

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

ФАКУЛЬТЕТ _____ МЕТАЛУРГІЙНИЙ _____

(назва)

КАФЕДРА _____ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ _____

(назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: Дослідження на фізичній моделі роботи натискного механізму роликової листопральної машини. _____

Спеціальність _____ «Металургійне обладнання» 8.05050311 _____

(найменування)

Виконавець _____ Коломійченко Д.А.

(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____

(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Розглянуто на засідання кафедри

(найменування кафедри)

Рекомендовано до захисту в ДЕК

Протокол № _____

_____ р.

Завідувач кафедри

(підпис) (прізвище, ініціали)

Запоріжжя

2015р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи містить: с., 7 частин, рис., таблиць, додатки, 24 джерела літератури.

Об'єкт дослідження – діюча модель листоправильної роликової машини.

Мета – дослідження зусиль і крутних моментів при виправленні листа експериментальним шляхом, знаходження розрахункових навантажень роликоправильної машини й порівняння їх з експериментальними даними при виправленні листа.

У магістерській роботі наведено: технічна характеристика моделі правильної машини, її призначення та сфера застосування. Проведено дослідження з метою визначення технологічних навантажень під час правки листа, отримані результати експериментальних досліджень порівняні 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.

Представлено опис проекту модернізації натискного механізму правильної машини.

Визначені технологічні навантаження, які діють на привод, виконано розрахунки на міцність його основних елементів (зубчасте зачеплення), вибрано електродвигун приводу листоправильної машини; також виконано розрахунки на міцність елементів натискного механізму та найбільш навантажених вузлів.

Результати роботи можуть бути рекомендовані для введення в експлуатацію в ЦГПТЛ, а також на аналогічних підприємствах металургійної промисловості.

АПР, ПРАВИЛЬНА МАШИНА, МОДЕЛЬ, ЗРАЗОК, ЕКСПЕРИМЕНТ, ДЕФОРМУВАННЯ, ТЕНЗОМЕТРИЧНИЙ ДАТЧИК, ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС, ГВИНТ, ГАЙКА, ЗАЧЕПЛЕННЯ, МОМЕНТ, НАПРУЖЕННЯ, ПОТУЖНІСТЬ

ВСТУП

Експериментальні дослідження є надзвичайно важливою складовою в сфері наукової діяльності суспільства. Експерименти, що поставлені на моделях чи діючому обладнанні, дозволяють отримати необхідні дані для проектування більш сучасного і надійного обладнання та модернізації існуючого. Тільки за допомогою експериментів можливо створити метали і сплави з високими механічними і фізичними властивостями, відпрацювати найбільш оптимальні конструктивні та міцності параметри деталей машин і механізмів.

Технічний прогрес приводить не тільки до ускладнення об'єктів дослідження, але й викликає підвищення вимог до глибини експерименту, а також до точності вимірів реєстрованих параметрів. В зв'язку з цим питанням постановки, проведення і опрацювання експерименту має приділятися велика увага.

Процес експериментальних досліджень вимагає від дослідника не тільки належного володіння математичним апаратом, а й відповідного знання фізики об'єкту та уміння працювати з дослідницькою апаратурою.

Тому безпосередньо перед проведенням експерименту (дослідду), перш за все, необхідно досконально вивчити об'єкт дослідження та визначитись з тим, які параметри необхідно досліджувати і яким чином їх реєструвати, а також передбачити надійну форму розшифрування записів.

Наступним етапом є підбір необхідної апаратури, виходячи з технічної і економічної доцільності. Тобто, необхідно врівноважити необхідні характеристики апаратури з її вартістю, бо чим більші можливості вона має, тим її вартість вище.

Тому при проведенні практичних дослідів необхідно оволодіти найбільш важливими правилами постановки і проведення експерименту, оброблення і аналізу результатів дослідів, а також ознайомитись з методологією планування експериментів стосовно оптимізації досліджуваних параметрів для найбільш повного та якісного розкриття поставленої задачі.

Експериментальні дослідження напряму пов'язані з технічною діагностикою.

Мета діагностування - підвищити надійність металургійного устаткування, аналітичним або практичним шляхом, визначити найбільш навантажені місця обладнання, причини відмов обладнання та внесення пропозицій щодо покращення роботи цього обладнання. Відмови машин і механізмів спричиняють важкі наслідки, наприклад, втрати виробництва, підвищену витрату запасних частин, матеріалів, енергії, трудових ресурсів. Методи технічної діагностики дозволяють без розбирання вузлів виявити дефекти й механічні ушкодження, вивчити динаміку їхнього розвитку, вчасно підготувати й реалізувати технічні рішення, що попереджають відмови. Таким чином, технічна діагностика дає можливість організувати експлуатацію металургійних машин й агрегатів по їхньому фактичному стані, а не на основі нормативів, як це передбачено в директивних матеріалах.

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика моделі правильної машини

2.1.1 Призначення та конструкція моделі правильної машини

Діюча модель правильної машини призначена для проведення лабораторних і дослідницьких робіт: визначення тиску металу на валки та визначення крутних моментів при правці листа.

Фотографія моделі правильної машини представлена на рисунку 2.1, кінематична схема – на рисунку 2.2.

2.1.2 Паспорт моделі правильної машини

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

Таблиця 2.1 – Паспорт моделі правильної машини

№	Найменування	Величина
1	Габарити моделі роlikової правильної машини, мм	1800x1150x1200
2	Електродвигун А-62-8 - потужність, кВт - частота обертання, хв ⁻¹ - сила струму при напрузі 380 В, А - ККД, % - кратність пускового моменту $M_{п}/M_{ном}$ - кратність максимального моменту, $M_{max}/M_{ном}$	10 725 22,1 87 1,2 1,7
3	Редуктор	Черв'ячний
4	Довжина шпинделя, мм	600
5	Діаметр шпинделя, мм	50
6	Діаметр головки шпинделя, мм	150
7	Кількість роликів	7
8	Діаметр роликів, мм	120
9	Довжина бочки роликів, мм	250
10	Довжина шийки роликів, мм	50
11	Діаметр шийки роликів, мм	60
12	Підшипники правильних роликів	Тип ковзання
13	Крок роликів, мм	65



Рисунок 2.1 – Фотографія моделі правильної машини

2.1.3 Інструкція з експлуатації моделі правильної машини

Порядок дій при дослідженні навантажень роликової правильної машини робити в наступній послідовності:

1. Виміряти перетин і радіус кривизни полоси, що підлягає виправленню на машині.

2. Настроїти роликову правильну машину на виправлення полоси із заданою однозначною кривизною й прийнятою висотою перетину.

3. З'єднати з підсилювачем вимірювальні мости із дровових датчиків, що служать для визначення тиску та крутних моментів, перевірити й підключити їхні вимірювальні мости до обчислювально-вимірювального комплексу МС-212.

4. Налаштувати обчислювально-вимірювального комплексу МС-212 та програму Recorder-3.0.5.17b на одночасний запис по двом каналам.

5. Вибрати відповідно до навантажень необхідні ступені посилення тензометричного підсилювача, збалансувати вимірювальні мости й налаштувати обчислювально-вимірювальний комплекс МІС-18 та програму Recorder-3.0.5.17b на одночасний запис по двом каналам на одночасний запис зусиль виправлення й крутних моментів.

6. Зробити зовнішній огляд установки, переконавшись в її справності, подати напругу на пульт керування (загорілася сигнальна лампочка – пульт включений).

7. Включити роликову правильну машину й записати діаграму навантажень при виправленні полоси.

8. Зняти месдози й протарувати їх на лабораторному гідравлічному пресі; тарування крутних моментів зробити непрямым методом із застосуванням тарувальної балки. Визначити масштаби тисків і крутних моментів.

9. Обробити діаграму навантажень роликової правильної машини, визначивши наступні величини: $P_{3(E)}$, $M_{3(E)}$, $P_{5(E)}$, $M_{5(E)}$ – відповідно тиски й крутні моменти на третьому й п'ятому роликах машини; $M_{п(E)}$ – повний момент, що затрачується на обертання роликів при виправленні полоси.

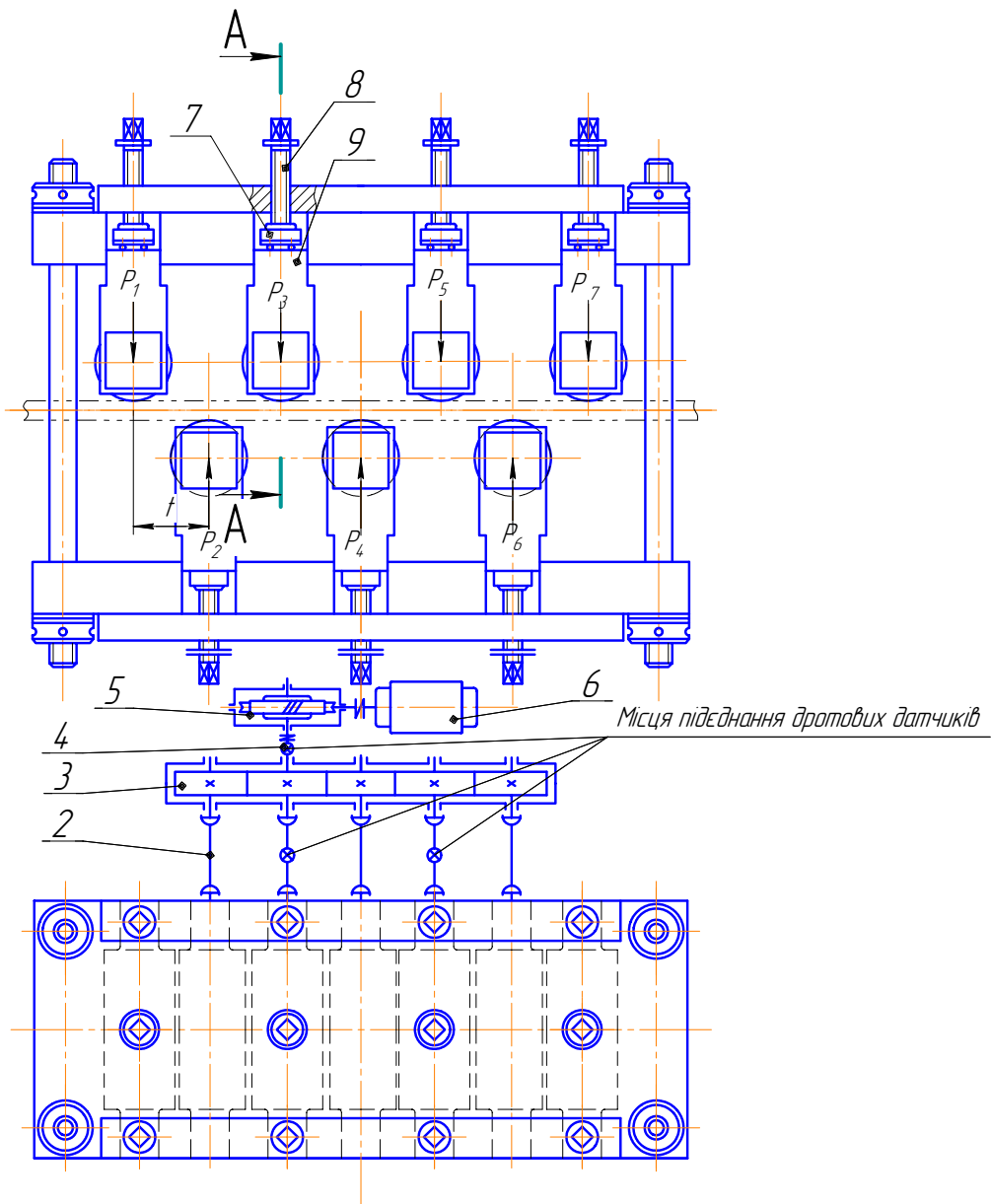
2.2 Дослідження та визначення навантажень роликової правильної машини експериментальним методом

2.2.1 Визначення навантажень роликової правильної машини експериментальним методом

Дослідження тиску і крутних моментів при виправленні проводять на моделі семироликової правильної машини (рисунок 2.2). Обертання роликів 1 здійснюється від електродвигуна 6 через редуктор 5, шестеренну коробку 3 і універсальні шпинделі 2. Положення роликів по висоті при настроюванні регулюють гвинтовими настановними механізмами, кожен з яких складається із двох натискних 8 і одного фіксуючого 10 гвинтів. Гайки гвинтів закріплені в поперечках станини 11.

Тиски й крутні моменти заміряють на третіх роликах з початку й з кінця, на яких навантаження визначаються відповідно пластичними й пружними деформаціями полоси при виправленні. Крім того, вимірюється повний момент, що потрібен для обертання роликів машини.

