

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра будівництва та професійної освіти**

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

«магістр»

*бакалавр, магістр*

на тему: «Удосконалення конструкції дробометної установки для обробки  
металевої поверхні сільськогосподарської техніки»

КРМ.133ГМмд\_22.12.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою

Машини і засоби механізації

сільськогосподарського виробництва

*назва ОПП*

спеціальності 133 Галузеве

машинобудування

*код та найменування спеціальності*

ступеня вищої освіти «магістр» групи

133ГМмд\_22

Курда Т.Я.

*Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти*

Керівник: Горик О.В.

*Прізвище та ініціали керівника*

**Полтава – 2023 року**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 5 розділів, 23 рис., 6 табл., 51 використаних джерел, 69 сторінок.

Об'єктом розробки вибрано холоднокатаний лист.

Предметом досліджень є механізм формування необхідної мікрогеометрії на поверхні прокатних валків та її репродукція на поверхню холоднокатаного листа під час деформування.

Метою роботи є удосконалення конструкції обладнання для насічки валків гартувальних станів дробом та коригування технологічних режимів обробки прокатних валків для підвищення якості поверхні холоднокатаного листа.

Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра – можливість керування параметрами шорсткості на поверхні прокатного валка шляхом зміни технологічних параметрів дробометної обробки з метою збільшення частки випуску листів 1-ої групи обробки поверхні для машинобудування.

У першому розділі представлений аналіз стану поверхневого шару, як фактор якості прокатної продукції.

У другому розділі запропоновано теоретичну модель визначення параметра шорсткості металевої поверхні при дробометній обробці.

У третьому розділі представлена загальна методика проведення експериментів, описаний експериментальний зразок подрібнювача, прилади та вимірювальна апаратура, що використовуються при дослідженнях, викладені методики досліджень та обробки експериментальних даних.

У четвертому розділі висвітлено результати експериментальних досліджень основних технологічних параметрів дробометної обробки та їх вплив на формування мікрогеометрії оброблюваної поверхні.

У п'ятому розділі розглянуті питання екологічної безпеки та запропоновані заходи з охорони праці, зроблений аналіз техніко-економічного обґрунтування обладнання робочих валків.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Практичні результати роботи – внесено зміни до конструкції дробометної установки, що дозволило збільшити щільність і рівномірність факела дробу (замість трьох зон отримали дві зони плями контакту факела з оброблюваною поверхнею).

Рекомендації щодо використання результатів роботи – отримані результати дозволить збільшити щільність піків на 20-22% порівняно з існуючою технологією, що застосовується на виробництві заводу.

Сфера застосування результатів роботи – агропромислове і машинобудівне виробництво.

Ілюстраційна частина кваліфікаційної роботи – 8 аркушів.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу Unicheck: унікальність тексту – 97,99%.

#### АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена удосконаленню конструкції обладнання для насічки валків гартувальних станів дробом та коригування технологічних режимів обробки прокатних валків для підвищення якості поверхні холоднокатаного листа.

ХОЛОДНОКАТАНИЙ ЛИСТ, ДРОБОМЕТ, ДРІБ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА, ОХОРОНА ПРАЦІ.

#### ANNOTATION

The work is devoted to improving the design of equipment for notching rolls of training mills by fraction and adjusting the technological modes of processing of rolled rolls to improve the surface quality of cold-rolled sheet.

COLD-ROLLED SHEET, SHOTGUN, FRACTION, PRODUCTIVITY, ROUGHNESS, ECOLOGICAL EXPERTISE, LABOR PROTECTION.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ЗМІСТ

|     |                                                                                                                            |                                        |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1   | СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                                                             | 6                                      |
| 1.1 | Стан поверхневого шару як фактор якості прокатної продукції.....                                                           | 6                                      |
| 1.2 | Загальні вимоги до якості поверхні холоднокатаного листа .....                                                             | 9                                      |
| 1.3 | Вплив способу формування мікрогеометрії поверхні інструменту на шорсткість холоднокатаного листа .....                     | 11                                     |
| 1.4 | Вплив конструкції та стану дробометного обладнання на формування факела дробу .....                                        | 14                                     |
| 2   | ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....                                                                                                | 18                                     |
| 2.1 | Розробка теоретичної моделі визначення параметра шорсткості металевої поверхні при дробометній обробці .....               | 18                                     |
| 2.2 | Вплив характеристик дробу і режимів насічки валків на шорсткість поверхні листа .....                                      | 23                                     |
| 3   | МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                                                                       | 32                                     |
| 3.1 | Дослідні зразки для обробки.....                                                                                           | 32                                     |
| 3.2 | Методика визначення характеристик використовуваного дробу.....                                                             | 32                                     |
| 3.3 | Методика визначення оцінки щільності насічки .....                                                                         | 34                                     |
| 3.4 | Вимірювання параметрів шорсткості поверхні зразків.....                                                                    | 35                                     |
| 4   | РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ .....                                                                                             | 38                                     |
| 4.1 | Дослідження основних технологічних параметрів дробометної обробки на формування мікрогеометрії оброблюваної поверхні ..... | 38                                     |
| 4.2 | Дослідження технології дробометної обробки робочих валків холодної прокатки .....                                          | 41                                     |
| 4.3 | Дослідження впливу зносу лопаток на шорсткість поверхні, що насікається .....                                              | 44                                     |
| 4.4 | Модернізація конструкції дробометної установки для обробки поверхні робочих валків .....                                   | 45                                     |
| 5   | РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ.....                                                                    | 48                                     |
| 5.1 | Практичні рекомендації щодо вдосконалення технології підготовки поверхні робочих валків.....                               | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 5.2 | Екологічна експертиза .....                                                                                                | 48                                     |
| 5.3 | Охорона праці та безпека з надзвичайних ситуацій .....                                                                     | 50                                     |
| 5.4 | Техніко-економічне обґрунтування розробки.....                                                                             | 52                                     |
|     | ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....                                                                                                    | 54                                     |
|     | СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....                                                                                              | 55                                     |

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** В даний час до холоднокатаного листа пред'являються високі вимоги щодо якості поверхні, що характеризується, в першу чергу, параметрами шорсткості поверхні. Перевищення певних критичних значень показників стану поверхні призводить до формування поверхневих дефектів. Для зниження ймовірності появи поверхневих дефектів необхідно регламентувати параметри шорсткості у вузьких межах, особливо кузовних деталей сільськогосподарської техніки.

Висока щільність піків та рівномірна шорсткість поверхні є однією з основних умов гарної адгезії та високоякісного нанесення лакофарбових покриттів.

Споживачі холоднокатаного листа пред'являють підвищені вимоги до фізико-механічних властивостей, якості обробки поверхні, точності геометричної форми та розмірів, що забезпечують якісну переробку прокату, тому для отримання конкурентоспроможної продукції потрібне вивчення технології отримання, а також умов підготовки технологічного обладнання.

Досвід освоєння високорентабельного прокатного виробництва показав, що не всі технічні рішення, спрямовані на підвищення якості поверхні одного виду прокатної продукції можуть бути використані для підвищення якості іншого з огляду на специфічні вимоги до стану їх поверхневого шару.

Вимоги до поверхні холоднокатаного листа за параметрами шорсткості забезпечуються попередньою підготовкою поверхні робочих валків гартувальних станів - насічкою, що формує шорсткість поверхні валка та перенесення її на поверхню полоси, що прокочується.

Якість обробленої поверхні прокатних валків нерозривно пов'язана з впливом технології, одного з поширених способів обробки поверхні прокатних валків - дробометної обробки (ДМО), станом обладнання дробометної установки (ДМУ), режимами обробки і характеристик дробу на шорсткість поверхні, що насікається, а також репродукції цієї шорсткості лежить на поверхні холоднокатаного листа у процесі обробки.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Багато вчених наголошують, що на процес формування мікрогеометрії холоднокатаної смуги великий вплив має вихідна шорсткість прокатних валків, її зміна при зносі валків під час прокатки та репродукція шорсткості залежно від умов прокатки.

Формування мікрогеометрії поверхні листа в процесі прокатки є складною комплексною проблемою, що включає питання нанесення шорсткості з необхідними параметрами на поверхню валків та аналіз умов формування мікрогеометрії поверхні смуги за рахунок віддруковуваності вершин мікрорельєфу поверхні валків у поверхню листа при холодній прокатці.

Наразі вимоги зарубіжних та вітчизняних підприємств машинобудування до мікрогеометрії поверхні листа посилилися. А саме потрібна обов'язкова регламентація як висотних, так і крокових параметрів шорсткості поверхні.

Актуальність даної роботи викликана необхідністю розробки уточненої технології отримання холоднокатаного листа з регламентованими параметрами шорсткості та зміни конструкції обладнання для насічки поверхні прокатних валків дробом.

**Об'єкт досліджень** - холоднокатаний лист.

**Предметом досліджень** є механізм формування необхідної мікрогеометрії на поверхні прокатних валків та її репродукція на поверхню холоднокатаного листа під час деформування.

**Метою роботи** є удосконалення конструкції обладнання для насічки валків гартувальних станів дробом та коригування технологічних режимів обробки прокатних валків для підвищення якості поверхні холоднокатаного листа.

Для досягнення мети роботи необхідне вирішення *завдань*:

- Дослідити існуюче обладнання, що застосовується для насічки поверхні прокатних валків та вивчити механізм формування мікрогеометрії на його поверхні.
- Розробити технічні рішення, що спрямовані на модернізацію існуючого обладнання з метою зменшення розкиду параметрів шорсткості.
- Здійснити апробацію результатів, одержаних на змінній конструкції

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

дробометної установки та дати практичні рекомендації щодо удосконалення технології підготовки поверхні робочих валків.

**Наукова новизна** роботи полягає в наступному: розроблено математичну модель формування висотного параметра шорсткості поверхні прокатного валка, що дозволяє уточнити опис процесу взаємодії в системі дріб - валок, і враховує пружну деформацію матеріалів і інструменту, і заготовки, а також стан вихідної шорсткості поверхні валка, і забезпечує отримання висотних параметрів 6-4,0 мкм.

Практичним шляхом встановлена необхідність звуження факела дробу, що обробляє поверхню прокатного валка, за рахунок зміни конструкції захисного корпусу дробомета і фіксації штор у вертикальному положенні, з урахуванням допустимої екрануючої дії та зміни кутів атаки дробу по відношенню до поверхні штори в межах від  $8^{\circ}$  до  $28^{\circ}$  що призводить до отримання необхідних висотного та крокового параметрів шорсткості на поверхні валка.

Змінена конструкція ДМУ та скоригована технологія насічки поверхні валків дозволила отримати холоднокатаний лист 1-ої групи обробки поверхні з регламентованими параметрами шорсткості.

**Практична значущість** роботи полягає в тому, що на підставі отриманих теоретичних та практичних розробок, керування параметрами шорсткості на поверхні прокатного валка шляхом зміни технологічних параметрів дробометної обробки з метою збільшення частки випуску автомобільного листа 1-ої групи обробки поверхні.

**Методологія та методи дослідження.** Теоретичні та практичні дослідження одержання необхідної шорсткості на поверхні прокатного валка виконані на основі моделювання процесу формування його мікрогеометрії з використанням елементів теорії пружності та пластичності, на лабораторному та заводському обладнанні. Обробка результатів експериментів проводилася за допомогою програмного пакету Excel, MathCAD.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Стан поверхневого шару як фактор якості прокатної продукції

З досвіду металургійних та машинобудівних підприємств відомо, що стан поверхневого шару визначає багато в чому здатність до витяжки, контактну жорсткість, зносостійкість, статичну та циклічну міцність, опір корозійному розтріскуванню, відбивну здатність, магнітні властивості, адгезію з різного роду покриттями, зовнішній вигляд покриття або фарбування та інші показники в залежності від її призначення [1].

Одним з основних факторів, що впливають на штампування, є стан поверхневого шару деталей машин. Технологія виготовлення штампованих виробів полягає в штампуванні деталей та нанесенні антикорозійних покриттів.

Якість металопрокату з покриттям переважно залежить від шорсткості поверхні металу. Експерименти показали, що кращою є середня шорсткість, а обробки з отриманням дуже гладкої поверхні (з параметром шорсткості менше 0,5 мкм) слід уникати. Для виготовлення прокату відносно грубою поверхнею (з висотою виступів мікрорельєфу до 8,9 мкм) можна використовувати шліфування. Однак при такій обробці шорсткість поверхні металопрокату відрізняється як в осьовому напрямку, так і по колу. Тому такі поверхні бажано отримувати іншими способами, такими як електро-імпульсна, магнітоабразивна, дробеметна та інші види обробки.

Шорсткість поверхневого шару металопрокату впливає і на технологію подальшої переробки листа. Відомо, що високі піки мікрорельєфу підвищують витрату покриття і можуть призвести до перфорації покриття при штампуванні виробу [2].

У більшості з них наголошується, що розвинена шорсткість поверхні листового прокату з великою щільністю піків надає йому кращої штампування. Вченими вивчено вплив різних факторів, у тому числі стану поверхневого шару на штампування при виконанні різних операцій штампування [3].

