ „Запоріжсталь” в ЦГПТЛ або використана на підприємствах металургійної промисловості, що мають аналогічне устаткування.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Королев, А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Металлургия, 1985. - 376 с.
2. Машины и агрегаты металлургических заводов В 3 т. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката : учебник для вузов / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник и др. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Металлургия, 1988. - 680 с.
3. Теория продольной прокатки: учеб. пособие для вузов / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. - М. : Металлургия, 1980. - 319 с.
4. Теория прокатки. Справочник /Целиков А. И., Томленов А. Д., Зюдин В. Н., Третьянов А. В., Никитин Г. М. - М.: Металлургия, 1982.-335с.
5. Обладнання для обробки металів тиском. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт. Для студентів ЗДІА за спеціальністю 6.050503 «Машинобудування» / Укл.: Федьков Г.О., Кобрін Ю.Г. – Запоріжжя, 2011. − 57 с.
6. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів ЗДІА спеціальності 7.090218 “Металургійне обладнання” / Укл.: К.В. Таратута, М.Г. Прищип. – Запоріжжя, 2005.- 28с.
7. Паспорт діючої модель обтискного прокатного стану виконана в 1/10 натуральної величини призначеного для проведення лабораторних і дослідницьких робіт. -Запоріжжя. 1967.
8. Проблеми та напрямки подальшого розвитку металургійного обладнання. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для

студентів ЗДІА всіх форм навчання за спеціальністю 8.05050311 «Металургійне обладнання» / Укл.: Малишев Г.П., Таратута К.В., Власов А.О.− Запоріжжя, 2014. – 106с.

9. Методичні вказівки до виконання магістерської роботи наукового спрямування (спеціальність 8.090218 "Металургійне обладнання" /Укл. Жук А.Я., Малишев Г.П. Запоріжжя, 2004 – 72 с..

10. Подшипники качения: Справочник–каталог /Под ред. В.Н. Нарышкина и Р.В. Коросташевского. – М.: Машиностроение, 1984. – 280с., ил.

11. Выдрин Н.В., Федосеенко А.С. Автоматизация прокатного производства. – М.: Металлургия, 1984. – 472с.

12. Афанасьев В.Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве. – М.: Металлургия, 1979. – 280с.

13. Таратута К.В. Організація та планування виробництва.-Запоріжжя: Видавництво ЗД1А, 2006-33с.

14. Комплекс измерительно-вычислительный МІС. Руководство по эксплуатации. БЛИЖ 40 1250.001. РЭ. НПП «Мера», 2009. -146с.

15. Recorder. Программа управления комплексом МІС. Руководство пользователя. Редакция 2. НПП «Мера», г. Королев, 2005. -116 с.

16. WinПОС. Пакет Обработки Сигналов. Руководство пользователя. Издание второе (2.8). НПП «Мера», г. Королев -2007. – 172с.

17. Ткачук К. Н., Иванчук Д. Ф., Сабарно Р. В., Степанов А. Г. Справочник по охране труда на промышленном предприятии.- К.: Техника, 1991.- 185 с.

18. Жидецький В.И. Основи охорони праці – Львів, Афіша,2002.

19. Охорона праці. Методічні вказівки до виконання розділу дипломного проекту./ Укл.: Румянцев В.Р. та інші. –Запоріжжя, 2011.

20. Т.Ю.Кепич та ін.Ісажов В.Г. Охорона праці в гал. Інженерні рішення практичних задач. Х.: 2005.

21. Охорона праці та промислова безпека. Навч. Посіб. К.М. Ткачук та ін. К.: Основа, 2009.

22. Бринза В.М. Охрана труда в прокатном производстве. - М.: Металлургия, 1990.- 237 с.