Тиск визначають месдозами 7 мембранного типу, встановленими між натискними гвинтами 8 і підшипниками 9. Дротові датчики двох месдоз, що вимірюють тиск на один ролик, включають у плечі вимірювального мосту послідовно так, як це показано на рисунку 2.2, б. Крутні моменти визначають дротовими датчиками, що наклеєні на універсальні шпинделі й на ведучий вал шестеренної коробки. З'єднання вимірювальних мостів та дротових датчиків з підсилювачем здійснено кільцевими струмознімальними пристроями. Наклейка й з'єднання дротових датчиків на валах виконані за схемою з чотирма робочими датчиками.



- 1 – робочий ролик; 2 – універсальний шпindelь; 3 – шестеренна коробка;
 4 – дротовий датчик; 5 – редуктор; 6 – електродвигун; 7 – месдоза;
 8 – натискний гвинт; 9 – упорний підшипник; 10 – фіксуєчий гвинт;
 11 – станина

Рисунок 2.2, а – Кінематична схема лабораторної роликів правої машини

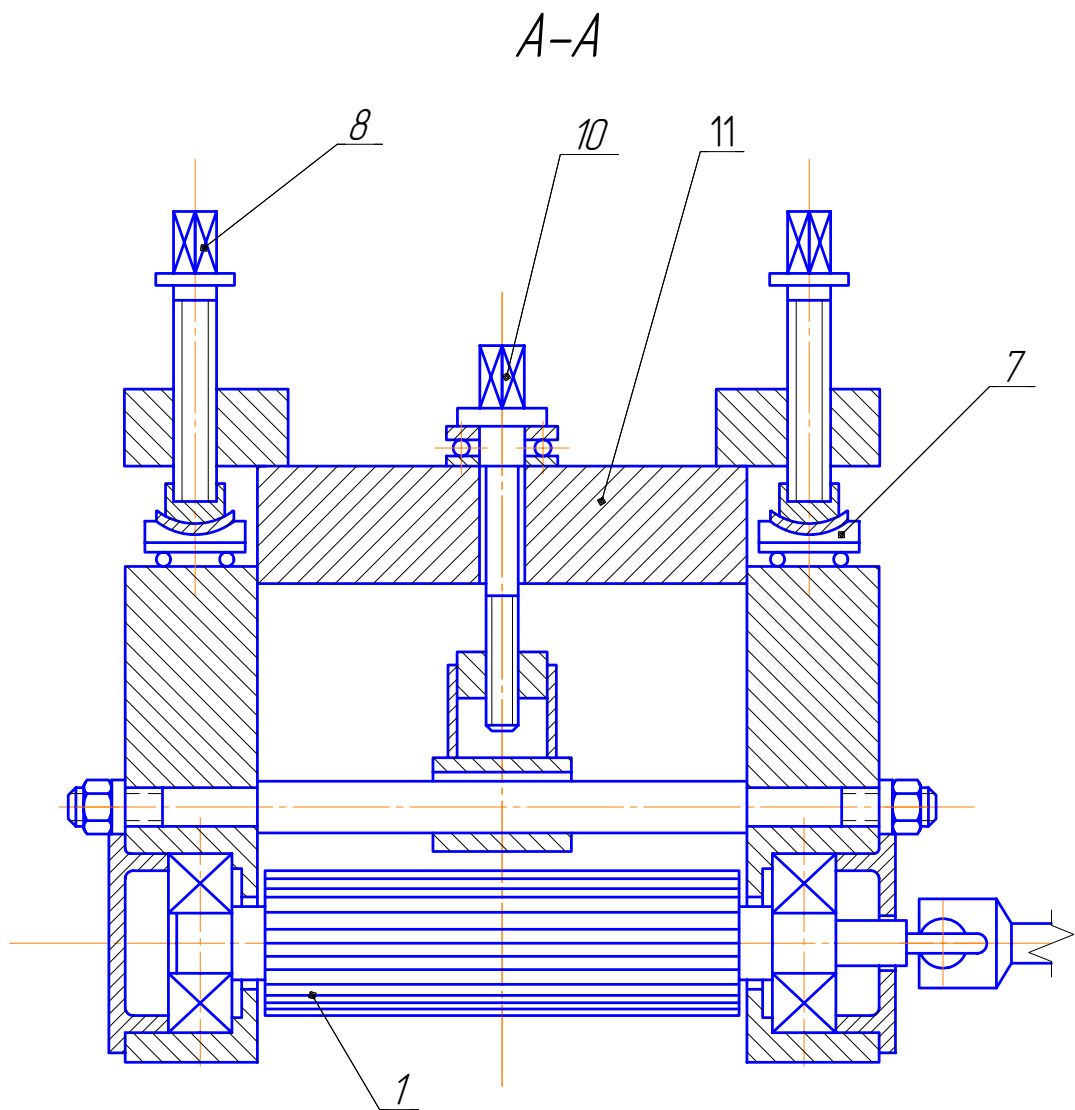


Рисунок 2.2, б – Кінематична схема лабораторної роlikової правильної машини
(перетин А-А)

2.2.2 Визначення розрахункових тисків й крутних моментів при виправленні листа й порівняння їх з експериментальними даними

Процес виправлення на багатороликових правильних машинах заснований на пружно-пластичному знакозмінному вигині листа, що рухається між роликами, розташованими в шаховому порядку [9].

Для вигину листа до нього треба прикласти такий зовнішній згинальний момент, який подолав би момент внутрішніх сил, що виникають внаслідок появи в листі внутрішніх напружень протилежного знака.

Роликову правильну машину налаштовуємо таким чином, щоб другий, третій і четвертий ролики створювали пластичний вигин листа, на передостанніх роликах має місце пружний вигин, перший і останній ролики не створюють деформації.

Згинальний момент при пластичному вигині дорівнює:

$$M_s = \sigma_s \cdot S, \quad (2.1)$$

де σ_s – межа плинності матеріалу листа;

S – пластичний момент опору, рівний подвоєному статистичному моменту напівперетину листа, m^3 .

Для прямокутного перетину S становить:

$$S = \frac{b \cdot h^2}{4}, \quad (2.2)$$

де b і h – відповідно ширина й висота листа, м.

Згинальний момент при пружному вигині:

$$M_w = \sigma_s \cdot W, \quad (2.3)$$

де W – момент опору перетину, який визначається за формулою:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (2.4)$$

При прийнятому настроюванні роликової правильної машини формули для визначення тисків будуть [15]:

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{2 \cdot M_s}{t}; & P_2 &= \frac{6 \cdot M_s}{t}; & P_3 &= \frac{8 \cdot M_s}{t}; \\ P_4 &= \frac{P_3 + P_5}{2}; & P_5 &= \frac{8 \cdot M_w}{t}; \\ P_6 &= \frac{6 \cdot M_w}{t}; & P_7 &= \frac{2 \cdot M_w}{t}, \end{aligned}$$

де t – крок роликів.

Крутні моменти на третьому й п'ятому роликах знайдемо за наступною методикою [16].

Коефіцієнт проникнення пластичної деформації $K_{\text{п}}$, що представляє співвідношення пластичної зони до товщини смуги, для різних роликів знайдемо по формулі:

$$K_{\text{п}(i)} = K_2 \cdot \left(1 - \frac{i-2}{n-3}\right), \quad (2.5)$$

де K_2 – коефіцієнт проникнення пластичної деформації в листі для другого ролика;

i – порядковий номер ролика;

n – кількість роликів у машині.

Практикою встановлено, що коефіцієнт проникнення пластичної деформації K_2 в листі лежить у межах $K_2 = 0,75 \sim 0,26$.

Крутний момент на ролику, необхідний для пластичної деформації, дорівнює:

$$M_{\Pi} = \frac{\sigma_s^2}{4 \cdot E} \cdot b \cdot h \cdot D_p \cdot \frac{K_{\Pi(i)}^2}{1 - K_{\Pi(i)}}, \quad (2.6)$$

де D_p – діаметр ролика, м;

E – модуль пружності матеріалу листа;

Момент, що виникає внаслідок кочення ролика по листу, становить:

$$M_k = P_i \cdot k, \quad (2.7)$$

де P_i - тиск на ролик;

k - коефіцієнт тертя кочення.

При виправленні сталевих листів $k = 0,05-0,08$ см; для листів з кольорових металів $k = 0,1-0,15$ см.

Момент тертя в підшипниках ролика:

$$M_T = P_i \cdot \mu \cdot \frac{d}{2}, \quad (2.8)$$

де μ – коефіцієнт тертя у підшипникових опорах роликів;

d – діаметр цапфи ролика.

Загальний крутний момент на ролику складе:

$$M_{I(P)} = M_{\Pi} + M_k + M_T, \quad (2.9)$$

Знаходження повного приводного моменту роликової правильної машини виконуємо в такий спосіб.

Сумарний тиск на ролики машини буде дорівнювати:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7, \quad (2.10)$$

Суму коефіцієнтів проникнення пластичної деформації для роликів машини визначимо по формулі [16]:

$$\Sigma K_{\Pi(i)} \approx K_2^2 \cdot \left[\frac{1}{1 - K_2} + K_2(n - 3) \right], \quad (2.11)$$

Крутний момент, що вимагається для пластичної деформації листа, при виправленні, становить:

$$M_I = \frac{\sigma_s^2}{4 \cdot E} \cdot b \cdot h \cdot D_p \cdot \Sigma K_{\Pi(i)}, \quad (2.12)$$

Момент тертя кочення ролика по листу:

$$M_{II} = P \cdot k, \quad (2.13)$$

Момент тертя в опорах роликів:

$$M_{III} = P \cdot \mu \cdot \frac{d}{2}, \quad (2.14)$$

Повний момент, необхідний для обертання роликів машини при виправленні листа, дорівнює:

$$M_{\Pi(P)} = M_I + M_{II} + M_{III}, \quad (2.15)$$

Різниця між експериментальними й розрахунковими величинами тисків і крутних моментів буде становити:

$$\delta_1 \% = \frac{P_{3(E)} - P_{3(P)}}{P_{3(E)}} \cdot 100\%, \quad (2.16)$$

$$\delta_2 \% = \frac{M_{3(E)} - M_{3(P)}}{M_{3(E)}} \cdot 100\%, \quad (2.17)$$

$$\delta_3 \% = \frac{P_{5(E)} - P_{5(P)}}{P_{5(E)}} \cdot 100\%, \quad (2.18)$$

$$\delta_4 \% = \frac{M_{5(E)} - M_{5(P)}}{M_{5(E)}} \cdot 100\%, \quad (2.19)$$

$$\delta_5 \% = \frac{M_{II(E)} - M_{II(P)}}{M_{II(E)}} \cdot 100\%, \quad (2.20)$$

2.3 Дослідження силових параметрів при правці листа за допомогою вимірювальної апаратури

2.3.1 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 (рисунок 2.3).

Дротяний тензодатчик (рисунок 2.3, а) складається з тонкого дроту діаметром 0,012...0,05 мм з великим омичним опором (200 Ом), зигзагоподібно розташованих поміж двох шарів паперу або плівки. Фольгові тензодатчики

(рисунок 2.3, б), на відміну від дротяних, мають спіраль, виготовлену із фольги значно меншої товщини методом фототравлення. Як ізолююча підстилка використовується лакостійка плівка. Матеріалом для тензодатчиків є константан, манганін та ніхром. Тензодатчики на паперовій 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 :

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.21)$$

де ρ – опір провідника, Ом·м;

l – довжина провідника, м;

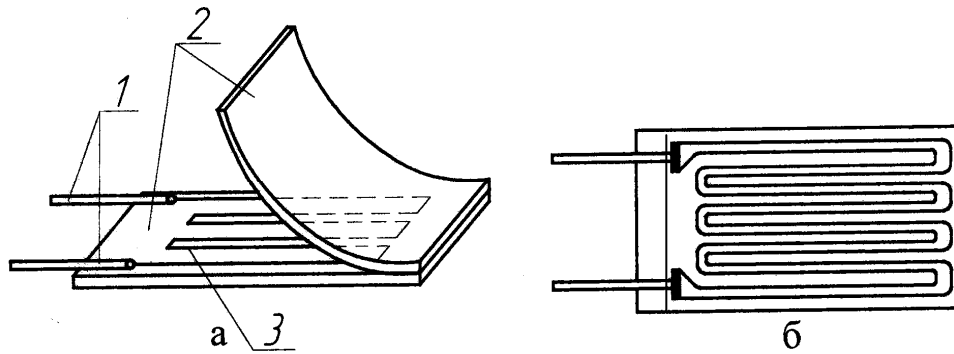
S – площа поперечного перерізу, м².