При зниженні шорсткості поверхні збільшується межа витривалості,

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

зносостійкості та опір поверхневому фарбуванню [4]. Щоб забезпечити отримання заданої шорсткості, необхідно керувати процесом обробки, тобто необхідно знати його основні закономірності.

Резерв пластичності при випробуванні за Енгельгардом також залежить від характеру обробки поверхні. Зі збільшенням шорсткості поверхні величина резерву пластичності зменшується при випробуванні листів без покриття, і збільшується при випробуванні листів з обробкою.

Вплив структури шорсткого шару на відбивну здатність зазначається у роботах [5]. Ступінь відображення варіюється в залежності від способу обробки: шліфування, полірування, доведення пастою, обробки дробом та інших способів.

Для підвищення коефіцієнта відображення рекомендується поверхню листа прокатувати у валках, насічених дрібним дробом. Сформована в таких валках поверхня характеризується високою ізотропією шорсткості та збільшеним коефіцієнтом відбиття на 3...5% порівняно з поверхнею стрічки, прокатої полірованих валках.

За даними [6] мікрогеометрія поверхні впливає на розподіл контактної напруження, особливо при контакті низько модульних матеріалів.

На стан поверхневого шару істотно впливає величина зміцненого шару [7]. Формування на поверхні металопрокату зміцненого шару підвищує механічні характеристики та збільшує стійкість поверхні.

Вченими пропонується безліч різних методів по зміцненню поверхневого шару, такі як обробка роликами, алмазне вигладжування, насічка вільним абразивом, дробометне зміцнення, електроерозійна обробка [8].

На поверхні гарячекатаного металу утворюються окалини та окисні плівки, які потребують додаткового очищення. Для очищення поверхні від окалини застосовують травлення смуги, гідроабразивний метод, видалення окалини за допомогою дробу [9].

У деяких випадках для видалення оксидів з поверхні, а також для отримання відносно низької шорсткості поверхні, що обробляється застосовують шліфування. Однак цей спосіб є дорогим. До недоліків такого методу можна

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

віднести шаржування поверхні фрагментами абразивних зерен. Застосування ударно-зміцнювальних технологій дозволяють отримати поверхні з невеликими величинами шорсткості з високою щільністю виступів мікропрофілю [10].

На стан поверхневого шару металопрокату впливає наявність та характер розподілу залишкових напруг [11]. Вченими доведено, що зміна залишкового напруження розтягування на залишкові напруження стиску, створює сприятливі умови підвищення стійкості мікрорельєфу в процесі експлуатації металопрокату.

За даними робіт [12] збільшення фактичної площі контакту покриття з основою рекомендується високий рівень шорсткості з безліччю зачепів, гострих заглиблень і виступів.

На металургійних заводах поширені методи формування поверхневого шару листового прокату, звані «шорсткі кишені». Такі поверхні виходять після прокатки у валках, підданих магнітно-абразивної або дробометної видів обробки, а також оброблені тертям та вібро-обкатуванням. Вони характеризуються наявністю щодо глибоких западин з великим кроком і розташованої між ними шорсткості з малим кроком та меншою висотою мікронерівностей [13].

Залежність змочуваності поверхні прокату з його шорсткості встановлена дослідженнями [14]. Найкращу змочуваність технологічними рідинами дають ділянки металопрокату з шорсткістю  $Ra=2$  мкм. Аналогічний зв'язок є між структурою шорсткого шару прокатної продукції та її споживчими властивостями, що визначаються багато в чому здатністю до витяжки при штампуванні, контактною жорсткістю, зносостійкістю, статичною та циклічною міцністю, опором корозійному розтріскуванню, відбивною здатністю, магнітними властивостями видом продукції після фарбування чи нанесення покриття та іншими показниками залежно від її призначення.

Рівномірність покриття залежить від густини мікровиступів на поверхні основного металу. При густині піків 20...25 на 10 мм довжини мікропрофілю з'являються напливи та пористість покриття. Зі збільшенням густини мікровиступів до 50...70 на 10 мм довжини мікропрофілю вихідної поверхні такі дефекти не спостерігаються. Однак гладка поверхня небажана, оскільки до такої

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

поверхні пристає покриття [4, 5].

Формування мікрогеометрії поверхні смуги в процесі прокатки є складною комплексною проблемою, що включає питання нанесення шорсткості з необхідними параметрами на поверхню валків і аналіз умов формування мікрогеометрії поверхні смуги за рахунок друку вершин мікрорельєфу поверхні валків на поверхні смуги при холодній прокатці і дресируванні [3, 15].

Задоволення вимог до мікрогеометрії поверхні холоднокатаних листів неможливе без глибшого теоретичного дослідження та математичного опису процесу її формування при прокатці [16].

При гладкій поверхні смуги та шорсткої поверхні робочого інструменту формоутворення мікрорельєфу прокату відбувається шляхом заповнення мікрозаглиблень на поверхні валка металом, що деформується. Глибина затікання металу в мікровпадини поверхні валка при проходженні смугою вогнища деформації визначає величину та форму її шорсткості після прокатки. При малих обтисненнях мікровиступи поверхні валка, проникаючи у поверхню смуги, створюють у ньому поглиблення [2, 17].

При проходженні шорсткої смуги між гладкими валками механізм формування мікрорельєфу інший - в осередку деформації відбувається зминання мікровиступів вихідної поверхні металу.

Таким чином, стан поверхні прокатної продукції, і насамперед її мікрогеометрія, є найважливішим показником її якості. Випуск високоякісної продукції незмінно пов'язаний із проблемою формування регламентованої структури її шорсткого шару відповідно до споживчих властивостей. Це є важливим, але вирішуваним завданням металургійних заводів для випуску конкурентоспроможної продукції та завоювання визнання на ринку збуту.

## 1.2 Загальні вимоги до якості поверхні холоднокатаного листа

Споживачі холоднокатаного листа пред'являють підвищені вимоги щодо фізико-механічних властивостей, якості обробки поверхні, точності геометричної форми та розмірів, що забезпечують якісну переробку прокату [6-11].

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Висока щільність піків та рівномірна шорсткість поверхні є однією з основних умов гарної адгезії та високоякісного нанесення лакофарбових покриттів [4-6].

Лист 1-ої групи обробки поверхні (рис. 1.1) виготовляється у відповідності до вимог ГОСТ 9045-93 ( табл. 1.1).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд холоднокатаних листів на виробництві

Таблиця 1.1 – Характеристика якості обробки поверхні, відповідно до ГОСТ 9045-93

| Стан поверхні | Характеристика стану обробки поверхні | Характеристика якості поверхні                                                                                                       |
|---------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Глянцева      | Шорсткість Ra, не більше 0,6 мкм      | На лицьовій стороні прокату не допускаються дефекти, крім окремих рисок та подряпин завдовжки менше 20 мм.                           |
| Матова        | Шорсткість Ra, не більше 1,6 мкм      |                                                                                                                                      |
| Шорстка       | Шорсткість Ra, більше 1,6 мкм         | На звороті прокату не допускаються дефекти, глибина яких перевищує 1/4 суми граничних відхилень по товщині, а також плями забруднень |

Європейським документом, що регламентує якість поверхні холоднокатаного листа, є стандарт DIN 1623.1-83 (табл. 1.2).

Одночасно враховуються конкретні вимоги споживачів (ПрАТ «АВТОКРАЗ» та ін.).

Таблиця 1.2 – Стандарт DIN 1623.1-83, що регламентує якість поверхні холоднокатаного листа

| Стан поверхні   | Позначення | Характеристика стану обробки поверхні |
|-----------------|------------|---------------------------------------|
| Особливо гладка | B          | Шорсткість Ra, не більше 0,4 мкм      |
| Гладка          | J          | Шорсткість Ra, не більше 0,9 мкм      |
| Матова          | M          | Шорсткість Ra = 0,6-1,9 мкм           |
| Шоретка         | R          | Шорсткість Ra, більше 1,6 мкм         |

### 1.3 Вплив способу формування мікрогеометрії поверхні інструменту на шорсткість холоднокатаного листа

На отримання якісного холоднокатаного листа з високими споживчими властивостями впливає вихідна шорсткість поверхні прокатних валків, а також зміна її в процесі прокатки.

В даний час застосовують ряд способів отримання шорсткості на поверхні валків, відповідно до експлуатаційних вимог, що пред'являються до валків, а також якості металопрокату. Найбільш широко застосовуються: дробометний, електроерозійний, електронно-променевий, лазерний. Залежно від способу, що застосовуються, параметри мікрогеометрії істотно відрізняються один від одного. Це зумовлено фізичними явищами процесу формування профілю шорсткості, властивими кожному способу [10, 19].

#### Дробометний спосіб (ДМС)

Насікання поверхні прокатних валків дробом в даний час широко застосовується в прокатній промисловості, як в Україні, так і за кордоном. Цей спосіб дозволяє отримувати дуже широкий діапазон шорсткості поверхні

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

прокатних валків  $Ra=1,5-6,0$  мкм [20-22].

Отримання ізотропного та відносно стійкого мікрорельєфу, що забезпечує підвищення загальної зносостійкості поверхневого шару, досягають застосування дробометної обробки. Насікання поверхні прокатних валків дробом практично повністю видаляє з неї фрагмента абразивних зерен, що залишилися після операції шліфування, «заліковує» зародки, що утворилися на поверхні мікротріщин, підвищує експлуатаційні характеристики поверхневого шару за рахунок його зміцнення та формування квазірегулярного мікрорельєфу поверхні. У процесі експлуатації відбувається вирівнювання ступеня наклепу по всьому перерізу мікровпадини, що забезпечує рівномірність зносу мікрорельєфу.

Дробометна обробка є єдиним процесом, який протікає нижче за температуру рекристалізації, при цьому відбувається механічне зміцнення мікрорельєфу, а не перегаартування, як в інших способах.

### **Лазерний спосіб (ЛЗ)**

Лазерний спосіб дозволяє отримати шорсткість поверхні прокатних валків  $Ra$ , до 10 мкм із щільністю піків мікровиступів  $40-420 \text{ см}^{-1}$  залежно від потужності лазера та фокусування променя [17].

За допомогою лазерної обробки створюється повторювана через рівномірні інтервали картинка шорсткості. При цьому виявляються однакові відстані між усіма западинами в поздовжньому напрямку та всіма западинами в тангенціальному напрямку на валку. Нормальними вважаються середня глибина западин 2,5-5 мкм і діаметр западин 100 мкм. Відстань між западинами варіюється в залежності від параметра шорсткості в межах 200-300 мкм.

### **Електронно-променевий спосіб (ЕПС)**

Електронно-променевий спосіб обробки поверхні прокатних валків дає можливість отримати широкий діапазон параметрів шорсткості в залежності від фокусування променя. Досяжна шорсткість валка не залежить від його твердості. Тривалість обробки одного валка залежить від шорсткості, що надається, тобто. розміру утворюються западин, і становить 30-40 хв [23].

Даний спосіб характеризується можливістю варіювання поєднанням різних

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

параметрів шорсткості, але складність обладнання, не висока надійність його використання, а також великий дисперсійний розкид параметрів шорсткості на різних ділянках поверхні прокатного валка не дають можливості широкого використання.

### **Електроіскрове легування**

Цей вид обробки має деяку схожість з електроерозійною обробкою, проте при електроіскровому легуванні процес здійснюється в повітряному середовищі при зворотній полярності електродів (деталь є катодом, а електрод - анодом).

Застосування електроіскрового легування для обробки поверхні прокатних валків дозволяє шляхом підбору матеріалу легуючого електрода одержати на робочій поверхні валка шорсткий шар із щільністю піків  $59-61 \text{ см}^{-1}$  [24].

До основних недоліків способу, що застосовується, можна віднести низьку продуктивність процесу, складність отримання рівномірної шорсткості.

### **Електроерозійний спосіб (ЕЕС)**

Даний спосіб полягає у створенні електричних розрядів між валком та електродами, встановленими на певній відстані від нього. У місцях дії розрядів на оброблюваній поверхні утворюються мікрозаглиблення, які, накладаючись один на одного, формують мікрорельєф поверхні [25].

У таблиці 1.3 зведено найбільш значущі параметри різних способів обробки поверхні прокатних валків.