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 середовища, Ом :

$$R_t = \rho \cdot l \cdot \frac{1 + a \cdot (t_1 - t_0)}{S}, \quad (2.22)$$

де a - коефіцієнт лінійного подовження;

$t_1 - t_0$ - перепад температур.



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

Рисунок 2.3 – Пристрій дротяного (а) і фольгового (б) тензодатчиків

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

2.3.2 Спосіб з'єднання тензодатчиків

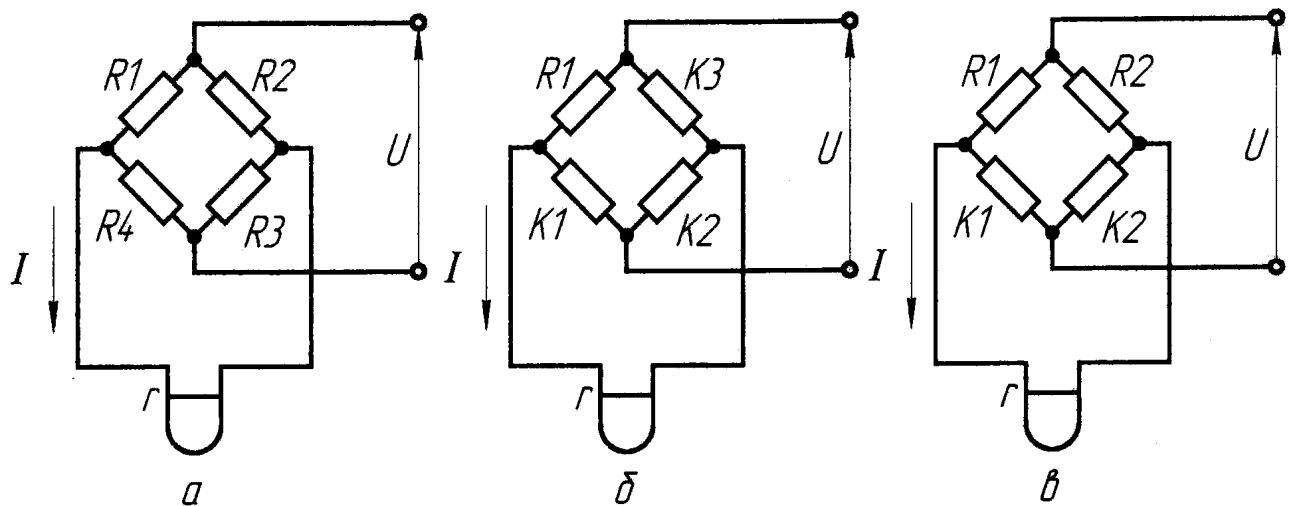
Для того, щоб виключити похибки від температурного впливу, отримати подвійну або збільшену в четверо чутливість тензодатчиків в порівнянні з одним, тензодатчики з'єднують по містковій схемі. На рисунку 2.4, а показана схема одинарного мосту Уїтстона, який дає можливість компенсувати температурний вплив 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 можливістю 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 (рисунок 2.4, б), які не повинні сприймати активних деформацій. Їх наклеюють на пластини, розташованих поряд з піддослідною деталлю, або перпендикулярно до лінії дії головних напружень.

Відповідно в містковій схемі (рисунок 2.4, 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.

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 рисунку 2.4 в. Ця схема використовується при вимірах крутних моментів, при цьому компенсаційні датчики розташовують на окремій пластині.



R – робочі (активні) датчики; K – компенсаційні датчики

Рисунок 2.4 – Схеми з'єднання тензодатчиків:

2.3.3 Вимір зусиль під натискними гвинтами за допомогою месдоз

У месдозі мембранного типу (рисунок 2.5) два робочих датчика 1, наклеєні на внутрішню поверхню мембрани 2, виконаної за одне ціле з корпусом 3. Знизу месдоза зачинена кришкою 4. Компенсаційні датчики 5 наклеєні на не навантажену пластину 6, розміщену у корпусі месдоз. Сферичні укладки 7 забезпечують центральне навантаження до месдоз.

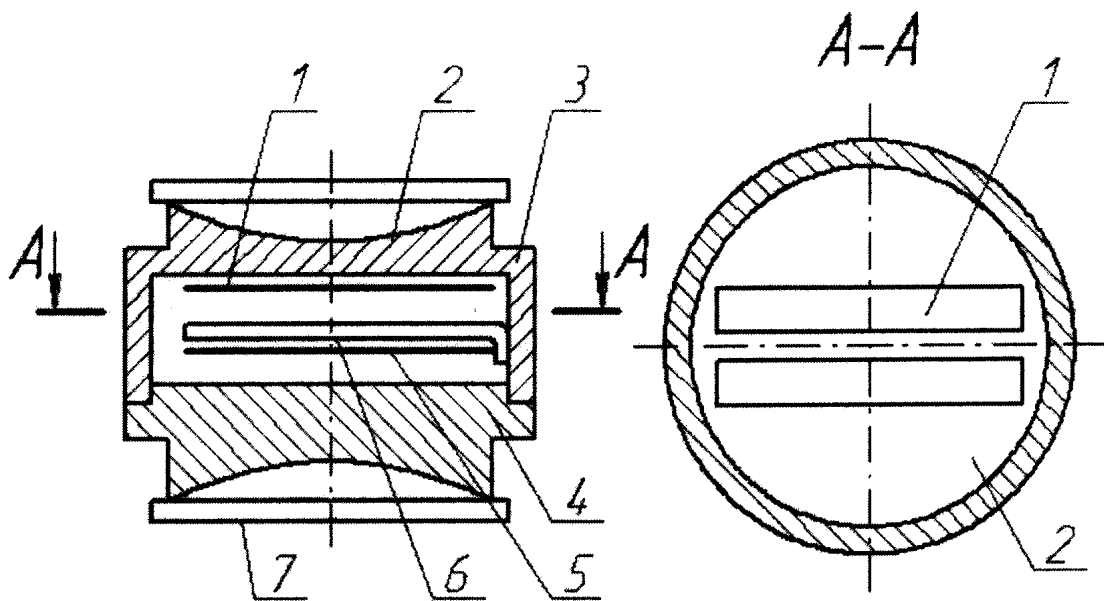


Рисунок 2.5 – Месдоза мембранного типу

Тарування месдоз 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 ($150\text{кгс}/\text{см}^2$), для випробування матеріалів на вигин, розтяг, стиск, розрив, штампування матеріалу і тарування.

Технічні характеристики преса гідравлічного ручного ПГПР-4

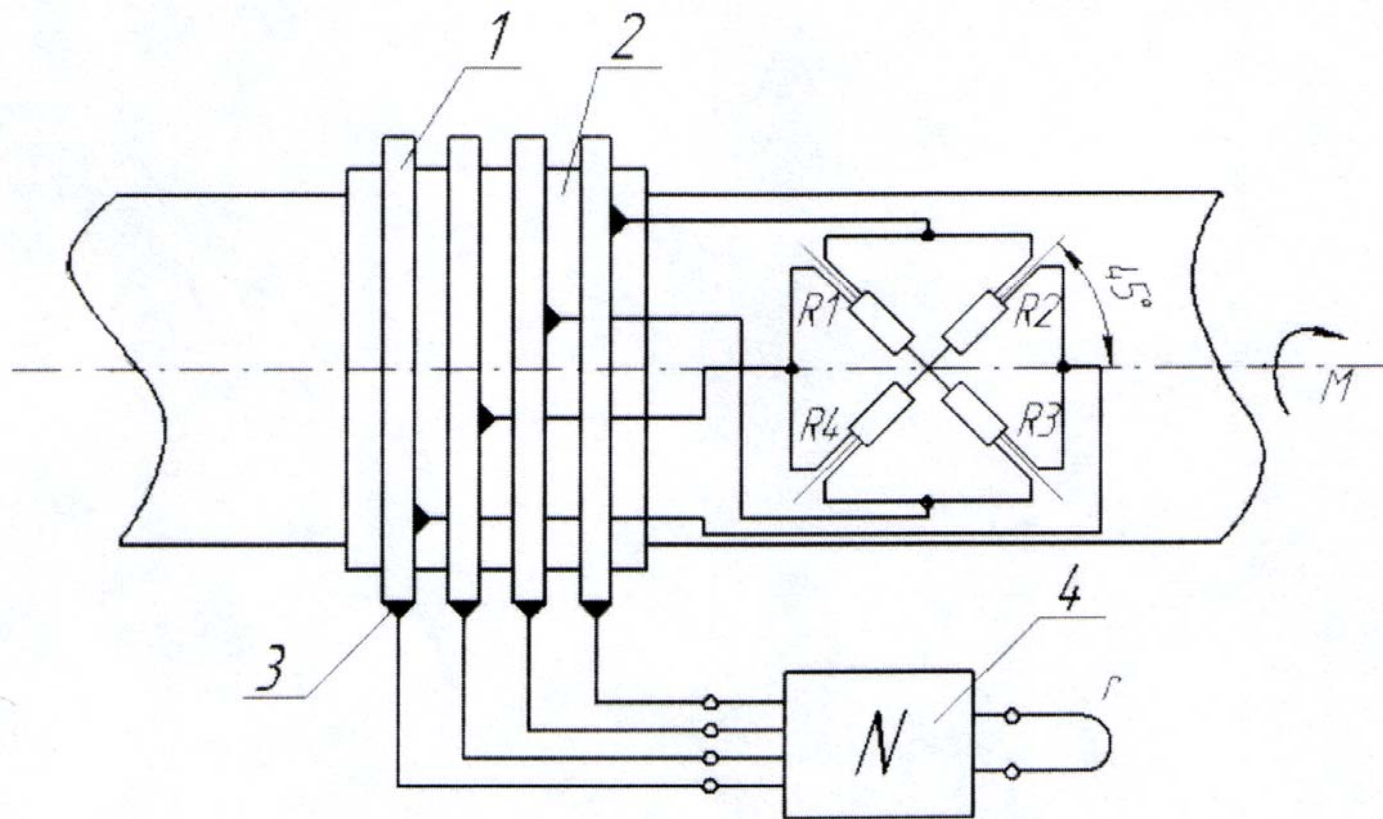
- Діаметр великого поршня (плунжера) – $D = 58$ мм
- Діаметр малого поршня – $d = 10$ мм
- Хід великого поршня – $L = 60$ мм
- Максимальна відстань між поршнем і верхньою плитою - 120 мм
- Діаметр опорної поверхні поршня - 80 мм
- Номінальне зусилля - 39,2 кН (4 тс)
- Граничний робочий тиск - 15,2 МПа (155 кгс /см²)
- Маса - 22 кг
- Розміри - 460x385x160 мм

2.3.4 Вимірювання крутних моментів

При вимірюванні дотичних напружень і крутних моментів робочі датчики наклеюють на вал під кутом 45° до осі та під кутом 90° 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 2.6.

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

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



1 – струмознімальні кільця; 2 – ізолююча втулка; 3 – контактні щітки; 4 – реєструюча апаратура

Рисунок 2.6 – Схема розташування тензодатчиків на валу

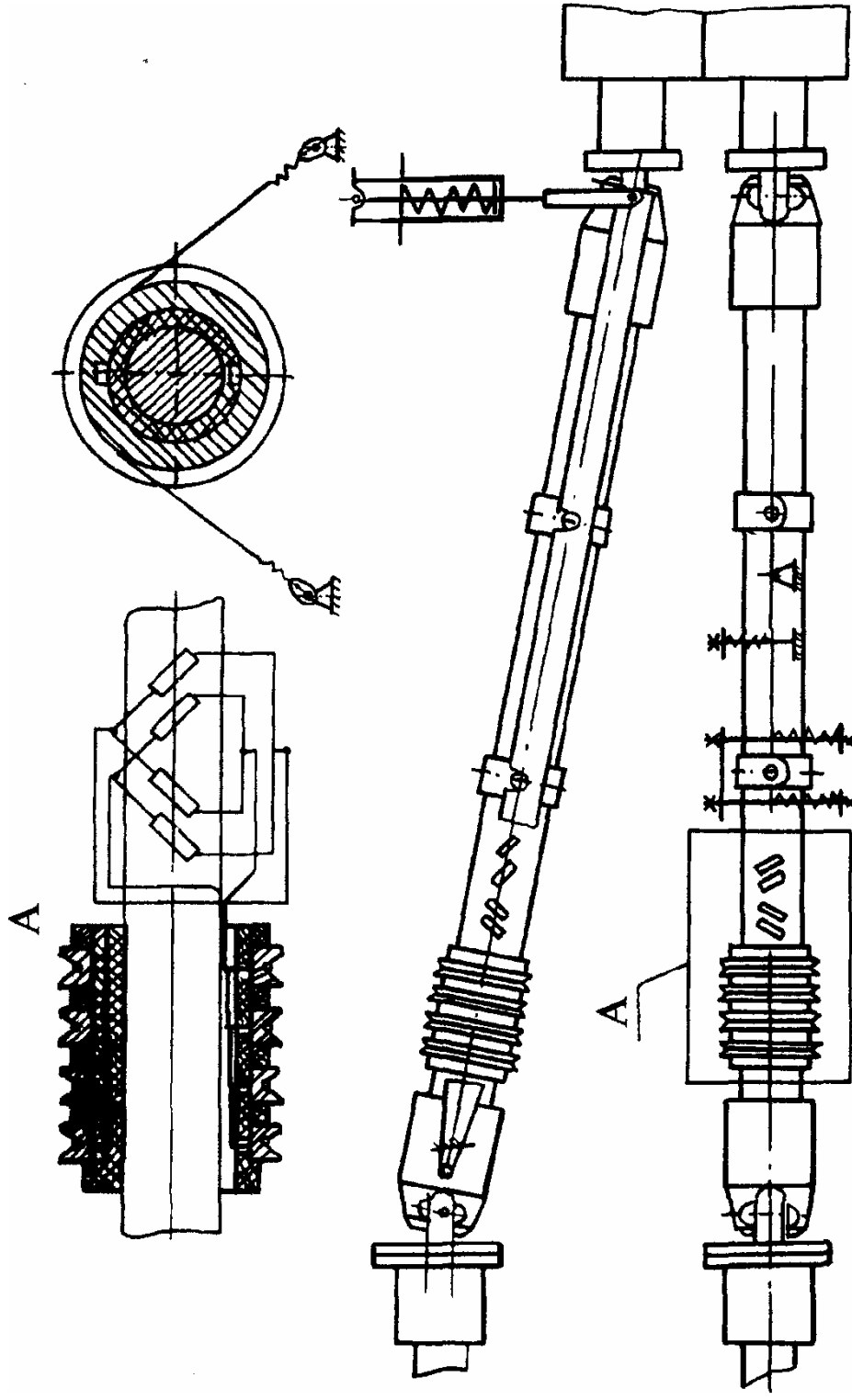
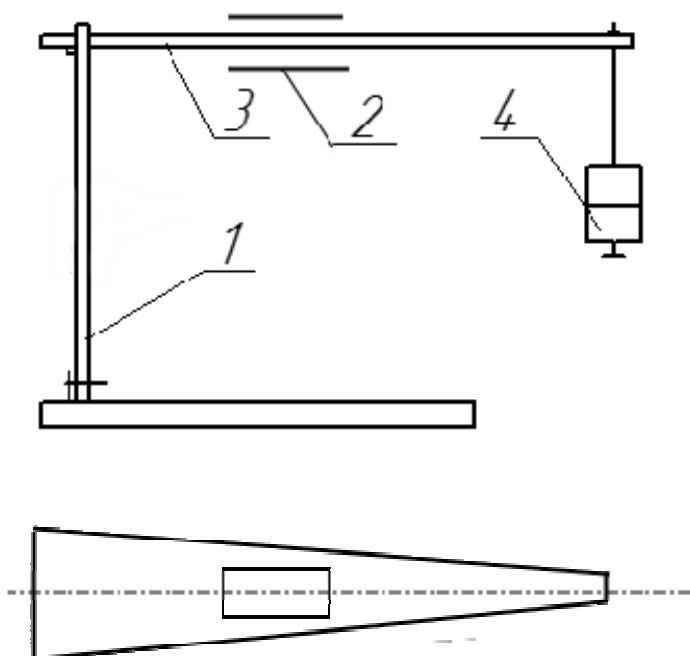


Рисунок 2.7 – Місце розташування датчиків струмоз'ємного приладу на універсальних шпинделях при дослідженні крутних моментів

2.3.5 Тарування крутних моментів

При безпосередній наклеїці тензодатчиків на досліджуваний вал тарування крутних моментів виконують, як правило, непрямим способом, тому що вал механізму важко навантажувати тарувальними машинами. Після запису осцилограми крутних моментів досліджуваного механізму до підсилювача підключають тарувальну балку й записують тарувальну осцилограму з ординатами $Y_1, Y_2 \dots Y_n$ при напрузі в балці $\sigma_{\sigma_1}, \sigma_{\sigma_2}, \sigma_{\sigma_n}$ від дії вантажу $P_1, P_2 \dots P_n$.

На рисунку 2.8 представлено тарувальну балку. Стійка 1, балка равнопрочного перетину 3 з наклеєними на неї із двох сторін тензодатчиками 2, навантажена згинальним моментом. Параметри балки: перетин пластини в місці наклейки датчиків, довжина консолі й вага змінних вантажів 4 підібрані так, що при послідовному її навантаженні вантажами однакової маси в пластині виникають згинаючі напруження, $\text{H}/\text{мм}^2$:



1 – стійка; 2 – тензодатчики; 3 – балка; 4 – вантаж

Рисунок 2.8 – Тарувальна балка равнопрочного перетину

Зусилля від мас вантажів P и сигнал на виході із крейда Y

$$P_1 = 2,28\text{Н} \quad (Y_1=350 \text{ mV});$$

$$P_{r2} = 12,1\text{Н} \quad (Y_2=1900 \text{ mV});$$

$$P_{r3} = 22,45\text{Н} \quad (Y_3=3530 \text{ mV}).$$

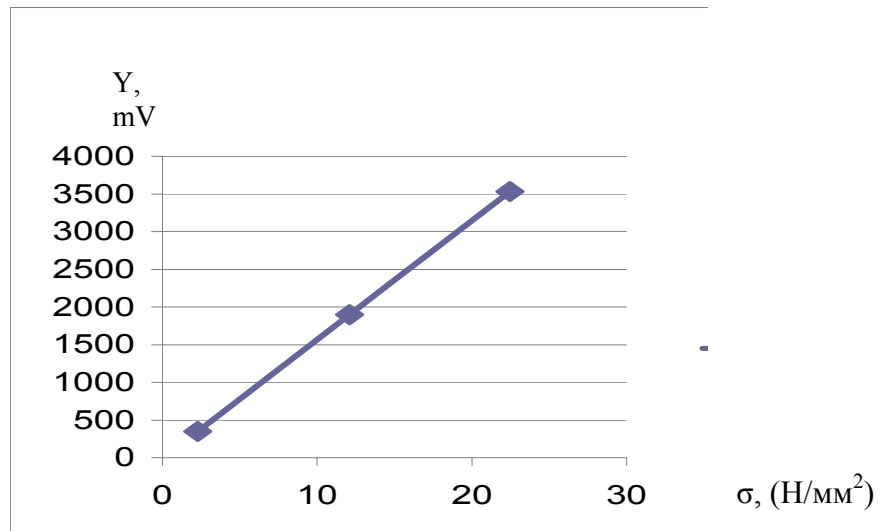


Рисунок 2.9 – Діаграма навантажень тарувальної балки

Відстань на якому розташовані датчики (плечі) від місця підвісу вантажів
 $l=330\text{мм}$

Перетин балки в місці наклейки датчиків 40 x 7 мм.

Згинаюче напруження в перетині балки від вантажів:

$$\sigma_i = \frac{P_i \cdot l}{W} = \frac{P_i \cdot l}{(b \cdot h^2)/6};$$

де $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$ - момент опору вигину прямокутного перетину балки

$d = 50 \text{ мм}$ - діаметр вала в місці наклейки датчиків.

$$\sigma_1 = \frac{2,28 \cdot 330}{(40 \cdot 7^2)/6} = 2,3\text{МПа} \quad (\text{Н/мм}^2);$$

$$\sigma_1 = \frac{12,1 \cdot 330}{(40 \cdot 7^2)/6} = 12,2\text{МПа} \quad (\text{Н/мм}^2);$$

$$\sigma_1 = \frac{22,45 \cdot 330}{(40 \cdot 7^2)/6} = 22,6\text{МПа} \quad (\text{Н/мм}^2).$$

Тарувальні дотичні напруження, Н/мм²:

$$\tau_1 = 0,9\sigma_1 = 0,9 \cdot 2,3 = 2,07;$$

$$\tau_2 = 0,9\sigma_2 = 0,9 \cdot 12,2 = 10,98;$$

$$\tau_3 = 0,9\sigma_3 = 0,9 \cdot 22,6 = 20,34$$

де 0,9 - поправочний коефіцієнт при переході від вигинаючих до дотичних напружень.

Тарувальні крутні моменти знаходять по формулах, Н·мм:

$$M_1 = \tau_1 W_{кр} = \tau_1 \cdot 0,2d^3 = 2,07 \cdot 0,2 \cdot 50^3 = 51750;$$

$$M_2 = \tau_2 \cdot 0,2d^3 = 10,98 \cdot 0,2 \cdot 50^3 = 274500$$

$$M_3 = \tau_3 \cdot 0,2d^3 = 22,6 \cdot 0,2 \cdot 50^3 = 565000$$

де $W_{кр} = 0,2d^3$ – момент опору крутінню вала в місці наклейки датчиків, мм³;

d=50мм - діаметр вала в місці наклейки датчиків.

$$M_1 = 51750 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 51,75 \text{ Н} \cdot \text{м}; (Y_1=350 \text{ mV});$$

$$M_2 = 274500 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 274,5 \text{ Н} \cdot \text{м}; (Y_2=1900\text{mV});$$

$$M_3 = 565000 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 565 \text{ Н} \cdot \text{м}; (Y_3=3530\text{mV}).$$

Масштаб крутних моментів обчислюють по формулі, Н·мм/ mV:

$$m_m = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3} = \frac{51,75 + 274,5 + 565}{350 + 1900 + 3530} = 0,15 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{mV}}.$$

Тоді:

100 mV це 15 Н·м;

200 mV це 30 Н·м;

300 mV це 45 Н·м і т.д.

Використовуючи значення M й Y, будуюмо тарувальний графік крутних моментів $M = f(Y)$.

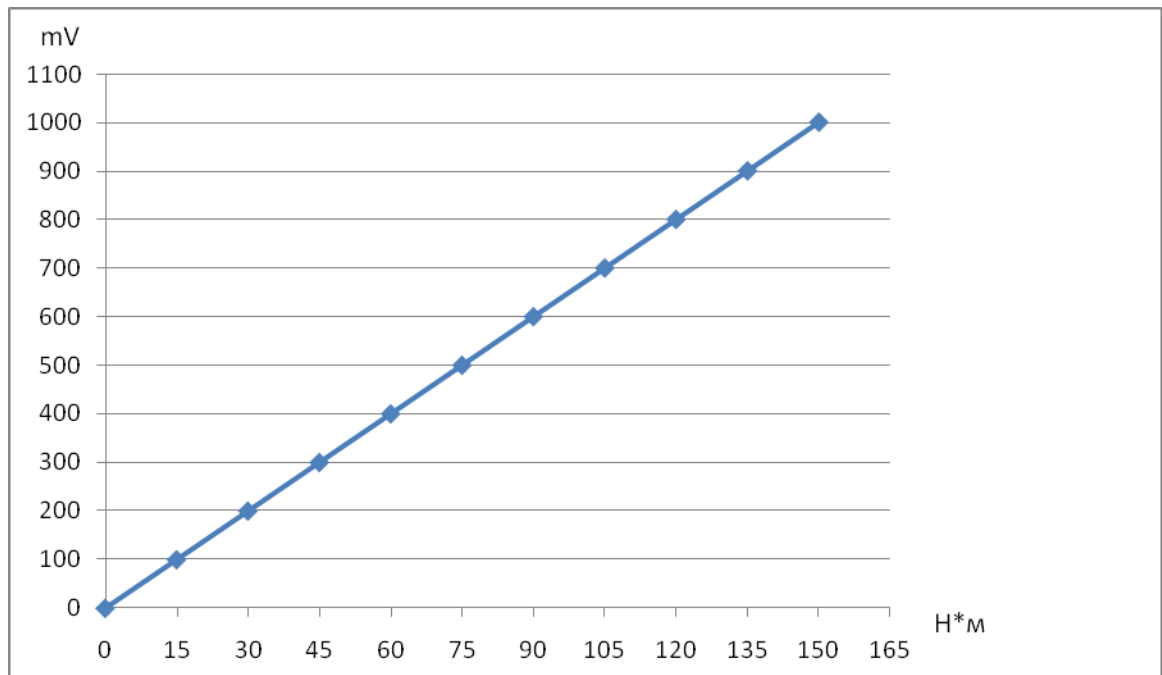


Рисунок 2.10 – Тарувальний графік крутних моментів $M = f(Y)$

2.3.6 Вимірювальна апаратура та програмні комплекси

2.3.6.1 Модуль для роботи з тензометричними датчиками МС-212

Призначення й область застосування

Модуль МС-212 призначений для роботи із мостовими, полумостовими тензодатчиками й одиночними тензорезисторами опором 100...1000 Ом при проведенні статичних і динамічних вимірів.