Аналізуючи дані таблиці, можна зробити висновок, що поряд з дробометною обробкою широко використовується електроерозійне текстурування, особливо для лицьових кузовних деталей, де потрібні регламентовані показники шорсткості  $R_a$  та  $R_s$ . Але через свої переваги, дробометна обробка залишається найбільш використовуваним способом формування мікрорельєфу на поверхні прокатних валків, для отримання необхідної шорсткості на поверхні не лицьових деталей автомобілів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Таблиця 1.3 – Порівняльні характеристики різних способів обробки поверхні прокатних валків

| Параметр обробки                                                 | Спосіб обробки поверхні прокатних валків |                               |                               |                               |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                                                  | ДМО                                      | ЕРТ                           | ЛТ                            | ЕЛТ                           |
| Форма мікронерівностей                                           | трикутні, трапецевидні                   | кратери                       | кратери                       | кратери                       |
| Діапазон висотного параметра шорсткості $R_a$ , мкм              | 1,5-6                                    | 0,5-10,0                      | 0,8-10,0                      | 0,5-20,0                      |
| Діапазон крокового параметра шорсткості $R_c$ , см <sup>-1</sup> | 50-70                                    | 50-150                        | 50-100                        | 50-150                        |
| Залежність між $R_a$ п $R_c$                                     | залежать                                 | залежать                      | залежить значно               | залежать незначно             |
| Характер розміщення мікронерівностей                             | випадковий                               | випадковий                    | детермінований                | детермінований                |
| Продуктивність обробки                                           | висока                                   | середня                       | мала                          | середня                       |
| Протікання процесу                                               | проходить механічний наклеп              | відбувається перегагартування | відбувається перегагартування | відбувається перегагартування |
| Енергозабезпечення процесу                                       | низьке                                   | високе                        | дуже високе                   | дуже високе                   |

#### 1.4 Вплив конструкції та стану дробеметного обладнання на формування факела дробу

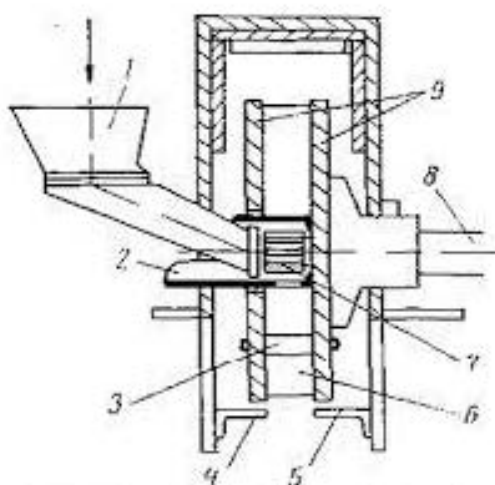
Дробеметні апарати широко використовуються для отримання необхідної мікрогеометрії на поверхні прокатних валків, а також застосовуються в заводських умовах для очищення виливків, поковок, штампованих виробів та листового матеріалу з товщиною стінок понад 5 мм від окалини, іржі, формувальної суміші, землі ( рис. 1.2).

Незважаючи на відмінність конструкцій, та габаритів дробеметних установок, вони мають загальний пристрій і складаються з наступних основних елементів: пристосування для подачі виробів під струмінь дробу (столи, візки, конвеєри), дробеметного апарату, системи циркуляції відпрацьованого дробу та

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

системи сепарації дробу (сита, магнітні, повітряні чи електронні сепаратори).

У дробометному апараті дріб з бункера потрапляє в імпелер (турбінку), лопаті якого, обертаючись навколо осі, пересувають дріб до вікна, через яке вона потрапляє на лопатки ротора і звідти з великою швидкістю на виріб, що очищається. На відміну від дробоструминних апаратів у дробометних апаратах дріб викидається з великою швидкістю (70-80 м/с), в результаті чого вона надає не тільки сколюючий, а й частково абразивний вплив на поверхневий шар металу, що очищається.



1 - завантажувальна воронка; 2- розподільне колесо (імпелер); 3-ротор; 4-диски ротора; 5-лопатки ротора; 6-електродвигун

Рисунок 1.2 – Дробометний апарат

Основним вузлом дробометного апарату є ротор, що має вісім або рідше чотири лопатки. Ротор закріплюється між двома кришками і отримує обертання електродвигуна. Дріб завантажується в приймальну лійку, звідки через розподільну камеру вона подається на лопатки ротора.

Дробометні апарати в порівнянні з піскоструминними, характеризуються більш високою продуктивністю при меншій витраті енергії. Вони створюють меншу запиленість і дозволяють механізувати та автоматизувати процеси очищення. Основним недоліком їх є неможливість обробки тонкостінних виробів та виробів складної конфігурації.

Якість насички робочих валків, одержуваних на вітчизняних металургійних

|       |      |          |        |       |                           |      |
|-------|------|----------|--------|-------|---------------------------|------|
|       |      |          |        |       | КРМ.133ГМ мд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Гідпис | Дат а |                           |      |

підприємствах у дробометних установках з використанням чавунного та сталевих дробів різних фракцій, залежить від розмірів фракцій та їх діапазону у струмені дробу, що подаються на поверхню бочки валка. У свою чергу ефективність роботи дробометної машини вирішальною мірою залежить від надійності роботи сепаратора дробу, що входить до її складу. Сітчасті сепаратори, що застосовуються в дробометних машинах, недовговічні і мають низький рівень надійності, оскільки сітки швидко засмічуються та зношуються. Відновлення зношеного сітчастого сепаратора вимагає великих витрат, пов'язаних із виготовленням або закупівлею за кордоном дорогих зносостійких деталей та вузлів.

При дробометній обробці на висотні крокові параметри шорсткості поверхні валка впливають: фракція дробу, швидкість удару дробу, подача та число подвійних проходів. Найбільший вплив мають фракція і швидкість дробу. Причому розмір дробу надає більш інтенсивний вплив на параметри шорсткості, що формується [13].

Автори [24] у дробометній камері фірми STEM пропонують виконати колесо з прикріпленими лопатками, що складається з динамічно збалансованого шківів тертя. Ці лопатки, виконані з чавуну Crom-Hard, що важко стирається, і збалансовані з точністю  $\pm 2,5$  г, направляють дріб (відцентрово) на заготовку, що піддається обробці.

Ротор захищений чавунною футеровкою Ni-Hard/Crom-Hard, яка захищена корпусом із сталевих товстих плит. Кожен ротор має відповідну приводну одиницю. Обслуговування полягає в зміні лопаток, що зношуються, і футеровки [27].

Авторами [28] було розглянуто вплив при зміні кутів атаки дробу оброблюваної поверхні в межах 30-90°. З отриманих даних можна зробити висновок, глибина наклепу поверхні обробленим дробом при куті атаки 90° вдвічі більше, ніж при куті атаки 30°.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## Висновки до розділу 1

Проведений літературний огляд показав, що шорсткість поверхневого шару прокатних валків надає значний вплив на технологію подальшої переробки листа: штампованість, нанесення лакофарбового покриття, відбивну здатність, а величина зміцненого шару і розподіл контактних напружень істотно впливає на стан поверхневого шару. Таким чином, стан поверхні прокатної продукції, і насамперед її мікрогеометрія, є найважливішим показником її якості.

Розглянуто механізм формування шорсткості з необхідними параметрами на поверхні валків і перенесення цієї шорсткості на поверхню сталевих листів, що прокочуються, що дозволяє моделювати процес обробки поверхні дробом.

Виходячи з вимог, що пред'являються листу, розглянуто ряд способів отримання необхідної шорсткості на поверхні валків. Показано, що найбільш ефективна підготовка поверхні валків прокатних забезпечується шляхом дробометної обробки.

Метою роботи є удосконалення конструкції обладнання для очищення листів та насічки валків гартувальних станів дробом та коригування технологічних режимів обробки прокатних валків для підвищення якості поверхні холоднокатаного листа.

Для вирішення поставлених завдань необхідно вивчення впливу окремих факторів, а також взаємний їх вплив на формування шорсткості на поверхні прокатних валків і перенесення мікрогеометрії на поверхню листа, що гартується.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Розробка теоретичної моделі визначення параметра шорсткості металевої поверхні при дробометній обробці

У відомих наукових роботах, наприклад [29-32], дослідники вивчали шорсткість оброблених поверхонь і геометричні розміри лунок (слідів) на металевій поверхні від дії атакуючих дробинок. Проте результати даних досліджень націлені на вивчення і аналіз окремих параметрів самого процесу ударної взаємодії твердих тіл, передумови якої потребують більш глибокого аналітичного обґрунтування.

У даній роботі приведена апробована методика визначення геометричних розмірів лунки, яку залишає окрема сферична дробинка на плоскій поверхні металевого півпростору в результаті ударної взаємодії (рис. 2.1). При розробці даної методики прийнято, що оброблювана поверхня – пружно-пластичний півпростір, дробинка – тверде тіло сферичної форми діаметром  $d_{op}$ , яке здійснює в процесі взаємодії з оброблюваною поверхнею плоский рух в прямокутній системі координат  $XOY$  (вісь  $OY$  нормальна до оброблюваної поверхні).

Стикнувшись з оброблюваною поверхнею у точці  $a$  зі швидкістю  $v$  під кутом  $\alpha$ , дробинка поступово вдавлюється в поверхневий шар на глибину  $h$  (вздовж осі  $Y$ ) і переміщається з ліва на право в тангенціальному напрямі (вздовж осі  $X$ ) на довжину  $l_{ум}$  одночасно обертаючись за годинниковою стрілкою. Досягнувши у точці  $k$  максимального занурення на глибину  $h$ , величина якого визначається механічними властивостями матеріалу оброблюваної деталі, дробинка, обертаючись навколо центру мас, продовжує рух у тангенціальному напрямі і поступово піднімається до нульового рівня оброблюваної поверхні в точці  $b$ , з якої рикошетує зі швидкістю  $u$  під кутом  $\beta$ . Умовно прийнято, що кут атаки  $\alpha$  рівний куту рикошетування  $\beta$ , якщо не стоїть конкретна задача встановлення залежності між ними.

Після атаки дробинка залишає на оброблюваній поверхні вм'ятину у вигляді довгастої лунки (сліду) довжиною  $l$ , глибиною  $h$  і шириною  $b$  [29]. При

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

цьому в поздовжньому перерізі, тобто в площині пересування дробинки  $XOY$ , яка перпендикулярна оброблюваній поверхні, лунка має форму сегмента радіусом  $r_n$ , що визначається траєкторією переміщення дробинки  $O_1O_2O_3$ , а у поперечному перерізі – сегмента радіусом  $r_{op}$  (рис. 2.1).

Такі припущення стосовно геометричних розмірів сліду, який залишає дробинка на оброблюваній поверхні, добре узгоджуються з отриманими нами експериментальними даними.

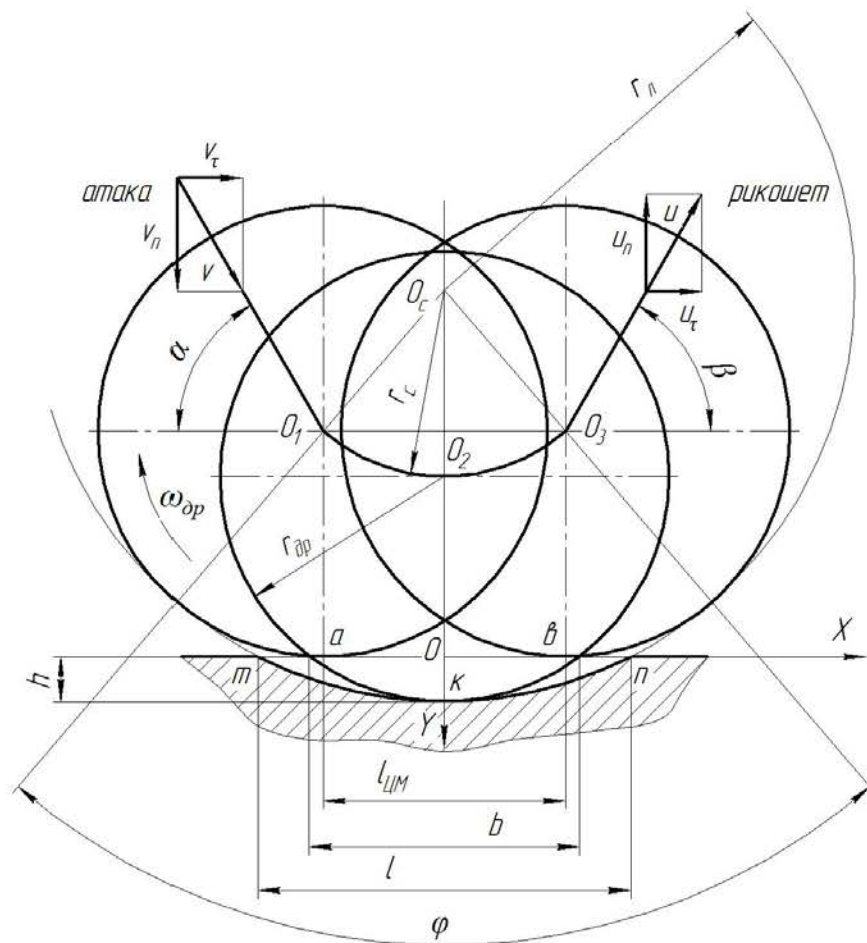


Рисунок 2.1 – Схема взаємодії дробинки з металевою поверхнею

Швидкість атаки  $v$  у процесі взаємодії з оброблюваною поверхнею можна розділити на дві складові: нормальну до оброблюваної поверхні в напрямку вісі  $Y$ ,  $v_n$  при атаці і  $u_n$  при рикошеті дробинки; тангенціальну – в напрямі вісі  $X$ ,  $v_t$  при атаці і  $u_t$  при рикошеті дробинки.

Нормальна складова швидкості атаки  $v_n$  зменшується від деякого

початкового значення до нуля, коли дробинка досягає максимальної глибини занурення  $h$ . Потім дробинка змінює напрям свого руху на зворотній, а нормальна складова швидкості збільшується від нуля до деякого кінцевого значення  $u_n$ .

Тангенціальна складова швидкості руху дробинки в процесі взаємодії з поверхневим шаром не змінює свого напрямку, а тільки зменшується при переміщенні центру маси дробинки на величину  $l_{\mu m}$ , від деякого початкового значення  $v_\tau$  до деякого кінцевого значення  $u_\tau$ .

У кожний момент часу повна енергія системи дріб – пружно-пластичний півпростір є постійною величиною і дорівнює сумі миттєвих значень кінетичної енергії атакуючого тіла  $T(t)$  і роботи сили інерції  $A(t)$  по деформуванню півпростору. Для руху по нормалі маємо:

$$W_n(t) = T_n(t) + A_n(t) = const. \quad (2.1)$$

У початковий момент часу  $t = t_0 \rightarrow y(t_0) = 0$  енергетичний баланс (1) є таким:

$$W_n(t_0) = T_n(t_0) = mv_{0,n}^2/2, \quad (2.2)$$

де  $m$ ,  $v_{0,n}$  – відповідно маса і початкова швидкість сферичного атакуючого тіла.

Враховуючи (2.1), вираз (2.2) перепишемо так:

$$T_n(t) + A_n(t) = mv_{0,n}^2/2, \quad (2.3)$$

де  $T_n(t) = mv_n^2(t)/2 = m(dy(t)/dt)^2/2$  – кінетична енергія, а

$A_n(t) = \int_0^y F(y) dy = \int_0^y \kappa_{mp} k y dy = 0,5 \kappa_{mp} k y^2$  – робота сил інерції по деформуванню поверхневого шару у ході видавлюванні лунки глибиною  $y(t)$ .

У останньому виразі:  $\kappa_{mp}$  – коефіцієнт, що враховує втрати енергії дробинки діаметром  $d_{op} = 2r_{op}$  на внутрішнє тертя в об'ємі металу в процесі ударної дії;  $y$  – шлях пройдений дробинкою;  $k$  – коефіцієнт пропорційності між силою

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

вдавлювання і глибиною лунки  $F(y) = ky$ .

Згідно з [29] коефіцієнт втрат на внутрішнє тертя у металах складає 0,1 і вище, залежно від механічної енергії, що витрачається на імпульсне навантаження металу. Таким чином, для сталі даний коефіцієнт у процесі ударної дії повинен мати значення  $\kappa_{mp} \geq 1,1$ .

Коефіцієнт пропорційності  $k$  при визначенні сили вдавлювання (сили опору)  $F(y)$  може визначатись із використанням різних підходів. У пропонованій методиці нормальну силу вдавлювання визначено через динамічну границю текучості  $\sigma_{m.o}$ :

$$F(y) = ky = \pi \kappa_{mp} \sigma_{m.o} d_{op} y. \quad (2.4)$$

З урахуванням сказаного вище та залежності (2.4), співвідношення (2.3) набуде наступного вигляду:

$$m(dy(t)/dt)^2/2 + \pi \kappa_{mp} \sigma_{m.o} d_{op} y^2/2 = mv_{0.n}^2/2. \quad (2.5)$$

Звідки швидкість тіла (індентора) у вертикальному напрямку

$$dy(t)/dt = \sqrt{v_{0.n}^2 - \pi \kappa_{mp} \sigma_{m.o} d_{op} y^2/m}. \quad (2.6)$$

У момент досягнення максимального заглиблення тіла в півпростір, коли  $t = t_h$ :

$$dy(t_h)/dt = 0, \quad y(t_h) = y_{\max} = h. \quad (2.7)$$

Врахувавши (2.7) у (2.6), одержимо значення максимального заглиблення тіла (дробинки) при нормальному вдавлюванні його в півпростір

$$h = y_{\max} = v_0 \sin \alpha \sqrt{m/(\pi \kappa_{mp} \sigma_{m.o} d_{op})}. \quad (2.8)$$

Формула (2.8) за фізичним змістом аналогічна залежностям, які отримано розв'язуванням рівняння динаміки типу  $d^2y/dt^2 = -F_n/m$  [30, 31]. Формульний вигляд наведених співвідношень відрізняється методикою визначення нормальної сили опору: тут у (2.8) вона визначається так:  $F(y) = ky = \pi \kappa_{mp} \sigma_{m.o} d_{op} y$ , а наприклад у [32] за співвідношенням:  $F(y) = ky = \pi \kappa_s c \sigma_m d_{op} y$ , що відповідає

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

відомим співвідношенням теорії пластичного контакту сферичного індентора з пружно-пластичним півпростором [30]. Дані залежності є аналогічними зважаючи на те, що динамічна границя текучості  $\sigma_{m,\delta}$  та статична  $\sigma_m$  пов'язані співвідношенням  $\sigma_{m,\delta} \approx c\sigma_m$ , з коефіцієнтом несучої здатності  $c = 1 \dots 6$  і більше. В обох випадках встановлення значень  $\sigma_{m,\delta}$  або коефіцієнта  $c$  становить певну проблему, але це є окремою задачею.

Певним чином знімає невизначеність значень величин  $\sigma_{m,\delta}$  і  $c$  методика [25], де нормальна сила вдавлювання визначається через узагальнений аналітично-експериментальний коефіцієнт  $k$ , який характеризує інтенсивність опору півпростору пружно-пластичній деформації при нормальному зануренню жорсткого сферичного тіла. Відповідно до цієї пружно-пластичної моделі нормальні складові швидкості, глибини та часу занурення відповідно рівні

$$v_y(t) = v_{0y} \cos(\sqrt{k/m} \cdot t), \quad y_{\max} = h = v_{0y} \sqrt{m/k}, \quad t_h = 0,5\pi \sqrt{m/k}, \quad (2.9)$$

а максимальна сила вдавлювання тіла в півпростір

$$F_{\max} = v \sin \alpha \sqrt{km}. \quad (2.10)$$

Шляхом аналогічних міркувань були визначені тангенціальне переміщення дробинки  $l_{\text{ум}}$  і повну довжину лунки  $l$  (рис. 2.1).

Ширина лунки  $b$  визначена геометричним шляхом, згідно якого

$$b \approx 2\sqrt{d_{\text{оп}} h}. \quad (2.11)$$

Параметри лунки визначені згідно пропонованої методики можуть бути використані для прогнозування шорсткості оброблюваної поверхні при масовій дії дробин у дробеструменевому факелі.

До основних параметрів шорсткості поверхні згідно стандарту відносяться середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$ , середня висота нерівностей профілю по 10 точках  $R_z$  та найбільша висота профілю нерівностей  $R_{\max}$ .

Із використанням параметрів сліду, отриманих згідно поданої методики параметр  $R_a$  можна визначити, наприклад, згідно з [32] за формулою:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$$R_a = 0,009 \frac{d_{cl}}{d_{op}} \sqrt{h_{cl} l_{od}}, \quad (2.12)$$

де  $l_{od}$  – одинична довжина.

Однак шорсткість поверхні яку може забезпечити ДО, і яка необхідна для підготовки під неметалічні покриття частіше за все характеризується показником  $R_z$ . Його оптимальна величина приймається за товщиною  $\delta_{zp}$  ґрунтового шару захисного неметалевого покриття і становить  $R_z = (0,2 \dots 0,4) \delta_{zp}$ . Таку якість поверхні може бути забезпечений гранулометричний склад дробу із співвідношення  $d_{op} = (10 \dots 12,5) R_z$  та кут атаки  $\alpha = 40^\circ \dots 60^\circ$  [30].

Оптимальна швидкість атаки  $v$  може бути встановлена із використанням поданих вище залежностей розмірів сліду. Зважаючи на встановлений параметр шорсткості  $R_z$ , який у першому наближенні можна порівняти з глибиною сліду, залишеного окремою дробинкою ( $h_{cp} = h \approx R_z$ ) можемо записати

$$R_z = v \sin \alpha \sqrt{m / (\pi d_{op} \sigma_{m.o} \kappa_{mp})}. \quad (2.13)$$

Аналогічно можна дослідити вплив інших технологічних показників процесу, таких як кут атаки та гранулометричний склад дробу.

## 2.2 Вплив характеристик дробу і режимів насічки валків на шорсткість поверхні листа

Незважаючи на велику кількість методів поверхнево-пластичного деформування, що застосовуються для обробки прокатних валків, найбільшого поширення набули дробеметна і дробеструминна обробка. Дослідники підкреслюють, що насікання валків дробом продуктивна, ефективна, дозволяє вирішувати багато завдань. Зі збільшенням фракції дробу шорсткість збільшується, що пов'язано з тим, що дріб великих розмірів має велику масу, а отже, велику кінетичну енергію. При ударі об поверхню валка великий дріб впроваджується на велику глибину, а розмір дробу впливає на об'єм витісненого

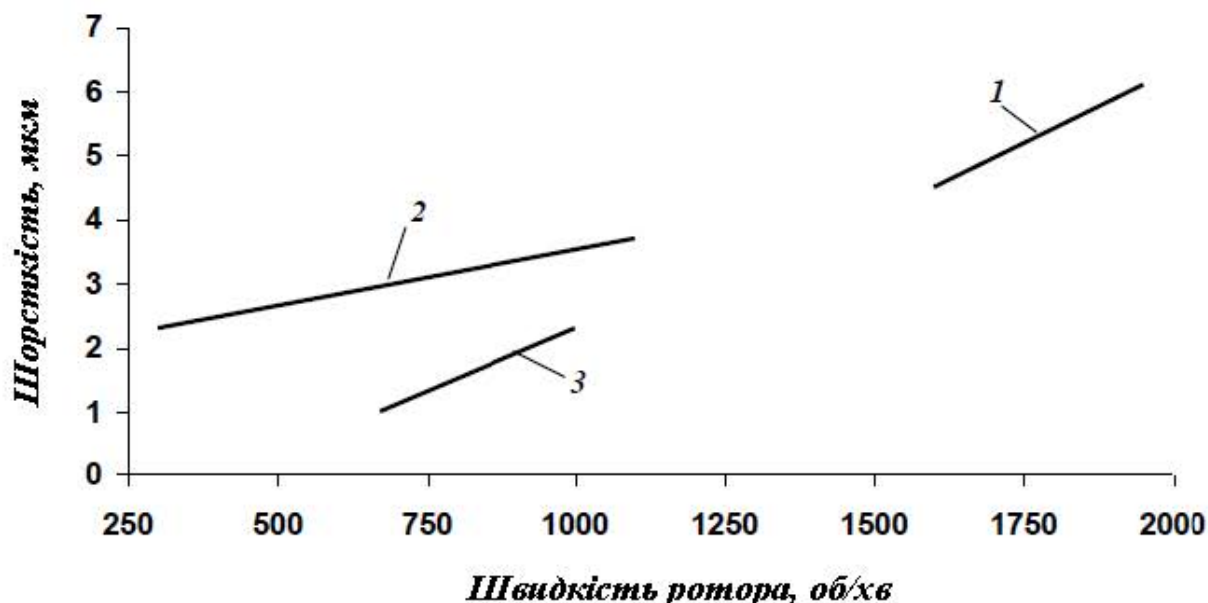
|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

з мікролунки матеріалу.

Одним з найбільш широко змінних режимів дробеметної обробки є швидкість польоту дробу. На дробеметній установці швидкість регулюється швидкістю обертання турбіни, що кидає дріб.

Швидкість ротора дробемета змінювали від 300 до 2000 об/хв. Шорсткість валків зростає зі збільшенням розміру частинок дробу і швидкості дробинки, що летять (рис. 2.2). Так, при використанні дробу однієї фракції збільшення швидкості дробеметного колеса на 100 - 200 об/хв призводить до зростання шорсткості поверхні валка на 0,4 - 0,6 мкм, що пов'язано зі зміною кінетичної енергії впровадження окремих дробинки в тіло валка. Збільшення розміру дробу до 0,3 - 0,4 мм при однаковій швидкості обертання дробеметного колеса також підвищує шорсткість на 0,5 - 0,6 мкм.

Встановили, що для звичайно використовується рівня твердості валків (90 - 94 HS) навіть при максимальних швидкостях ротора дробемета неможливо досягти шорсткості 8,6 мкм, яка була необхідна для виробництва емальованих виробів (ванн).



1 – 0,9-1,4 мм; 2 – 0,6-0,9 мм; 3 – 0,3-0,5 мм

Рисунок 2.2 – Залежність шорсткості валків від швидкості ротора та фракцій дробу

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КРМ.133ГМмд\_22.12.000 ПЗ

Арк.

Необхідного рівня шорсткості досягли при використанні валків із твердістю 88 - 89 HS. Зміна шорсткості насічених валків від твердості та фракцій дробу (рис. 2.3) показує, що зниження твердості на 3 - 4 HS збільшує Ra на 0,4 - 0,5 мкм.