Основні області застосування:

- вимір механічних навантажень;
- вимір зусиль (тяга, вага);
- високоточний вимір лінійних переміщень;
- вимір тисків.

Керування модулями, вимір і реєстрація сигналів здійснюється засобами програми Recorder. Для відображення, обробки, детального аналізу

zareestrovanih signaliv i vivotu na druk rezul'tativ sluzhit' programma WinPOS.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики модуля МС-212

Параметр	Значення
Кількість незалежних каналів	4
Діапазони виміру, мВ/В	0...0,5; ±0,5; 0...2; ±2; 0...4; ±4; 0...8; ±8; 0...16; ±16
Частота дискретизації, Гц: "динамічний" "статичний"	150...7 680 50...1 024
Напруга живлення тензодатчиків (знакозмінний струм), В	2,5; 5
Залишковий зсув нуля (після внутрішнього калібрування), мкВ	2
Температурний дрейф зсуву нуля, мкВ/°С	0,5
Часовий дрейф зсуву нуля, мкВ/1000 год	2,5
Основна наведена (до діапазону виміру) погрішність, %	±0,05
Додаткова погрішність у робочих умовах експлуатації, %	0,05
Часовий дрейф коефіцієнта передачі, ppm/1000 год	10
Інтегральна нелінійність, ppm від повної шкали	15
Смуга пропускання при нерівномірності 0,1 дБ, Гц	0...1 000
Придушення синфазної складової вхідного сигналу, дБ	100
Міжканальне проходження диференціальної складової, дБ	-100
Нерівномірність АЧХ у смузі 0...1 ... 1 000 Гц, дБ	0,1
Доповнення до напівмосту з ряду (опціонально), Ом	120; 200; 350; 700

Особливості

1. Модуль здійснює живлення датчика. Для придушення контактної ТЕДС (важливо при проведенні статичних тензовимірювань) живлення датчика ведеться в знакозмінному режимі.

2. Оснащений функціями балансування, сигналізації про перевантаження й перевірки вхідних ланцюгів кожного каналу на обрив і коротке замикання.

3. Можливість калібрування внутрішнім шунтом.

Убудовані антиаліасні фільтри. Смуга пропускання фільтра автоматично настроюється на половину заданої частоти дискретизації.

4. Два режими роботи:

- динамічний. Чотирьохканальний режим, призначений для проведення вимірів з максимальною частотою збору даних, що не мають високих вимог по напрузі зсуву нуля.

- статичний. Чотирьохканальний режим, призначений для проведення статичних вимірів з максимальною точністю.

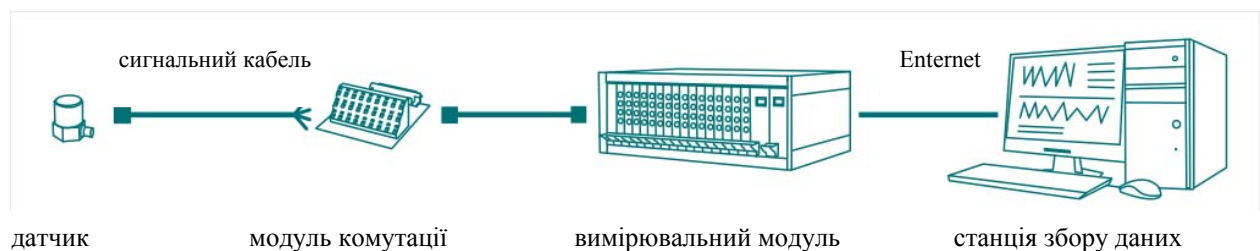


Рисунок 2.11 – Схема під'єднання датчика до станції збору даних

2.3.6.2 Програмне забезпечення - Recorder

Recorder – інструмент для створення стендових вимірювальних систем.

Зручне, надійне, універсальне програмне забезпечення для керування роботою вимірювально-обчислювальних комплексів МС на базі різних стандартів (PXI,RXI,МС).

Recorder дозволяє:

- управляти вимірювальними каналами, робити їхнє настроювання, діагностику;
- управляти процесами одержання вимірювальних даних і збереження їх у файли;
- використовувати базу даних градуйованих характеристик, виконувати процедури градуювання, калібрування, перевірки;
- відображати на екрані вимірювані параметри у вигляді таблиць і осцилограм;
- підключати додаткові бібліотеки (програмні модулі) для розширення функціональності.

Особливості

Recorder – відкрите для користувача програмне забезпечення, що дозволяє підключати додаткові програмні модулі, розширюючи функціональні можливості вимірювальної системи.

Вхідний до складу стандартної поставки пакета набір додаткових модулів дозволяє

- здійснювати в режимі реального часу компенсацію температури холодного спаю при проведенні вимірів температури за допомогою термопар;
- робити розкладання сигналу в реальному часі в частотний спектр (використовується алгоритм швидкого перетворення Фур'є (БПФ));
- здійснювати запуск реєстрації по тимчасових параметрах.

Функції

- автоматичне визначення конфігурації вимірювального комплексу (ідентифікація встановлених вимірювальних модулів);
- діагностика роботи вимірювальних модулів;
- градуювання, калібрування вимірювальних каналів як комплексу МІС, так і всього вимірювального ланцюжка «датчик – нормалізатор сигналу – вимірювальний модуль»;
- проведення процедури перевірки вимірювальних каналів приладу;

- завдання (настроювання) режимів роботи вимірювального устаткування (діапазон виміру, частота дискретизації й т.д.);
- печатка звіту про настроювання;
- перегляд вимірюваного сигналу в реальному масштабі часу в графічному (графік, осцилограма, гістограма) і цифровому (табличному) поданнях;
- реєстрація вимірювальної інформації;
- статистична обробка результатів вимірів;
- відтворення в режимі симуляції зареєстрованої раніше інформації;
- створення й керування розрахунковими параметрами;
- аварійний контроль параметрів;
- виконання функцій високорівневого інтелектуального драйвера для SCADA систем (OPC сервер);
- створення мнемосхем;
- одержання даних з інших систем (OPC клієнт – можливість інформаційного обміну між LabVIEW[®] і вимірювально-обчислювальними комплексами МІС).

Відображення даних

- можливість створення декількох сторінок формулярів;
- підтримка мнемосхем;
- стандартне відображення даних у вигляді осцилограм, таблиць, трендів.

База даних градуювальних характеристик

- керування набором градуювальних характеристик;
- організація у вигляді каталожної структури;
- імпорт/експорт у різних форматах;
- легкий перенос між приладами; графічний перегляд виду градуювальних характеристик;
- підтримка різних типів функцій характеристик.

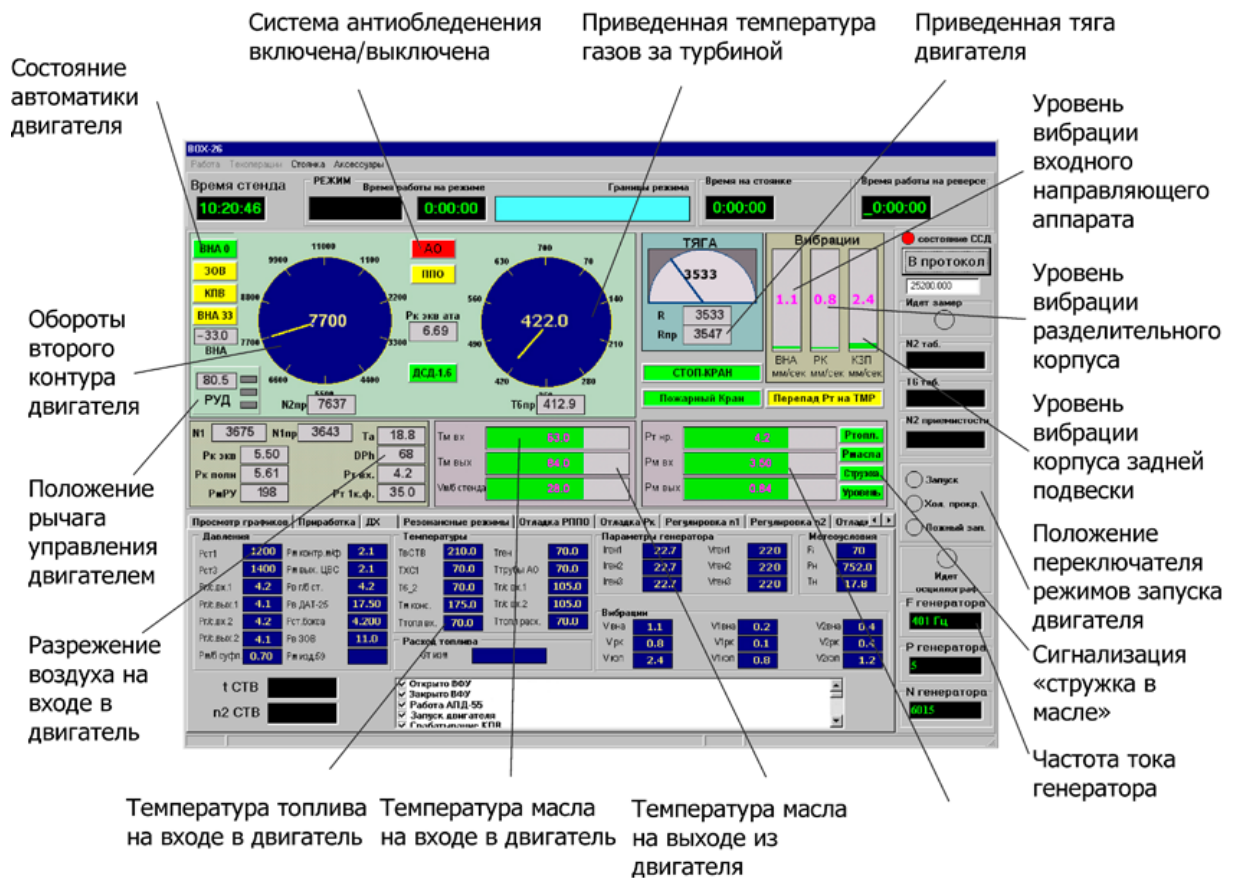


Рисунок 2.12 – Зразок відображення даних

Розрахункові параметри

- створення користувальницьких параметрів з використанням базових арифметичних операцій;
- не вимагає кваліфікації програміста;
- можливість організації складних багаторівневих умов;
- керування вихідними апаратними каналами за допомогою простих математичних виражень.

Звіт про програму виміру

- формування підготовленого для друку звіту про поточні налаштування системи;

- можливість включення всієї інформації про канали, градууювальних характеристиках і додатковій інформації від користувальницьких модулів;
- повний і скорочений формат.

2.3.6.3 Паке́т післяекспериментальної обробки вимірювальної інформації WinПос

WinПОС – паке́т післяекспериментальної обробки вимірювальної інформації.

WinПОС – професійний інструмент для дослідження динамічних і повільно змінних процесів, графічного подання даних і оформлення звітів.

WinПОС надає користувачеві інтерфейси, за допомогою яких можна створювати свої сценарії, що підключаються модулі або додатки, що працюють із даними й алгоритмами WinПОС, практично в будь-якому сучасному середовищі програмування.

WinПОС поставляється у двох редакціях: **Professional** і **Expert**.

WinПОС **Expert** дозволяє зробити аналіз нестационарних, динамічних процесів, у тому числі й вібраційних.

Особливості

- більше 50 алгоритмів обробки сигналів;
- потужні засоби побудови й оформлення графіків для документування (двомірні, тривимірні, параметричні, графіки в полярних координатах);
- функції експрес-звіту;
- пакетна обробка даних;
- обробка даних WAV і UFF форматів;
- редагування сигналів;
- підтримка сценаріїв (убудований редактор сценаріїв VBScript) і модулів, що підключаються, (інтерфейси, за допомогою яких можна

створювати свої модулі, що підключаються, та додатки практично в будь-якому сучасному середовищі програмування);

- можливість створення плагинів імпорту-експорту даних;
- табличний перегляд значень сигналів;
- необмежена довжина сигналів;
- інтеграція з MATLAB™;
- може використовуватися як розподілена «клієнт-сервер» система

післяекспериментальної обробки даних;

- підтримка OS Windows XP/Vista/7;
- розгорнута довідкова система.