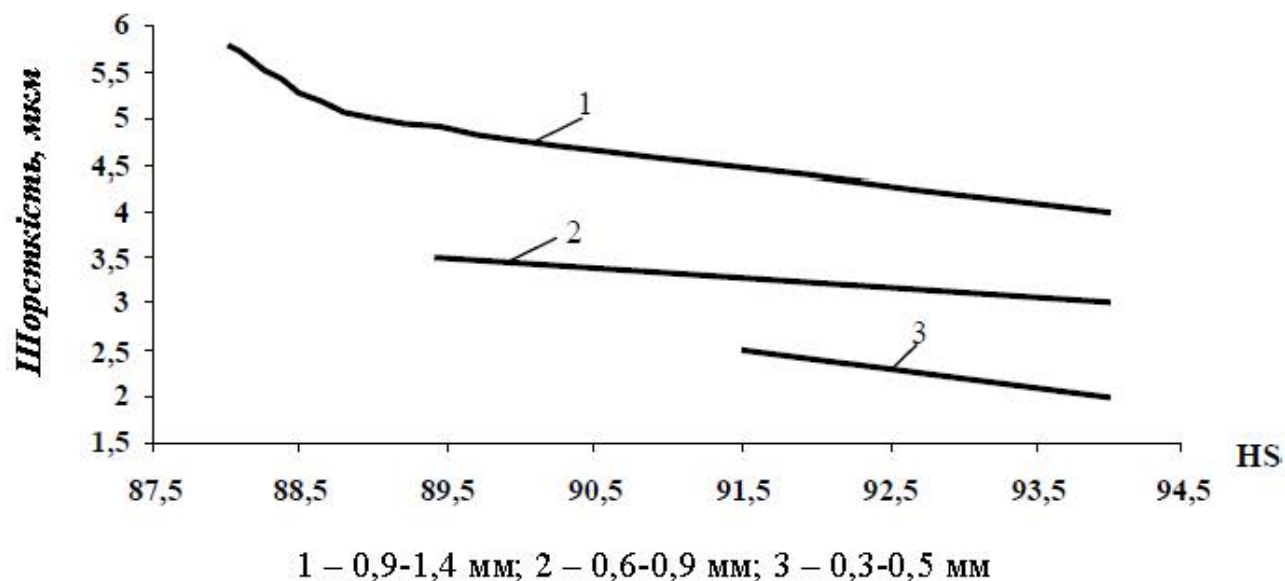


Рисунок 2.3 – Залежність шорсткості валків від величини твердості та фракцій дробу

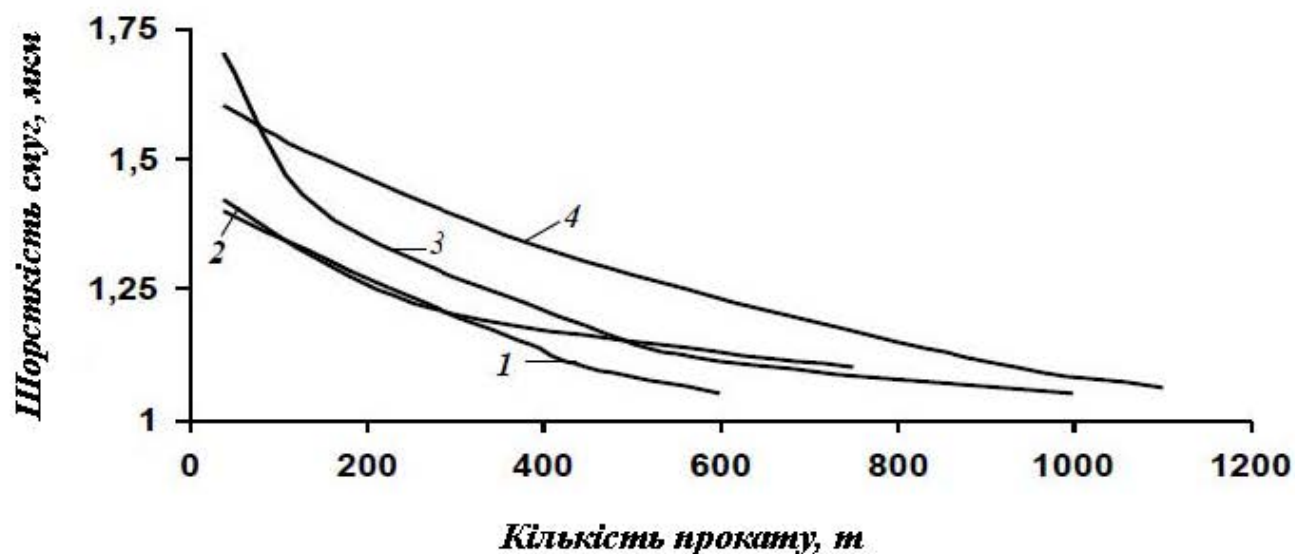
Оскільки шорсткість двох валків при незмінному режимі насічки залежить, головним чином, від їхньої твердості, необхідний ретельний контроль під час підбору комплекту.

Отримані дані показали нерівномірний характер мікрогеометрії поверхні, що пояснюється присутністю у кожній фракції дробинки суміжних фракцій, оскільки класифікатор дробометної установки працює незадовільно. Ця обставина не дозволяла отримати ідентичні результати при тому самому режимі насічки. Максимальний розкид шорсткості за довжиною бочки становив 0,6 мкм.

Про зміну шорсткості валків під час їхньої роботи судили щодо зміни мікрогеометрії смуги. На валках, підготовлених за досвідченими режимами, виконували гартування металу за існуючими режимами та вимірювали шорсткість листів. Було відібрано понад 1500 зразків, за вимірами визначили зміну шорсткості готового прокату в залежності від кількості прокатаного металу

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

(рис. 2.4) [29].



1 – 1,0-1,6 мкм; 2 – 2,0 мкм; 3 – 2,5 мкм; 4 – 3,0 мкм

Рисунок 2.4 – Зміна шорсткості смуги від кількості прокату металу та шорсткості валка

Шорсткість поверхні після дробометної обробки залежить, крім режимів обробки, а також від шорсткості вихідної поверхні (після шліфування). Це явище – зникнення вихідного мікрорельєфу та поява якісно нового після обробки дробом – називають засіканням мікрорельєфу [30].

Вирішальний вплив на формування необхідної шорсткості листів при холодній прокатці надає якість насічки робочих валків, що здійснюється на вітчизняних металургійних підприємствах у дробометних установках з використанням колотого чавунного дробу різних фракцій.

Виконане у зв'язку з цим дослідження [2] режимів насічки валків показало, що якість насічки залежить від розмірів фракцій та їх діапазону у струмені дробу, що подається на поверхню бочки валка.

Встановлено, що найбільш рівномірна шорсткість поверхні валка досягається при використанні дробу з вузьким діапазоном фракцій 1,0-1,4 мм. У цьому випадку на бочці валка забезпечувалися такі показники шорсткості:  $Ra=2-3$  мкм;  $R_s(1,3) \approx 50$  піків на 1 см довжини, причому у всіх точках вимірів виходили близькі значення зазначених параметрів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Ряд вимірювань провели на валках, насічених дробом, що містять суміш дрібних і великих фракцій (від 0,2 до 1,4 мм). Вказана суміш утворюється в дробометній установці з несправним сепаратором (класифікатором) дробу, призначених для відсіву дрібних частинок, що утворюються через руйнування більших фракцій під впливом ударного навантаження.

Валки, насічені зазначеною сумішшю, мали нерівномірну шорсткість: блискучі ділянки (плями) з шорсткістю  $Ra = 1,0-1,5$  мкм і матові ділянки з шорсткістю  $Ra = 2,0-3,5$  мкм, причому показник  $Rc$  на 20-ти проконтрольованих валках знаходилися в діапазоні 20-30 піків на 1 см. На валках з такою якістю насічки прокатати лист з необхідними параметрами шорсткості неможливо. Щоб згладити нерівномірність насічки валків при використанні суміші дробу різних фракцій, доводиться збільшувати кінетичну енергію струменя повітря дробу шляхом доведення швидкості обертання ротора дробомета до 2400-2600 об/хв, що сприяє інтенсивному розколюванню великих частинок на дрібні та дрібніші.

Таким чином, ефективність роботи дробометної установки вирішальною мірою залежить від надійності роботи сепаратора дробу, що входить до її складу.

Слід зазначити, деякі закордонні фірми формують шорсткість валків в електроерозійних установках, які потребують використання дробу. При цьому відпадає проблема надійності розсіву дробу на фракції та забезпечується розподіл мікронерівностей на поверхні бочки з рівномірними кроковими та висотними параметрами.

Формування нового мікрорельєфу на поверхні валка залежить не тільки від розмірів дробу та швидкості удару, а й від числа проходів факела дробу над поверхнею, тобто кількості ударів дробинки на одиницю площі.

У процесі дробометної обробки енергія дробу витрачається на зминання мікронерівності вихідної поверхні і на впровадження в основний матеріал валка. Якщо енергії дробинки недостатньо для повного зминання мікровиступів, остаточний мікрорельєф є наслідком часткового спотворення початкового профілю. Такий процес формування шорсткої поверхні відповідає неповній забивності вихідного мікрорельєфу. Отже, облік вихідного мікрорельєфу

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

поверхні робочого прокатного валка, що насікається, є обов'язковим. Формування результуючої шорсткості валка можна як результат взаємодії дробу з шорстким шаром матеріалу валка [31].

За даними роботи [32] запропоновано рішення, в якому пляма контакту дробу з поверхнею валка апроксимована гіперболічною залежністю, що дозволяє отримувати задовільні дані щодо взаємодії дробу з поверхнею валка, але ускладнює ув'язувати гіперболічну апроксимацію форми дробу з її розмірами, тобто. фракцією дробу. Це призводить до невизначеності у виборі постійної гіперболи під час використання дробу різної фракції. Тому переважним є описувати форму литого дробу довільною залежністю з апроксимацією її у вигляді еліпса або кулі, а колотою-гіперболоїдом обертання.

При дробеметній обробці валка вплив на поверхню визначається ударом дробинки. При цьому відбувається пластичне та пружне деформування валкового матеріалу, в результаті якого утворюється лунка, а частина матеріалу видавлюється, утворюючи «наплив».

Крім того, у формулі авторів, роботи [33] враховується пружна деформація форми дробу, але не враховується пружна деформація матеріалу валка і вид вихідної шорсткості поверхні валка.

Велику щільність піків шорсткості порівняно з литим дробом забезпечує колотий дріб, який також дозволяє збільшити кількість металу, що прокочується, між перевалками робочих валків.

Величина і рівномірність шорсткості впливають не тільки на механічні властивості та штампування листа, але і на якість лакофарбових та інших покриттів. При високій шорсткості поверхні для укріплення виступаючих піків доводиться збільшувати кількість шарів лакофарбового матеріалу, що наносяться. У разі експлуатації покриття з не повністю укріпленими мікровиступами вихідної поверхні металу корозія виникає саме у цих точках, і захисні властивості металів знижуються. Однак гладка поверхня небажана, оскільки до такої поверхні погано пристає покриття.

Проблема правильного вибору параметрів шорсткості залишається однією з

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

першорядних, але залежить від способу підготовки мікрорельєфу на валках.

Якість тонкого холоднокатаного листа значною мірою визначається і шорсткістю поверхні валків. У кожному даному випадку шорсткість поверхні робочих валків різна і коливається від 0,25 до 1,6...1,8 мкм. Початковий рівень шорсткості на робочих валках створюють обробкою абразивним кругом на вальце-шліфувальному верстаті [20].

Залежно від призначення валків до таких параметрів, як точність прогину, прямолінійність або опуклість (у певних випадках), розмір валка та якість поверхні можуть бути дуже жорсткі вимоги. Якість поверхні прокатаного матеріалу ніколи не буває кращою за якість поверхні валків.

Нестабільність розмірів дробу позначається на неоднорідність мікрорельєфу та залежно від якості дробу дає різні параметри шорсткості на валку.

Дробометний метод має високу продуктивність (час обробки одного валка 5...20 хв) та високу варіабельність, широкий діапазон технологічних режимів, до яких відносяться: розмір дробу; швидкість обертання ротора дробометної установки; швидкість обертання валка; швидкість лінійної подачі валка.

Внаслідок обробки дробом відбувається зміцнення поверхні валка, заліковування мікрodefektів поверхневого шару. Залежно від режимів дробометної обробки мікрорельєф може змінюватися за рахунок зминання піків існуючих мікрорівнів, або знову формуватися.

При зміцненні відбувається перерозподіл напруження в поверхневому шарі бочки з переважанням стискаючих напружень, що призводить до зменшення тріщини утворення [34].

Зі збільшенням числа обертів ротора глибина наклепу та ступінь наклепу поверхневого шару деталі збільшується [35].

Збільшення числа проходів підвищує параметр Ra якщо вихідний стан поверхні деталі відповідає високому класу чистоти та зменшує, якщо обробці дробом піддається грубо шорхувата поверхня [36].

Для певного режиму обробки дробом існує певна шорсткість, до якої

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

прагне параметр Ra у міру збільшення числа проходів.

Зокрема, якщо вихідні параметри шорсткості Ra відповідає аналогічним параметром після дробометної обробки, процес насічки супроводжується зміною тільки форми мікрорельєфу. Обробка поверхні дробом на різних режимах дозволяє отримувати поверхню з різною частотою піків мікрогеометрії та величиною зміцненого шару [37].

Виробництво якісного сталевого дробу ведеться переважно у двох напрямках. Перше включає лиття дробу з високовуглецевої сталі (0,8-1,2%С) із наступним повним циклом термічної обробки (загартування від 850-900 °С і відпустка 400-450°С). Отриманий якісний сталевий дріб має структуру відпущеного мартенситу, бейніту або трійоститу (HV 475-750).