Керування даними

- Стан WinПОС можна зберігати й відновлювати. Передбачено автоматичне збереження при виході й відновлення останнього сеансу при завантаженні.

- Сигнали з різних джерел можна переглядати в загальній тимчасовій шкалі завдяки обробці інформації системи єдиного часу.

- Інтеграція з базою даних випробувань: завантаження реєстрацій, вибірок, створення записів.

Засоби оформлення графіків для підвищення наочності подання даних і підготовки звітів

- номери ліній;
- печатка значень на лініях сітки;
- легенда;
- підпису, винесення, коментарі;
- копіювання графіків через буфер обміну, наприклад у текст документів;
- емуляція рулонного друку;
- відображення режимів, міток, уставок, пауз, пропусків даних;
- різні значки для виділення значень ліній;
- автоматичний пошук екстремумів сигналів;

- автоматичне розміщення винесень.

Інтеграція з Microsoft Office

Можливість натисканням однієї кнопки

- вставити поточну сторінку графіків у позицію курсору у вікні Word;
- скопіювати сигнали активного графіка в таблицю Excel і побудувати графік в Excel;
- скопіювати значення сигналів під курсором у рядок таблиці Excel.

Інтеграція з пакетом MATLAB

- виклик алгоритмів MATLAB з настроюваннями у вікнах WinПОС «Авто спектр» і «Вейвлети»;
- простий перенос сигналів в MATLAB.

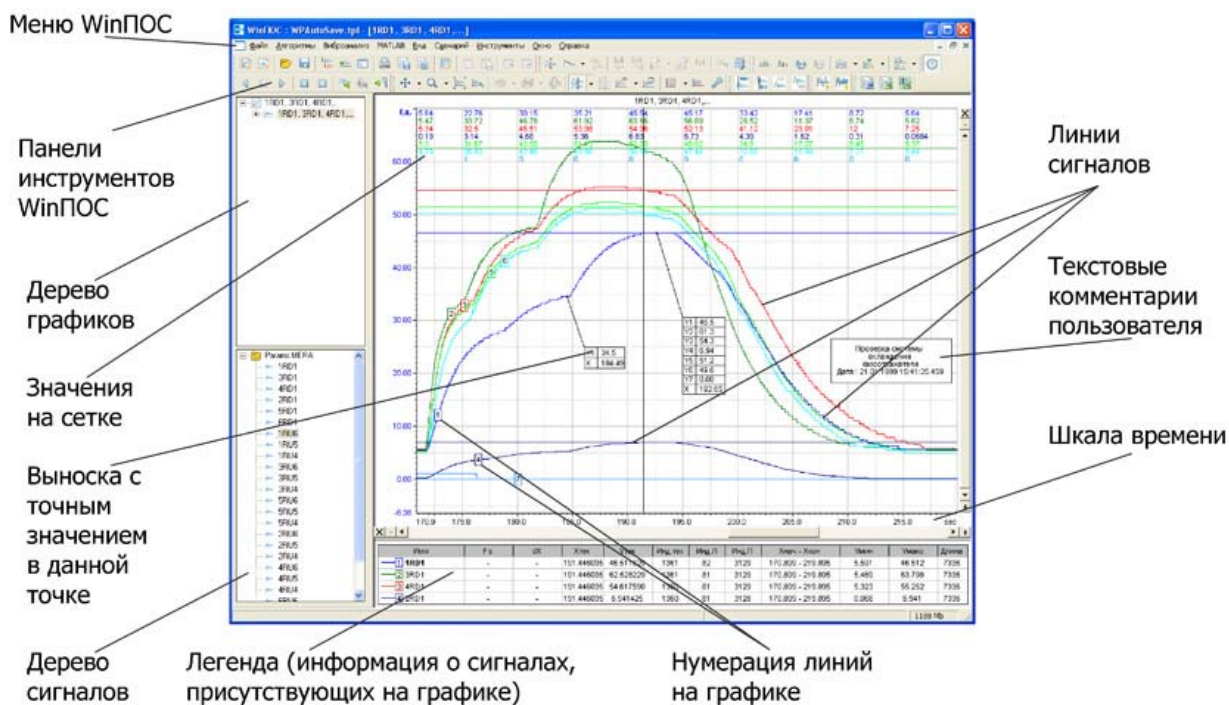


Рисунок 2.13 – Пример оформления двумерного графика

2.4 Дослідження розрахункових навантажень при виправленні листа й порівняння їх з експериментальними даними

Для проведення експерименту були підібрані зразки металевих пластини з наступними характеристиками:

зразок №1

- матеріал зразка ВСт5пс;
- межа плинності матеріалу $\sigma_s = 285$ МПа;
- межа міцності матеріалу $\sigma_B = 560$ МПа;
- геометричні розміри
 - товщина $h = 6$ мм;
 - ширина $b = 35$ мм;
 - довжина $l = 620$ мм;
 - радіус кривизни $R = 1755$ мм.

зразок №2

- матеріал зразка ВСт3кп;
- межа плинності матеріалу $\sigma_s = 235$ МПа;
- межа міцності матеріалу $\sigma_B = 410$ МПа;
- геометричні розміри
 - товщина $h = 6$ мм;
 - ширина $b = 80$ мм;
 - довжина $l = 620$ мм;
 - радіус кривизни $R = 1755$ мм.

зразок №3

- матеріал зразка ВСт5пс;
- межа плинності матеріалу $\sigma_s = 285$ МПа;
- межа міцності матеріалу $\sigma_B = 560$ МПа;

- геометричні розміри

товщина	$h=6$ мм;
ширина	$b=35$ мм;
довжина	$l=620$ мм;
радіус кривизни	$R=500$ мм.

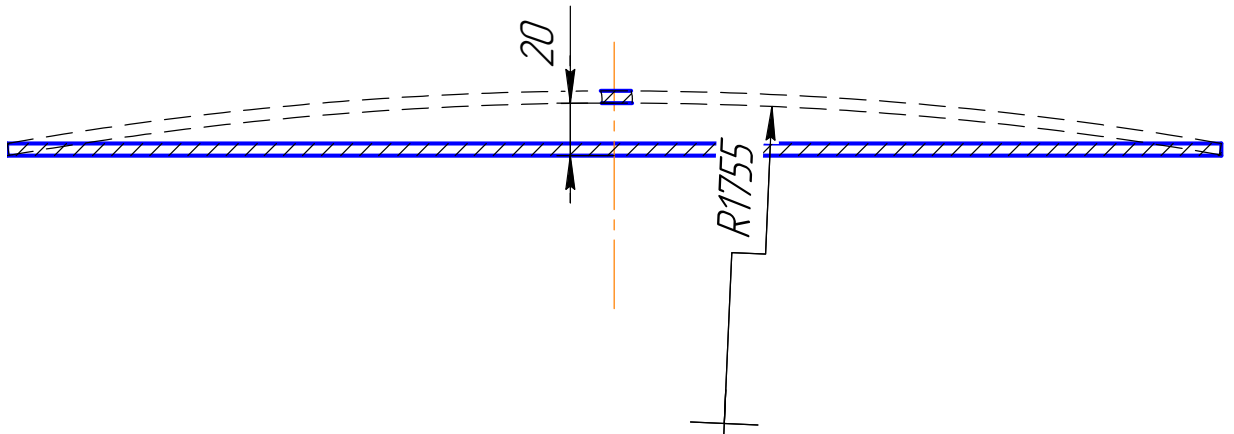


Рисунок 2.14 – Схема викривлення пластини зразків №1 та №2

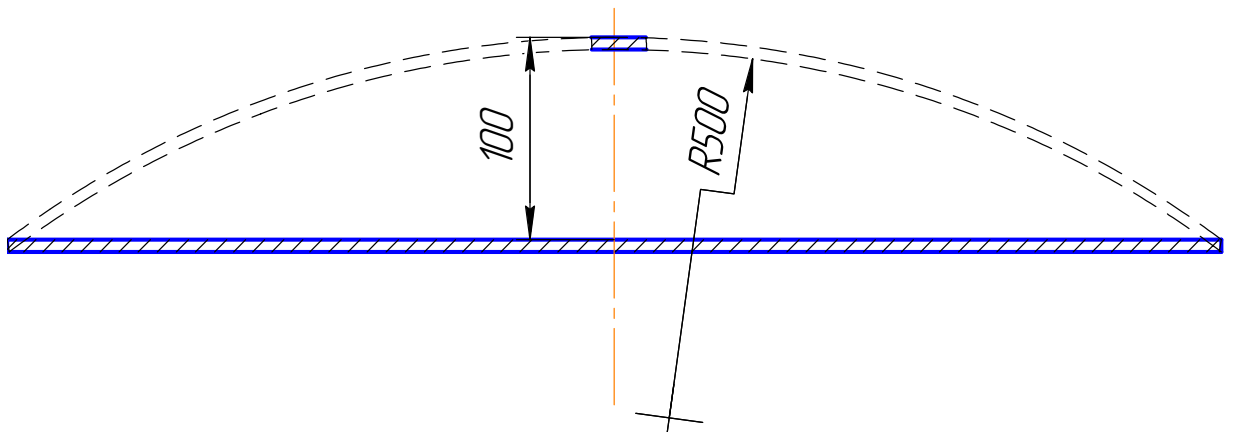


Рисунок 2.15 – Схема викривлення пластини зразка №3

Використовуючи методику розрахунків навантажень викладену в п.2.2.2, проведемо необхідні теоретичні розрахунки для зразків №1, №2 та №3.

Для наочності та зручності результати розрахунків буде подано в табличному вигляді.

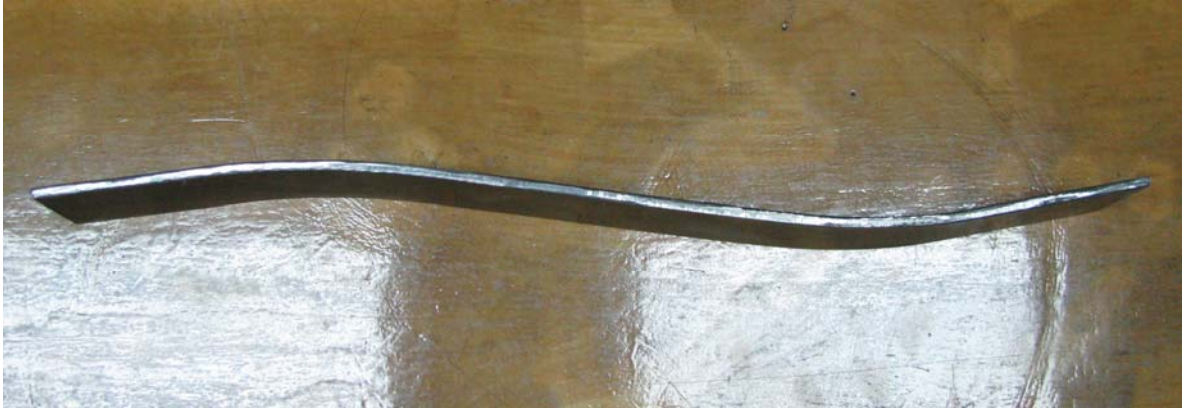


Рисунок 2.16 – Фото зразка №1 до правки



Рисунок 2.17 – Фото зразка №2 до правки



Рисунок 2.18 – Фото зразка №3 до правки

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для розрахунку зразка №1 та №3

Розрахунок параметрів машини при виправленні листа						
Розмір листа						
H=	6	мм	0,006	м		
B=	35	мм	0,035	м		
l=	620	мм	0,620	м		
Матеріал ВСт5пс						
σ_s	285	МПа				
	285000000	Па=Н/м ²				
σ_b	560	МПа				
	560000000	Па=Н/м ²				
Параметри машини						
діаметр робочого ролика			D=	120	мм	0,12 м
крок роликів			t=	65	мм	0,065 м
довжина бочки ролика			L=	250	мм	0,25 м
кількість роликів			n=	7	шт	
діаметр шийки ролика			d=	60	мм	0,06 м
Модуль пружності			E=	2,1·10 ¹¹	Па=Н/м ²	
Коефіцієнт проникнення пластичної деформації			K ₂ =	0,7		
Коефіцієнт тертя кочення			k=	0,8	мм	0,0008 м
Коефіцієнт тертя в підшипниках опор			μ=	0,1		

Таблиця 2.4 – Проміжні розрахункові значення для зразка №1 та №3

Розрахункові параметри		
S=	0,000000315	м ³
M _s =	89,775	Нм
W=	0,00000021	м ³
M _w =	59,85	Нм
P _Σ =	46038,46	Н
ΣK _{п(i)} =	4,293	