Технологія отримання литого дробу відносно проста і зводиться до розпорошення металевого (зазвичай сталевого або чавунного) розплаву різними способами, у тому числі струменем води при заданому тиску та швидкого охолодження рідких крапель, як правило, у воді. При цьому литий дріб характеризується нерівномірною структурою та властивостями. Розкид властивостей литого сталевого дробу дуже великий (регламентований ГОСТ 11964-81; основними властивостями є міцність на стиск та твердість за Віккерсом).

В результаті один і той же дріб можна неодноразово використовувати при обробці поверхневих виливків та деталей. Таким чином, проведення додаткової термічної обробки литого сталевого дробу дозволяє значно підвищити комплекс механічних властивостей дробу [38].

Дріб з вибіленого чавуну спочатку застосовувався для різання каменю, а потім замінив в очисних операціях кварцовий пісок. Чавунний дріб характеризується меншою міцністю, пластичністю та циклічною стійкістю, при ударах швидко колеться на частинки з гострими гранями і потім перетворюється на тонкий металевий пил, що забруднює навколишню атмосферу.

Гострі кромки твердих чавунних частинок надзвичайно інтенсивно руйнують лопатки та інші деталі дробометних агрегатів, що швидко зношуються.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Циклічна стійкість такого дробу на порядок нижча, ніж сталевий [11].

Зносостійкість дробу зі сталі, легованого молібденом, підвищується майже вдвічі [39].

На думку авторів [30] на сьогоднішній день найбільш ефективним абразивом для дробеметного очищення є сталевий колотий покращений дріб марки GP, що випускається в суворій відповідності сучасним стандартам. У процесі роботи, гострі грані затупляються, і формується робоча суміш, що на 80-85% складається з частинок округлої форми і на 15-20% з гострокутної форми. Цей дріб є найбільш досконалим продуктом та зберігає оптимальний баланс інтересів, забезпечуючи максимальну ефективність обробки з мінімальними витратами на всі складові собівартості процесу.

У табл. 2.1 наведено нові типи дробу, які широко використовуються при дробеметній обробці.

Таблиця 2.1 – Використовувані типи дробу

| Показники                | ДЧЛ     | ДСЛ       | ДСЛУ    | WS      | WGP     |
|--------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| Витрата дробу, кг/деталь | 0,270   | 0,30-0,55 | 0,115   | 0,090   | 0,081   |
| Стійкість лопатей, год   | 100-150 | 30-100    | 100-300 | 500-600 | 500-600 |
| Час очищення, хв         | 21      | 20-35     | 11      | 8       | 6,5     |

Після очищення різними абразивами деталі мають однаковий ступінь очищення, але різну форму шорсткості та різний загальний вигляд. Після обробки ДЧЛ чітко видно нерівномірність піків і западин (є великі, є малі). ДСЛУ та WS дають подібний результат і злегка тьмяний сірий відтінок, а WGP досить гладку поверхню, рівномірну шорсткість та яскравий металевий блиск.

Необхідними та достатніми умовами формувань робочої суміші є: своєчасне додавання нового дробу до системи та правильне регулювання системи сепарації дробу. Для аналізу правильності регулювань необхідно періодично робити ситовий аналіз робочої суміші та відходів із тічки сепаратора. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни у роботі машини.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

### 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Дослідні зразки для обробки

Дослідження з насичення поверхні зразків дробом проводили на промисловій дробеметній установці для очищення листового металопрокату моделі УДП-100х1520-4/11П. Для виготовлення зразків використовували довгий циліндр діаметром 45 мм, з якого нарізали згодом 11 дискових зразків. Зразки (рис. 3.1) виготовляли із сталі марки 9Х2М. На плоскошліфувальному верстаті зішліфували частину матеріалу з циліндричної поверхні для утворення косих зрізів.

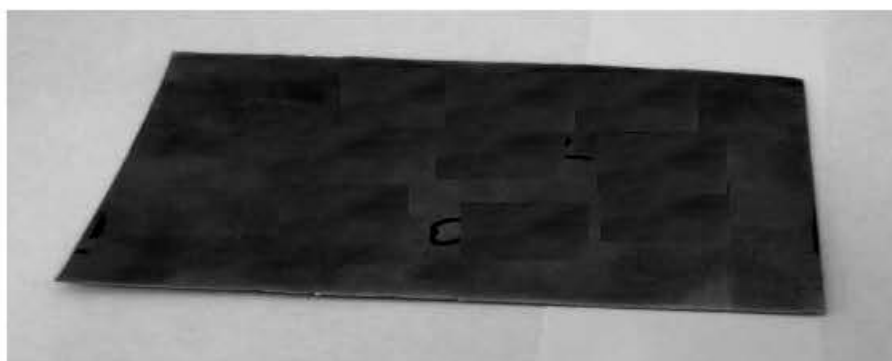


Рисунок 3.1 – Зразок для обробки на дробеметній установці

Рисунок 3.2 – Зразок після шліфування на наждачному папері

Після шліфування зрізи оброблялися пастою, потім поліровану поверхню протруювали розчином азотної кислоти.

#### 3.2 Методика визначення характеристик використовуваного дробу

Для вимірювання мікротвердості та отримання мікрофотографій дробу були взяті зразки сталевого литого та колотого дробу поміщені у спеціально виготовлену циліндричну форму, залиті епоксидною смолою та поміщені в тепле та сухе місце до повної полімеризації смоли (рис. 3.2).

Після того, як смола повністю затверділа, на плоскошліфувальному верстаті 371М-1 у лабораторії ПрАТ «АВТОКРАЗ» були виготовлені мікро

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

шліфи, на яких вимірювалася мікротвердість. Надалі мікрошліфи додатково прошліфовані вручну на наждачному папері на абсолютно рівній поверхні (на склі), щоб поверхня мікрошліфів була абсолютно рівною. Потім на полірувальній установці зразки були відполіровані.

Як вимірювальна апаратура у проведених дослідженнях були використані:

- Для вимірювання розмірів дробу використали мікроскоп МПБ-2. Мікроскоп МПБ-2 призначений для вимірювання відбитка (лунки), що утворюється на поверхні різних металів щодо твердості за методом Брінелля. Технічні характеристики мікроскопа: максимальний діаметр вимірюваного відбитка - 6,5 мм, ціна поділу шкали - 0,05 мм, збільшення мікроскопа -  $24 \pm 5\%$  крат, похибка мікроскопа на довжині до 2 мм  $\pm 0,01$  мм.

- Для вимірювання мікротвердості зразків був використаний мікротвердомір ПМТ-3М. Мікротвердомір ПМТ-3М призначений для вимірювання мікротвердості металів, сплавів, мінералів та інших матеріалів методом вдавлювання у випробуваний матеріал алмазних наконечників. Технічні характеристики мікротвердоміра: діапазон навантажень від 0,0196 до 4,9 Н (від 0,002 до 0,500 кгс); збільшення мікроскопа мікротвердоміра 130, 500, 800; ціна поділу шкал барабанчиків мікрометричних гвинтів координатного переміщення 0,01 мм. На мікротвердомірі ПМТ-3М за допомогою аналізатора зображення Thixomet PRO мала намір мікротвердість і досліджено мікроструктуру

- мікроскоп із збільшенням від 50 до 1000 разів.

Фотографії мікроструктури було зроблено зі збільшенням  $\times 100$  (рис. 3.3)

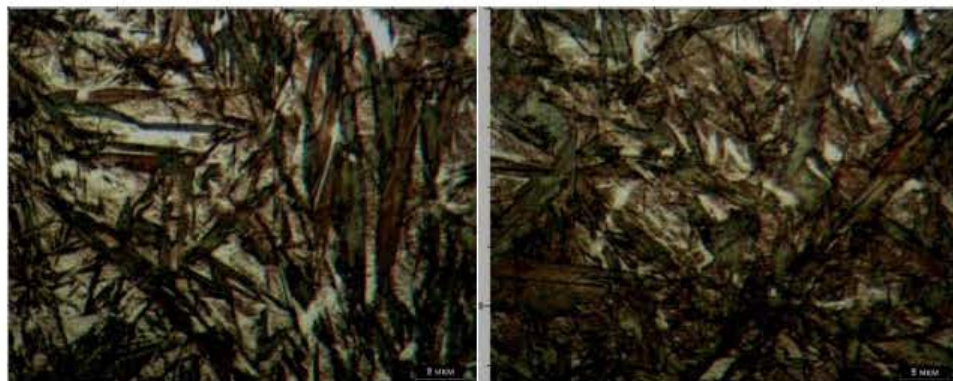


Рисунок 3.3 – Мікроструктура зразків дробу, отриманих мікроскопом зі збільшенням  $\times 100$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Результати вимірювання дробу на мікротвердість на мікротвердомірі ПМТ-3М, представлені в додатку. Вимірювання мікротвердості проведені показали, що колотий дріб має твердість на 13% вищу, ніж зразки литого дробу.

На рис. 3.4 представлені фотографії різних видів дробу, які використовуються для насичення поверхонь.



дріб сталевий литий, фракції 0,5; дріб сталевий литий, фракції 0,8

Рисунок 3.4 – Дріб, що використовувався для насічки поверхні

### 3.3 Методика визначення оцінки щільності насічки

Дослідження з насичення поверхні зразків дробом проводили на промисловій дробометній установці моделі УДП. Для насікання поверхні зразків використовували колотий чавунний дріб фракції (0,5...0,8) мм.

Всередині камери для дробометної обробки переміщали візок з досліджуваними зразками із заданою швидкістю в межах (0,4...4) м/хв. Дріб на поверхню образів подавався турбіною. Швидкість обертання ротора змінювали в діапазоні (500...2100) об/хв, кількість подвійних ходів візка зі зразками призначали 2, 4, 6 подвійних ходів.

Наклеп у поверхневому шарі деталі (зразка) оцінювали за глибиною наклепу  $h_n$ , і ступеня наклепу  $N$ .

Глибину наклепу визначали за такою формулою:

$$h_n = l \sin \alpha, \quad (3.1)$$

де  $\alpha$  - кут атаки, град;

$l$  - відстань між початком косого зрізу і точкою вимірювання косого зрізу,

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

мм.

З отриманих експериментальних даних можна будувати висновки про характер вимірювання  $h_n$  і  $N$ .

Швидкість обертання валків при насічці 6-10 об/хв, швидкість переміщення візка 0,5-1,0 м/хв. Валки обробляють за один цикл (прямий та зворотний хід візка з валком під смолоскипом дробу). Кількість дробу, що подається в дробомет, регулюють так, щоб навантаження (по струму) на двигун ротора дробомета не перевищувала 90 А.

Для вивчення факела дробу та для ідентичності умов зміни щільності насічки використано дробометну установку моделі УДП (рис. 3.5) для досліджень зразків та прокатних валків.

Рисунок 3.5 – Загальний вид дробометної установки моделі УДП

Дробометна установка призначена для очищення листового та профільного металопрокату (ступінь очищення Sa 2 1/2 згідно ISO 8501-1) від іржі, окалини, бруду. Робота установки полягає в очищенні поверхні металопрокату технічним дробом. Швидкість вильоту дробу за рахунок обертання ткрбіни досягає 80-90 м/с. Настроювання камери на очищення виробів різної висоти здійснюється оператором із пульта керування або за допомогою системи датчиків автоматично.

### 3.4 Вимірювання параметрів шорсткості поверхні зразків

При проведенні досліджень на всіх зразках проводили виміри шорсткості за допомогою профілометра-профілографа схема якого представлена на рис. 3.6.

Принцип роботи приладу заснований на обмацуванні контрольованої поверхні алмазної голкою і перетворення коливань голки у відповідні зміни

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

напружень, величина якого може бути протарована щодо величини шорсткості, що відтворюється на шкалі приладу, або подається в записуючому пристрої, що повторює та збільшує профіль.

Профілограф-профілометр, в якому використаний індуктивний перетворювач, дозволяє визначати профіль нерівностей у збільшеному масштабі у вигляді профілограми або вимірювати параметри шорсткості з індикацією в цифровому вигляді. Прилад забезпечений перетворювачем, електронним вимірювальним блоком з рахунковим блоком і записувальним пристроєм. Конструктивно складові елементи приладу показано на рис. 3.6.

1 – вимірювальний блок; 2 – пристрій; 3 – стійка; 4 – привід;

5 – вимірювальний стіл; 6 – датчик; 7 - записуючий прилад

Рисунок 3.6 – Профілограф-профілометр

Параметри  $R_a$  і  $R_c$  визначали на приладі ПМ-210, що дозволяє в автоматичному режимі визначати шорсткість  $R_a$ , число піків  $R_c$  і хвилястість поверхні листа.

Виміри шорсткості валків після насікання факелом дробу підвищеної щільності проводилися в різних точках переносним профілометром ПМ-210. Зразки, що використовуються для виміру шорсткості, представлені на рисунку 3.7.

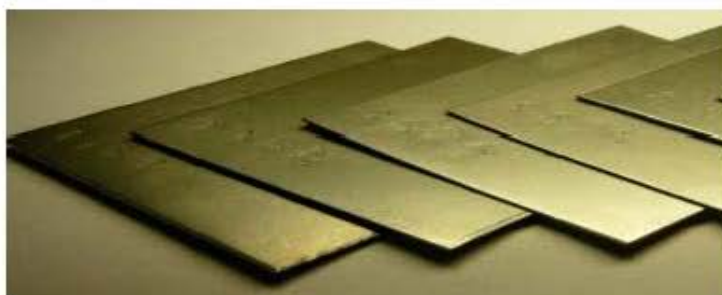


Рисунок 3.7 – Зразки для вимірювання параметрів шорсткості поверхні

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

### Висновки до розділу 3

В результаті проведеної роботи, на базі сучасного обладнання, розроблено методики з моделювання шорсткості на поверхні прокатного валка, що дозволяють керувати параметрами мікрогеометрії та отримувати необхідний мікрорельєф.

Представлені прилади та матеріали, необхідні для проведення досліджень щодо вивчення формування необхідного мікрорельєфу на поверхні листів та прокатних валків.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

При виробництві холоднокатаного листа з 1-ою групою обробки поверхні найбільш високі вимоги пред'являються до параметрів шорсткості поверхні листа  $R_a$  і щільності піків  $P_c$  [40].

Остаточний мікрорельєф поверхні робочих валків гартувального стану формується залежно від вихідного мікрорельєфу поверхні валка [36]. Аналіз профілограм холоднокатаних листів після обробки показав, що висотні та крокові параметри мікрорельєфу значною мірою залежать від «забивання» вихідного мікрорельєфу, що отримується шліфуванням. Режими дробометної обробки, які використовуються для насічки валків не дозволяють отримувати практично повну забиваність, якщо вихідний мікрорельєф перед обробкою дробом має висотні параметри  $R_a$  не більше 0,8 мкм.

### 4.1 Дослідження основних технологічних параметрів дробометної обробки на формування мікрогеометрії оброблюваної поверхні

Дослідження з насічення поверхні зразків дробом проводили на промисловій дробометній установці УДП ПрАТ «АВТОКРАЗ». Для виготовлення зразків використовували зразки за приведеною методикою в розділі 3.

Всередині камери для дробометної обробки переміщали візок з досліджуваними зразками із заданою швидкістю в межах (0,4...4) м/хв. Дріб на поверхню образів подавався турбіною. Швидкість обертання ротора змінювали в діапазоні (500...2100) об/хв, кількість подвійних ходів візка із зразками призначали 2, 4, 6 подвійних ходів (рис. 4.1). Для насічки поверхні зразків використовували колотий чавунний дріб розміром (0,5...0,8) мм.

Швидкість переміщення листа, що обробляється, змінювали в діапазоні (1...5) м/хв. Насікання поверхні дробом здійснювали при зміні числа подвійних проходів - з одного до трьох подвійних проходів. Контроль якості дробу виконувався до експериментів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



а)



в)



б)



г)

Рисунок 4.1 – Насікання поверхні зразків дробом діаметром 0,8 мм при зміні швидкості переміщення візка та числа подвійних проходів факела дробу: мінімальна швидкість переміщення візка: а) 1 подвійний прохід; б) 3 подвійних проходи; максимальна швидкість переміщення візка; в) 1 подвійний прохід; г) 3 подвійні проходи

На всіх зразках проводили виміри шорсткості за допомогою профілометра-профілографа та вимірювання мікротвердості поверхні. Вимірювання мікротвердості проводили від краю поверхні кроком 0,05 мм.

Дріб вважали дефектним, якщо: площа усадки понад 40% дробини; площа найбільшої раковини більше 10% перерізу дробу; довжина найбільшої тріщини понад 20% діаметра дробини.

Наклеп у поверхневому шарі деталі (зразка) оцінювали за глибиною наклепу  $h_n$  і ступеня наклепу  $N$ .

Аналіз отриманих експериментальних результатів показав, що зі збільшенням числа обертів ротора глибина наклепу та ступінь наклепу поверхневого шару деталі збільшується. Аналогічна залежність параметрів  $h_n$  та  $N$  від числа проходів. Максимальні значення глибини наклепу та ступеня наклепу спостерігали при числі подвійних проходів рівним 6.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Збільшення числа проходів підвищує параметр  $Ra$  якщо вихідний стан поверхні деталі відповідає високому класу чистоти і зменшує, якщо обробці дробом піддається грубо шорстка поверхня.

Для заданого режиму обробки дробом існує певна шорсткість, якої прагне параметр  $Ra$  у міру збільшення числа проходів. Зокрема, якщо вихідні параметри шорсткості  $Ra$  відповідає аналогічним параметром після дробометної обробки, процес насічки супроводжується зміною тільки форми мікрорельєфу.

Менша шорсткість шліфованих зразків  $Ra=(0,13...0,37)$  мкм дозволяє отримати стабільні значення параметрів шорсткості при (2...4) проходах обробки дробом середньої фракції. Більш груба поверхня зразків перед дробометної обробки ( $Ra=1,9$  мкм) не дозволяє отримати стабільного мікрорельєфу при дворазовому проході факела середньої фракції дробу оброблюваної поверхні.

При дробометній обробці найбільш ефективним є дріб середньої фракції. Оптимальна кількість проходів дорівнює 2. Переважне значення вихідної шорсткості  $Ra=0,17$  мкм, а швидкість обертання турбіни  $n=500$  об/хв.

Розрахункові значення глибини наклепу та ступеня наклепу залежно від стану поверхневого шару та режимів дробометної обробки зведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення глибини наклепу  $h_n$  і ступеня наклепу  $N$

| № обр. | Швидкість обертання турбіни $n$ , об/хв | Кількість проходів | Шорсткість $Ra$ , мкм | Глибина наклепу $h_n$ | Ступінь наклепу $N$ |
|--------|-----------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 1      | 1000                                    | 2                  | 0,46                  | 0,499                 | 1,5                 |
| 2      | 500                                     | 2                  | 0,31                  | 0,36                  | 1,375               |
| 3      | 500                                     | 2                  | 0,51                  | 0,568                 | 1,33                |
| 4      | 500                                     | 2                  | 0,32                  | 0,39                  | 1,29                |
| 5      | 2100                                    | 2                  | 0,68                  | 0,535                 | 1,625               |
| 6      | 500                                     | 6                  | 0,32                  | 0,566                 | 1,583               |
| 7      | 500                                     | 6                  | 0,34                  | 0,691                 | 1,69                |
| 8      | 500                                     | 6                  | 0,42                  | 0,435                 | 1,5                 |
| 9      | 500                                     | 4                  | 0,37                  | 0,466                 | 1,416               |
| 10     | 500                                     | 4                  | 0,53                  | 0,633                 | 1,2                 |

Проведені експериментальні дослідження щодо впливу режимів дробометної обробки на параметри стану поверхневого шару показують, що збільшення швидкості взаємодії дробу з оброблюваною поверхнею збільшує параметри  $Ra$ ,  $h_n$  і  $N$  при постійних розмірах дробу (рис. 4.2).

а

б

а - параметр шорсткості  $Ra$ ; б - ступінь наклепу (1), глибина наклепу (2)

Рисунок 4.2 – Вплив числа оборотів на стан поверхневого шару

Число проходів факелу дробу неоднозначно позначається на параметрах стану поверхневого шару. Параметри  $h_n$  і  $N$  із збільшенням числа проходів монотонно зростають, а параметр  $Ra$  зменшується при вихідній грубій шорсткій поверхні та збільшується при вихідній низькій шорсткій поверхні.

#### 4.2 Дослідження технології дробометної обробки робочих валків холодної прокатки

Дробометну обробку поверхні робочих валків проводили на установці УДП колотим чавунним дробом ДЧК-1,4 мм (рис. 4.3).

У ході роботи було проаналізовано характеристики дробу, складено гістограми розподілу дробу за фракціями, досліджено вплив конструкції турбіни дробометної установки на форму факелу дробу, а також вплив режимів дробометної обробки на параметри  $Ra$  та  $Rc$ .

Параметри  $Ra$  і  $Rc$  визначали на приладі ПМ-210, який дозволяє в автоматичному режимі визначати шорсткість  $Ra$ , число піків  $Rc$  і хвилястість поверхні сталевих листів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Рисунок 4.3 – Загальний вигляд установки для насічки робочої поверхні прокатних валків

Розподіл дробу ДЧК-1,4 мм за фракціями (рис. 4.4) свідчить про те, що в його складі є великий розкид дробу за фракціями. Такий розкид не дозволяє отримати стабільного значення щільності піків  $R_s$ . В окремих випадках значення  $R_s$  може коливатися від  $R_s = 30 \text{ см}^{-1}$  до  $R_s$  дорівнює  $90 \text{ см}^{-1}$ . Остаточний мікрорельєф поверхні робочих валків гартувального стану формується залежно від вихідного мікрорельєфу поверхні валка. Аналіз профілограм листа після гартування показав, що висотні та крокові параметри мікрорельєфу значною мірою залежать від «забивання» вихідного мікрорельєфу.

Рис. 4.4 – Розподіл розмірів дробу ДЧК фракції 1,4 мм

У процесі обробки дробом утворювалася пляма контакту (слід), рис. 4.5.

1 - роторне колесо; 2 - напрямок обертання роторного колеса; 3 - захисний корпус дробомета; 4 - оброблювана поверхня; 5 - слід контакту факелу дробу з оброблюваною поверхнею

Рисунок 4.5 – Схема утворення плями контакту дробу з оброблюваною поверхнею на дробометній установці

Режими дробометної обробки, які використовуються для насічки валків дозволяють отримувати практично повну забивність, якщо вихідний мікрорельєф перед ДМО має висотні параметри  $R_a$  не більше 0,8 мкм.

Конструкція дробометної установки, що застосовується, і наявність широкого діапазону розмірів дробу в одній партії не забезпечує стабільність

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

параметрів Ra і Rc. Різниця в значеннях Ra та Rc після дробометної обробки може досягати 50-70%. Однак, незважаючи на такий розкид значень Ra і Rc, має місце зменшення щільності піків зі збільшенням параметра Ra (рис. 4.6).

а)

б)

Рисунок 4.6 – Співвідношення параметрів шорсткості Ra та Rc на сталевому листі після обробки: а) дослід №1; б) дослід №2

Аналіз сліду факела дробу показав, що переріз факела умовно можна розбити на три зони розмірами 350x70 мм у центрі, 780x100 мм у середній частині 1580x 190 мм по краях (рис. 4.7).

Рисунок 4.7 – Слід від факела дробу на листі металу після обробки за існуючою технологією

Найбільша щільність факела є у центральній частині, а найменша на периферії. На центральну, найбільш щільну частину факела припадає 8%, на середню зону 18%, найменш щільну периферійну зону 74%. Всередині центральної зони є пляма з максимальною щільністю насічки, центр якого зміщений щодо вісі дробометного колеса за напрямом обертання на 95 мм.

Наявність яскраво виражених трьох зон та нерівномірності розподілу щільності насічки всередині них не забезпечує рівномірної щільності насічки бочки валка, а відповідно і рівномірності шорсткості на поверхні оброблюваного листа. Розсіювання факела дробу сприяє також знос лопаток дробометного колеса.

Результат дисперсійного аналізу параметра Ra і Rc холоднокатаного листа після обробки робочими валками, насіченими за звичайною технологією, показав,

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

що середньоарифметичне значення становить 0,93. Середнє квадратичне відхилення становить 0,393 мкм, а коефіцієнт варіації - 0,422.

#### **4.3 Дослідження впливу зносу лопаток на шорсткість поверхні, що насікається**

Наявність яскраво виражених трьох зон і нерівномірності розподілу щільності дробу всередині факелу, не забезпечує рівномірної щільності насічки бочки валка, а відповідно і рівномірності шорсткості по поверхні листа в різних місцях. Загальний вигляд дробеметного колеса із встановленими лопатками представлений на рис. 4.8.

Рисунок 4.8 – Загальний вид дробеметного колеса на діючій установці

Розсіювання факела дробу сприяє використанню зношених лопаток дробеметного колеса (рис. 4.9). Наявність хаотично розташованих глибоких канавок і западин на поверхні контакту лопатки дробеметного колеса з дробом сприяє зміні траєкторії дробу в процесі її переміщення по них і, як наслідок, розсіювання факела дробу. З метою зниження зносу лопаток рекомендується використовувати більш зносостійкі матеріали для їх виготовлення або для наплавлення робочих поверхонь (наприклад, чавун ЧХН-28).

Судячи із рисунку, явно проглядається нерівномірне зношування поверхні лопатки зі сторін, розташованих ближче і далі від осі обертання ротора.

На лопатку запропоновано наносити футеровку, виконану з зносостійкого наплавного матеріалу, при цьому товщина футеровки, в напрямку від кріпильної частини лопатки до її протилежного кінця монотонно збільшується від  $d$  до  $3d$ , де  $d$  - максимальний розмір дробу.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

а

б

Рисунок 4.9 – Вид зношеної лопатки ротора дробеметного колеса: а) з боку, розташованої далі вісі обертання ротора; б) із боку, розташованої ближче до вісі обертання ротора

#### **4.4 Модернізація конструкції дробометної установки для обробки поверхні робочих валків**

Раніше встановлено, що при обробці поверхні дробом на існуючій установці, у сліді від факела дробу можна виділити три зони, що знижує якість насиченої поверхні, оскільки не забезпечує рівномірної щільності насічки бочки валка, а відповідно і рівномірності шорсткості на поверхні авто листа.