Таблиця 2.5 – Розрахункові значення параметрів при виправленні зразка №1 та №3

№ ролик а	Момент вигину, Нм		Тиск P _i , Н	K _{П(i)}	K _{П(i)} ²	1-K _{П(i)}	M's, Нм	M'', Нм	M''', Нм	PΣ, Н	ΣКП(i))	M _I , Нм	M _{II} , Нм	M _{III} , Нм	M _{П(Р)} , Нм
	Ms	Mw													
1	89,775		2762,30 8					2,20984 6	8,28692 3						
2	89,775		8286,92 3	0,7	0,49	0,3	3,98002 5	6,62953 8	24,8607 7						
3	89,775		11049,2 3	0,525	0,27562 5	0,475	1,41395 6	8,83938 5	33,1476 9	46038,4 6	4,293	10,46 2	36,83 1	138,11 5	185,40 8
4			9207,69 2	0,35	0,1225	0,65	0,45923 4	7,36615 4	27,6230 8						
5		59,85	7366,15 4	0,175	0,03062 5	0,825	0,09045 5	5,89292 3	22,0984 6						
6		59,85	5524,61 5	0	0	1	0	4,41969 2	16,5738 5						
7		59,85	1841,53 8					1,47323 1	5,52461 5						

Теоретичне розрахункове значення крутного моменту на 3-у ролику становить (значення в таблиці позначено жирним шрифтом):

$$\text{№1} \quad M_{П(3)} = M' + M'' + M''' = 1,4139 + 8,8393 + 33,1476 = 43,401 \text{ Нм.}$$

Теоретичне розрахункове значення крутного моменту на 3-у ролику при виправленні зразка №3 аналогічні за значенням зразку №1 та становлять:

$$\text{№3} \quad M_{П(3)} = M' + M'' + M''' = 1,4139 + 8,8393 + 33,1476 = 43,401 \text{ Нм.}$$

Таблиця 2.6 – Вихідні дані для розрахунку зразка №2

Розрахунок параметрів машини при виправленні листа						
Розмір листа						
H=	6	мм	0,006	м		
B=	80	мм	0,080	м		
l=	620	мм	0,620	м		
Матеріал ВСт3кп						
σ_s	235	МПа				
	235000000	Па=Н/м ²				
σ_b	410	МПа				
	410000000	Па=Н/м ²				
Параметри машини						
діаметр робочого ролика	D=	120	мм	0,12	м	
крок роликів	t=	65	мм	0,065	м	
довжина бочки ролика	L=	250	мм	0,25	м	
кількість роликів	n=	7	шт			
діаметр шийки ролика	d=	60	мм	0,06	м	
Модуль пружності	E=	2,1·10 ¹¹	Па=Н/м ²			
Коефіцієнт проникнення пластичної деформації	K2=	0,7				
Коефіцієнт тертя кочення	k=	0,8	мм	0,0008	м	
Коефіцієнт тертя в підшипниках опор	μ =	0,1				

Таблиця 2.7 – Проміжні розрахункові значення для зразка №2

Розрахункові параметри		
S=	0,00000072	м ³
Ms=	169,2	Нм
W=	0,00000048	м ³
Mw=	112,8	Нм
P Σ =	86769,23	Н
$\Sigma Kп(i)$ =	4,293	

Таблиця 2.8 – Розрахункові значення параметрів при виправленні зразка №2

№ ролика	Момент вигину, Нм		Тиск P _i , Н	K _{П(i)}	K _{П(i)} ²	1-K _{П(i)}	M's, Нм	M'', Нм	M''', Нм	PΣ, Н	ΣКП(i)	M _I , Нм	M _{II} , Нм	M _{III} , Нм	M _{П(Р)} , Нм
	M _s	M _w													
1	169,2		5206,15 4					4,16492 3	15,6184 6						
2	169,2		15618,4 6	0,7	0,49	0,3	6,1852	12,4947 7	46,8553 8						
3	169,2		20824,6 2	0,525	0,27562 5	0,475	2,1974	16,6596 9	62,4738 5	86769,2 3	4,293	16,25 8	69,41 5	260,30 8	345,98 1
4			17353,8 5	0,35	0,1225	0,65	0,7137	13,8830 8	52,0615 4						
5		112,8	13883,0 8	0,175	0,03062 5	0,825	0,1406	11,1064 6	41,6492 3						
6		112,8	10412,3 1	0	0	1	0	8,32984 6	31,2369 2						
7		112,8	3470,76 9					2,77661 5	10,4123 1						

Теоретичне розрахункове значення крутного моменту на 3-у ролику становить (значення в таблиці позначено жирним шрифтом):

$$\text{№2} \quad M_{П(3)} = M' + M'' + M''' = 2,197 + 16,659 + 62,473 = 81,33 \text{ Нм.}$$

В результаті проведення експерименту були отримані навантажувальні діаграми, а саме: холостого руху машини та роботи машини при виправленні зразків №1, №2 та №3.

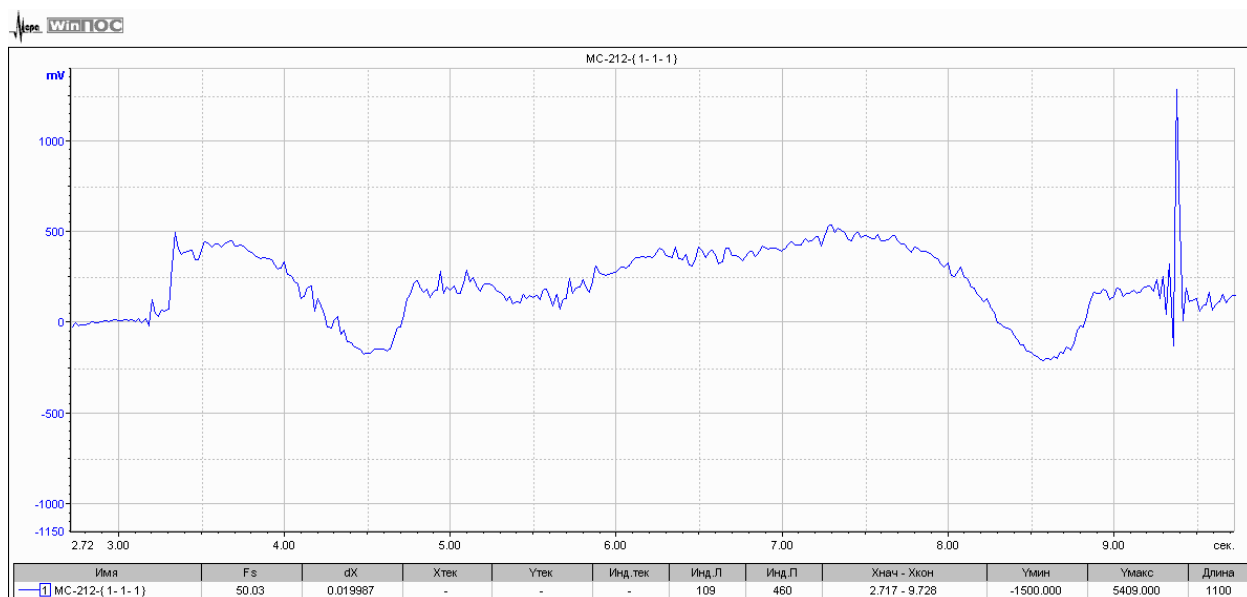


Рисунок 2.19 – Діаграма холостого руху машини

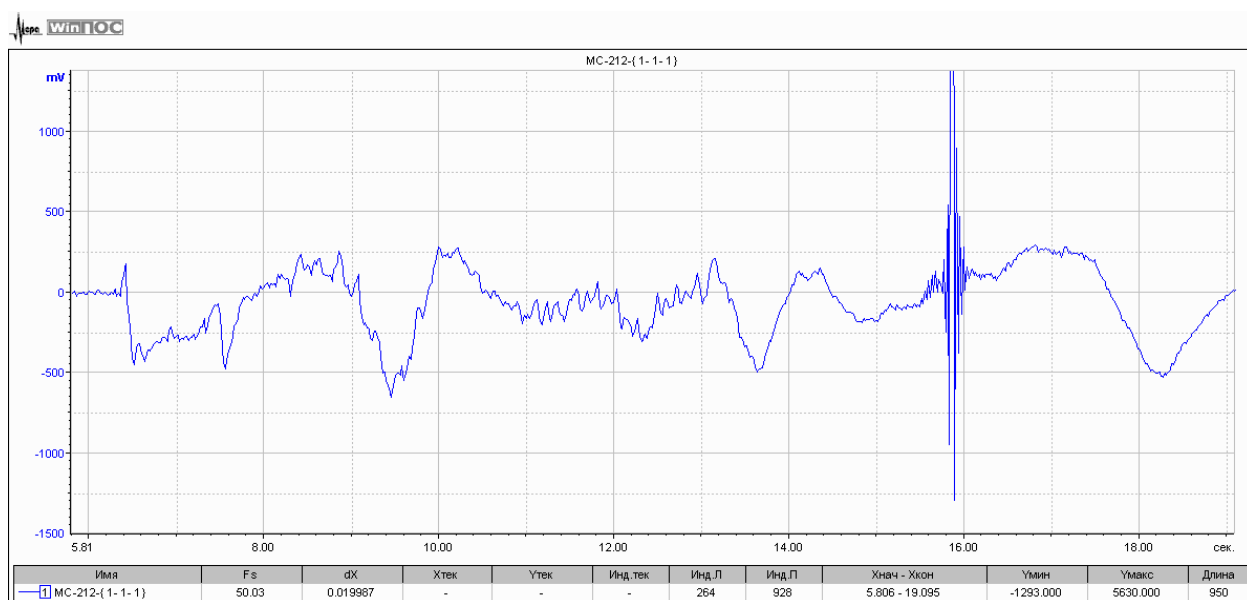


Рисунок 2.20 – Діаграма навантажень при правці зразка №1
(6x35x620, ВСт5пс, $Y_{\max}=290 \text{ mV}$)

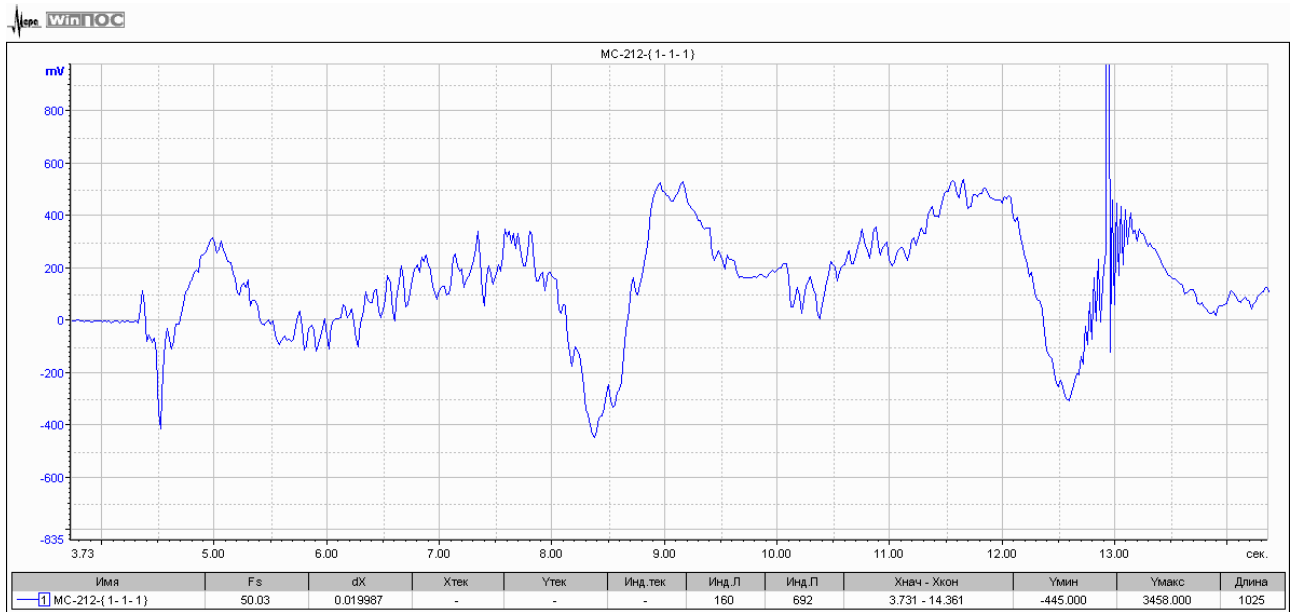


Рисунок 2.21 – Діаграма навантажень при правці зразка №2
(6x80x620, ВСт3кп, $Y_{\max}=540$ mV)

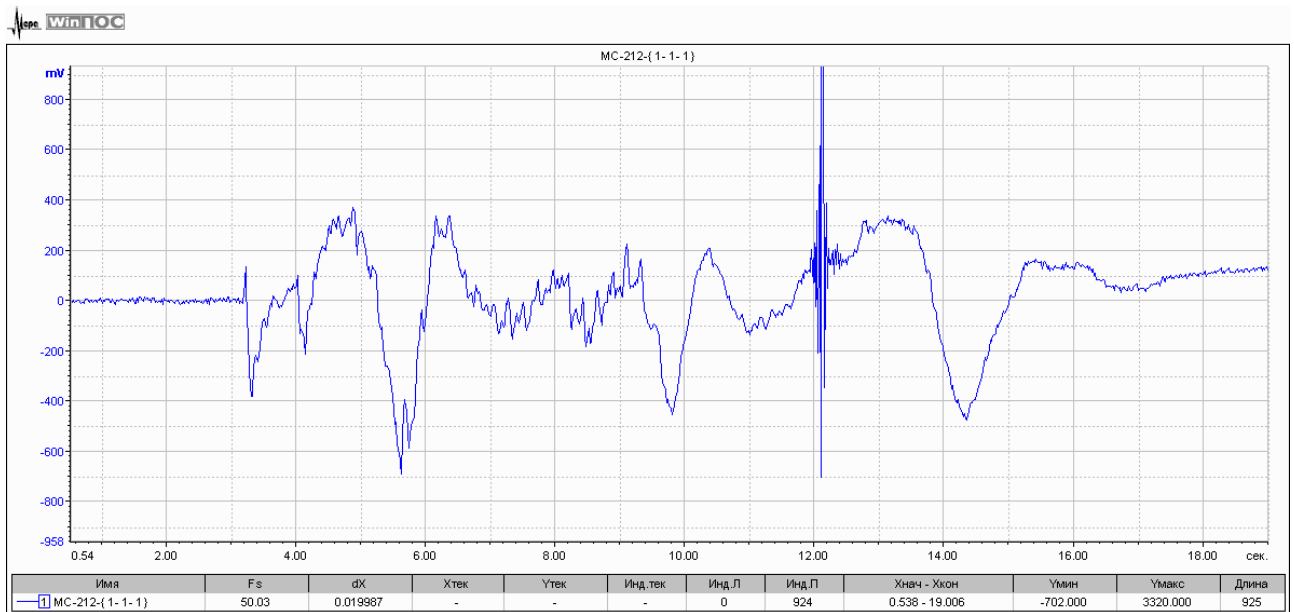


Рисунок 2.22 – Діаграма навантажень при правці зразка №3
(6x35x620, ВСт5пс, $Y_{\max}=380$ mV)

Для отримання значення крутного моменту на 3-у ролику скористаємось тарувальним графіком для переведення значень mV в значення $N\cdot m$.

Масштаб крутних моментів становить $m_m = 0,15 \frac{H \cdot m}{mV}$ (див. п.2.3.5).

Зразок №1

Експериментальне значення:

$$M_{3(E)} = Y_{MAX} \cdot m_m = 290 \cdot 0,15 = 43,5 H \cdot m.$$

Теоретичне розрахункове значення:

$$M_{П(3)} = 43,401 H \cdot m.$$

Відхилення становить:

$$\delta_1 \% = \frac{M_{3(E)} - M_{3(P)}}{M_{3(E)}} \cdot 100\% = \frac{43,5 - 43,401}{42} \cdot 100\% = 0,227\%.$$

Зразок №2

Експериментальне значення:

$$M_{3(E)} = Y_{MAX} \cdot m_m = 540 \cdot 0,15 = 81 H \cdot m.$$

Теоретичне розрахункове значення:

$$M_{П(3)} = 81,33 H \cdot m.$$

Відхилення становить:

$$\delta_2 \% = \frac{M_{3(E)} - M_{3(P)}}{M_{3(E)}} \cdot 100\% = \frac{81 - 81,33}{81} \cdot 100\% = -0,407\%.$$

Зразок №3

Експериментальне значення:

$$M_{3(E)} = Y_{MAX} \cdot m_m = 380 \cdot 0,15 = 57 H \cdot m.$$

Теоретичне розрахункове значення:

$$M_{П(3)} = 43,401 H \cdot m.$$

Відхилення становить:

$$\delta_3 \% = \frac{M_{3(E)} - M_{3(P)}}{M_{3(E)}} \cdot 100\% = \frac{57 - 43,401}{57} \cdot 100\% = 23,85\%.$$

Аналізуючи результати досліджень зразків №1 та №2 можна зробити висновок, що відтворюваність досліду відбулося на високому рівні, а саме: відхилення теоретичних та експериментальних даних складають менше 5% для різних марок сталі (ВСт5пс та ВСт3кп).

Аналізуючи результати досліджень зразка №3 (ВСт5пс) можна зробити висновок, що отримане відхилення теоретичних та експериментальних даних в розмірі 23,85% пояснюється тим, що зразок №3 попередньо був дуже сильно деформований, радіус кривизни складав $R=500$ мм, а в зразків №1 та №2 лише $R=1755$ мм, тобто в процесі виправлення реально відбувалося не пружно-пластичне деформування, а пластичне деформування зразка.



Рисунок 2.23 – Фото зразків до виправлення



Рисунок 2.24 – Фото зразків після виправлення

Висновки

Для проведення експерименту були підібрані дослідницькі зразки металевих пластин з різними геометричними параметрами та фізичними властивостями.

Аналізуючи результати досліджень зразків №1 та №2 можна зробити висновок, що відтворюваність досліду відбулося на високому рівні, а саме: відхилення теоретичних та експериментальних даних складають менше 5% для різних марок сталі (ВСт5пс та ВСт3кп).

Аналізуючи результати досліджень зразка №3 (ВСт5пс) можна зробити висновок, що отримане відхилення теоретичних та експериментальних даних в розмірі 23,85% пояснюється тим, що зразок №3 попередньо був дуже сильно деформований, радіус кривизни складав $R=500$ мм, а в зразків №1 та №2 лише $R=1755$ мм, тобто в процесі виправлення реально відбувалося не пружно-пластичне деформування, а пластичне деформування зразка.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1 Ознайомлення з технологією й устаткуванням ЦГПТЛ ПАТ «Запоріжсталь» показало, що одним з недоліків цеху є незадовільна робота АПР-2, а саме листопривальної (ПРМ-13) машини 13x190x1700, що пов'язано із частими позаплановими простоями у зв'язку з ремонтом та наладкою натискного механізму.

2 У процесі виправлення листа виникає необхідність коригування зазору між верхньою касетою з роликами й нижньою касетою через різний ступінь деформації листа. В конструкції існує регулювання зазору за допомогою чотирьох натискних гвинтів, що приводяться в рух груповим приводом. В проекті модернізації пропонується замінити існуючий привод на індивідуальний для кожного гвинта шляхом заміни двигуна, редуктора і вала карданного на мотор-редуктор з'єднаний через зубчасту муфту із черв'яком.

3 Проведено розрахунки найбільш навантажених вузлів та деталей. Результати розрахунків механізмів вказують на досить високу їх надійність.

4 В дослідницькій частині магістерської роботи було проведено огляд та аналіз устаткування дослідної роликової правильної машини для виправлення листа. Розроблена схема проведення експерименту для дослідження зусиль і крутних моментів при виправленні листа. Для проведення експерименту були підібрані дослідницькі зразки металевих пластин з різними геометричними параметрами та фізичними властивостями.

Аналізуючи результати досліджень зразків №1 та №2 можна зробити висновок, що відтворюваність досліду відбулося на високому рівні, а саме: відхилення теоретичних та експериментальних даних складають менше 5% для різних марок сталі (ВСт5пс та ВСт3кп).

Аналізуючи результати досліджень зразка №3 (ВСт5пс) можна зробити висновок, що отримане відхилення теоретичних та експериментальних даних в розмірі 23,85% пояснюється тим, що зразок №3 попередньо був дуже сильно деформовано, радіус кривизни складав $R=500$ мм, а в зразків №1 та №2 лише

R=1755 мм, тобто в процесі виправлення реально відбувалося не пружно-пластичне деформування, а пластичне деформування зразка.

Наведено опис вимірювальної апаратури «МІС-212» та програмних комплексів Recorder та WinПос для отримання, обробки та візуалізації інформації з сигналів, що отримані під час експерименту.

5 В електричній частині проведено розрахунки вибору потужності двигуна приводу правильної машини, вибору силової комунікаційної апаратури та наведено опис роботи електросхеми приводу, виконані розрахунки підтверджують, що обраний електропривод повністю відповідає умовам роботи листопрямильної машини.

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 правильної машини.

7 У розділі охорона праці та техногенна безпека зроблено розрахунок рівня механізації праці ділянки. Проведено аналіз потенційних шкідливих факторів виробничого середовища, такі як шум, пил, висока температура й надані методи захисту від них. Зроблено розрахунок звукоізоляційного пульта дистанційного керування.

8 В економічній частині був зроблений розрахунок додаткових капітальних вкладень на модернізацію устаткування, які необхідні для реалізації проекту, розраховано збільшення річного прибутку при експлуатації модернізованого устаткування.

9 Представлена в роботі модернізація 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. ” Механическое оборудование прокатных и трубных цехов ” учебник для ВУЗОВ 4-е издание, переработано и переработано – М. Металлургия 1987- 479 с.
2. Целиков А.И. ” Машины и агрегаты металлургических заводов ” учебник для ВУЗОВ 2-е издание, переработано и переработано – М. Металлургия 1988- 680 с.
3. Королев А.А. ”Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов” пособие для ВУЗОВ 2-е издание, переработано и переработано – М. Металлургия 1985-376 с.
4. Теория прокатки: Учебник для вузов./Грудьев А.П. – М.: Металлургия,1988,240 с.
5. Методичний посібник до виконання курсових робіт з дисципліни ТЛ і КМЦ та загальної частини дипломних проектів для студентів спеціальності 7.090218 спеціалізації ММО, МО та ОМТ/Укл.:Прищип М.Г.-Запоріжжя, 2002.-74 с.
6. Детали машин. Методические указания к курсовому проектированию./Сост. С.В. Погорелов – Запорожье: Изд-во ЗГИА, 2003.-71с.
7. Детали машин в примерах и задачах. Ничипорчик С.Н., Корженцевский М.И., Калачёв В.Ф. и др. – М.: Высшая школа, 1981-432с.
8. Иванов М.Н. Детали машин. – М.: Высшая школа, 1984-336с.
9. Дипломне проектування: рекомендації для студентів всіх форм навчання за спеціальністю 7.090218 "Металургійне обладнання" /Укл. Жук А.Я., Желябіна Н.К. Запоріжжя: вид. ЗДІА, 2001 – 76с.
- 10.Конструкції та розрахунки металургійного обладнання. Навчально-Методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальностей 7.090218, 7.050503 денної й заочної форми навчання./ Укл.: Г.О. Федьков, В.М. Хімін.- Запоріжжя: 2008 - 80с.
- 11.Инструкции и методические указания к лабораторному практикуму по

механическому оборудованию металлургических заводов для студентов по специальности «Механическое оборудование заводов черной металлургии». Дрепропетровск - 1971.

- 12.Таратута К.В. Організація та планування виробництва.-Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2006-33с.
- 13.Выдрин Н.В., Федосеенко А.С. Автоматизация прокатного производства. – М.: Металлургия, 1984. – 472с.
- 14.Афанасьев В.Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве. – М.: Металлургия, 1979. – 280с.
- 15.Охорона праці і промислова безпека. Навчальний посібник /К.Н. Ткачук та ін. К.: Основа, 2009.
- 16.Ярошевська В. М., Чабан В. І. Охорона праці у галузі. К.: ВД «Професіонал» 2004.
- 17.Бринза В.Н. Охрана труда в прокатном производстве. - М.: Металлургия, 1990.- 237 с.
- 18.Кожемякін Г.Б. Охорона праці та техногенна безпека. Методічні вказівки до виконання розділу магістерських робіт. Запоріжжя, ЗДІА, 2012.
- 19.Міжнародний статдарт OHSAS 18001: 2007. Система міжнародної охорони праці. Вимоги.
- 20.Трахтенберг І. М., Коршун М. М., Чабанова О. В. Гігієна праці та виробнича санітарія.-К., 1997.- 461 с.
- 21.Геврик Є.О. Охорона праці – К.: Єльта; Ніка – Центр, 2003.- 280с.
- 22.<http://www.nppmera.ru/>
- 23.<http://www.convert-me.com/ru/convert/pressure/atm.html>
24. <http://www.zetlab.ru/>