Рівномірного розподілу шорсткості по поверхні валка можна досягти за рахунок формування факела дробу з меншою кількістю зон, і з більш рівномірним розподілом щільності факела дробу всередині зон. З цією метою запропоновано встановити металеві штори у площині перпендикулярної площини обертання дробеметного колеса Штори є металевими пластинами зі сталі 30, розмірами 500x170x10 мм, які прикріплювали до швелерів дробометної камери болтами М12. Установка штор забезпечує формування факела дробу з меншою площею та більшою щільністю ударів дробу. Велика щільність факела дробу сприяє формуванню шорсткості поверхні валка, що насікається, з великим числом піків на одиницю довжини шорсткості.

Попередні дослідження показали, що швидкість дробу після зіткнення зі шторою змінює як напрям, а й величину. Зміна напрямку та зменшення швидкості дробу після зіткнення зі шторою залежить від умов тертя між дробом та поверхнею штори, а також від кута атаки. Встановлено, що кут відскоку дробу від штори трохи відрізняється від кута атаки. Зменшення швидкості дробу після зіткнення зі шторою залежить від коефіцієнта тертя та кута атаки. Надмірне

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

зниження швидкості дробу після зіткнення зі шторою створює екрануючий ефект для інших дробинок, які спрямовані безпосередньо на поверхню валка.

Таким значенням кутів атаки відповідають вертикальне розташування штор довжиною 500 мм і відстанями між ними 600 мм (рис. 4.10).

Рисунок 4.10 – Схема встановлення штор на дробометній установці

#### Висновки до розділу 4

Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що зі збільшенням числа обертів ротора глибина наклепу  $h_n$  та ступінь наклепу  $N$  поверхневого шару деталі збільшується. Аналогічна залежність параметрів  $h_n$  та  $N$  спостерігається від числа проходів. Максимальні значення глибини наклепу та ступеня наклепу спостерігається при числі подвійних проходів рівних 6.

Проведені експерименти показали, що збільшення числа проходів із 2-х до 6-ти, при вихідній шорсткості 0,13 і 0,37 мкм підвищує параметр  $Ra$  з 0,3 мкм до 0,32 мкм і з 0,39 мкм до 0,41 мкм відповідно; і зменшує параметр  $Ra$  з 0,64 мкм до 0,35 мкм, якщо вихідна шорсткість становить 0,9 мкм, що говорить про складний характер взаємовпливу вихідної шорсткості та числа проходів дробу при обробці досліджуваних поверхонь.

Аналіз роботи дробометної установки моделі УДП показав, що при існуючій технології обробки поверхні прокатних валків формується три яскраво виражені зони в плямі контакту факела дробу з оброблюваною поверхнею з нерівномірністю розподілу щільності насічки всередині них, що не забезпечує рівномірної щільності насічки бочки валка, а відповідно і рівномірності шорсткості на поверхні листа. Розсіювання факела дробу сприяє також знос лопаток дробометного колеса.

На основі проведених досліджень внесені зміни в конструкцію турбіни установки для дробометної обробки моделі УДП в ПрАТ «АВТОКРАЗ», що полягає в тому, що у вузлі турбіни встановлені металеві штори розміром 500x170x10 мм перпендикулярно твірній циліндричної поверхні прокатного

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

валка. В результаті обробки валків за режимами обробки дробом, що застосовуються на заводі, виходить ущільнений і рівномірний дробоструминний факел, що підтверджено плямою контакту на металевому листі після обробки. Цю пляму контакту порівнювали із звичайною плямою, отриманою при обробці без встановлення металевих штор.

Внесення змін до конструкції дробометної установки дозволило збільшити щільність і рівномірність факела дробу (замість трьох зон отримали дві зони плями контакту факела з оброблюваною поверхнею). Встановлено, що на основну зону з найбільш щільною насічкою припадає 90,5% усієї площі плями контакту, і на допоміжну зону з менш щільною насічкою - 9,5%, порівняно з 8% і 92%, одержуваних за технологією насічки, що застосовується в даний час.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 5.1 Екологічна експертиза

Ускладнення екологічної ситуації в країні внаслідок забруднення навколишнього природного середовища функціонуючими господарськими об'єктами та комплексами обумовило необхідність розробки та обліку спеціальних природоохоронних розділів при створенні передпроектної, проектно-планової та проектно-кошторисної документації.

Всебічний екологічний аналіз та правильна, достовірна експертна оцінка проектів споруджуваних господарських об'єктів, комплексів та систем набувають принципово важливого значення, оскільки «людські проекти», що не враховують закони природи, приносять чимало лиха.

Важлива роль серед ефективних заходів протидії цьому належить екологічній експертизі. Екологічна експертиза — це комплексний аналіз технологій, матеріалів, устаткування, техніки, проектів, планів, прогнозів та іншої документації, аналіз та оцінка результатів запланованої або існуючої господарської діяльності, що чинить чи може чинити негативний вплив на навколишнє природне середовище, який проводять висококваліфіковані спеціалісти-експерти для визначення відповідності поданих матеріалів чинному законодавству і розробки конструктивних пропозицій щодо охорони навколишнього середовища.

Екологічна експертиза спрямована на запобігання новим, обмеження або ліквідацію існуючим негативним джерелам впливу на оточуюче природне середовище та здоров'я населення. Як вид діяльності спеціально уповноважених органів влади, різних громадських формувань екологічна експертиза спроможна забезпечити дотримання норм і вимог екологічної безпеки при прийнятті законів, обґрунтуванні програм і рішень, проектів соціально-економічного розвитку, розміщення продуктивних сил, будівництві нових підприємств тощо, сформувати пакет необхідних вимог, дати спеціалістам і громадськості можливість оцінити ступінь екологічної обґрунтованості різних проектів,

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

сформулювати висновки, пропозиції і рекомендації щодо їх доцільності, визначити можливість реалізації.

Необхідність та процедура проведення екологічної експертизи визначені природоохоронним законодавством України. Здійснюється вона на підставі закону України «Про екологічну експертизу» (1995 рік).

Враховуючи викладене, розглянемо в порівнянні екологічну безпеку дробометної обробки [46-47].

#### Дробометна обробка [19].

1. Іржа і окалина віддаляються згодом ударної дії абразивних гранул.
2. Як абразивний матеріал застосовують зерна корунду, шлаку, карбїду кремнію, дріб чавунний литий колений, дріб сталевий литий, колений, січений з дроту і ін.
3. Дробеструменеві апарати мають достатньо просту конструкцію. При стаціонарному використанні вимагають спеціальні дробеструменеві камери.
4. Особливих вимог до поверхні, що очищається, не пред'являє.
5. Може бути застосована для очищення металевих виробів різної конструкції.
6. Після очищення необхідно видалити прилиплий пил шляхом обдування обробленої поверхні стислим повітрям.
7. Якість обробленої поверхні залежить тільки від тривалості дії струменя абразивних частинок і має ступінь очищення рівний 3.

Слід особливо відзначити, що травлення вимагає на 1 м<sup>2</sup> обробленій сталевій поверхні витрати травильного розчину приблизно 1 л, свіжої води – 30 л, розчину для пасивування – 1 л. Дробометне очищення споживає – 6 нм<sup>3</sup>/хв стислого повітря 7 бар і безповоротної втрати дробу на 1 м<sup>2</sup> обробленій поверхні – 1 кг

Дробометне очищення сталевій поверхні від окалини і іржі має помітні переваги перед травленням в плані захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу хімічних сполук. При дробометному очищенні утворюється металевий пил, який частково осідає і прилипає до сталевій поверхні унаслідок магнітних явищ і частково витає в атмосфері навколишнього повітря .

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Враховуючи, що допустима норма вмісту металевого пилу в  $1 \text{ м}^3$  повітря складає  $10 \text{ мГ}$ , проведемо розрахунки необхідного оновлення повітря в дробометному модулі.

Початковими даними для проведення розрахунку є: технологічна продуктивність  $Q_f = 12 \text{ м}^2/\text{год}$ ; об'єм очисного відділення  $W_{\text{оч}} = 36 \text{ м}^3$ ; товщина металу, який перетворюється на пил  $\delta = 0,2 \text{ мм}$ ; оброблюваний метал – низьковуглецева сталь 10, піддана термічній обробці в режимі нормалізаційного відпалу; допустима концентрація сталевого пилу в  $1 \text{ м}^3$  повітряної атмосфери  $\text{ПДК} = 10 \text{ мГ}/\text{м}^3$ ; швидкість витання сталевого пилу в повітрі  $v_v = 10 \text{ м/с}$ ; розміри вікон у відсмоктуючому повітроходу  $0,2 \times 0,2 \text{ м}$ , кількість вікон 10 шт.

За санітарними нормами кратність обміну повітря в очисному відділенні дробеструменевого модуля  $n_{\text{доп}} = 200$ . Враховуючи, що розрахункове значення  $n$  менше допустимого, тобто  $n \leq n_{\text{доп}}$ , можна вважати, що належний захист навколишнього середовища від шкідливого впливу металевого пилу буде забезпечений.

## 5.2 Охорона праці та безпека з надзвичайних ситуацій

Технології підготовки поверхні робочих валків холодної прокатки передбачає здійснення дробеструминну обробку. Тому розглянемо питання, що стосуються вимог охорони праці та безпеки під час проведення даної технологічної операції. Обробка дробом здійснюється потоком абразивних частинок- дровинок, які швидко летять, швидкість яких при атаці оброблюваної поверхні перевищує  $80 \text{ м/с}$ , а при рикошеті досягає  $50 \text{ м/с}$ . Тому чистильники металу працюють в спеціальних захисних скафандрах, до яких подають свіже повітря для дихання [48-49].

Враховуючи несприятливі умови роботи, дробеструменеві сопла повинні бути оснащені пристроями дистанційного керування, що дозволяють операторові перервати потік дробу. Рукоятка управління потоком легко-абразивної суміші повинна бути розміщена поряд з дробеструменевим соплом і оператор повинен

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

уміти нею користуватися. Експлуатація дробеструменевих апаратів без пристроїв дистанційного керування недопустима, тому що це може привести до серйозних травм оператора та інших робітників.

Крім безпеки, пристрої дистанційного керування забезпечують істотну економію стислого повітря і абразивних частинок. Якщо операторові доводиться чекати, поки хто-небудь не включить дробеструменевий апарат, стисле повітря і абразив витрачатимуться даремно. Також відмова від залучення додаткового робочого дозволить заощадити на трудовитратах, оскільки одна людина може завантажувати абразив в декілька апаратів або виконувати іншу роботу між наповненням резервуарів.

Існує два принципи роботи пристроїв дистанційного керування. Популярна система скидання тиску дозволяє розгерметизувати дробеструменевий апарат всякий раз при відпуску рукоятки дистанційного керування. Система утримання тиску дозволяє відключити подачу повітря і абразиву в сопло без розгерметизації апарату. Кожна з них має свої переваги і недоліки для конкретних випадків застосування.

Прості системи скидання тиску стислого повітря широко використовуються в дробеструменевих апаратах, розрахованих на одне робоче місце. При натисненні на рукоятку дистанційного керування в дробеструменевому апараті піднімається тиск і можна починати роботу. При відпуску рукоятки подача стислого повітря в дробеструменевий апарат припиняється, що приводить його до розгерметизації. Абразивний матеріал при цьому з увігнутої верхньої частини апарату або з розташованого зверху бункера-накопичувача автоматично пересипається в порожнину апарату.

Системи утримання тиску підтримують тиск стислого повітря в корпусі апарату, навіть коли струменеві роботи зупиняються. Таким чином, дробеструменевий апарат, розрахований на декілька робочих місць, дозволяє одному операторові зупинити очищення поверхні і не впливати на роботу інших операторів. Наявність пристрою утримання тиску в двокамерному апараті забезпечує переміщення абразиву з верхньої камери в нижню без переривання

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

процесу дробеструменевого очищення.

Пристрої утримання тиску можна встановлювати і на дробеструменеві апарати з одним соплом, якщо є великі втрати часу на герметизацію або розгерметизацію зважаючи на часте включення апарату.

Системи утримання тиску в корпусі дробеструменевого апарату в базовій комплектації не забезпечують автоматичного поповнення абразивним матеріалом. Для цього дробеструменевий апарат необхідно уручну розгерметизувати. Проте існує приладдя, яке дозволяє автоматизувати процес поповнення. Це можуть бути прості ручні перемикачі або електричні таймери і показники рівня.

### 5.3 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Для розрахунку приймаємо робочий валок середніх розмірів, який серійно виготовляються машинобудівними заводами [50].

Загальний річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E = B[C_1(T_2/T_1) - C_2], \quad (5.1)$$

де  $B$  – річна потреба переробних підприємств в робочому валку,  $B=110$  шт;

$C_1$  – фактична собівартість робочого валку з шліфованими шийками валів,  $C_1=2011$  грн;

$C_2$  – фактична собівартість робочого валку з шліфованими шийками валів,  $C_2=2151$  грн;

$T_1$  – термін служби опор ковзання для апаратів, на яких встановлені робочого валку з нешліфованими шийками валів,  $T_1=950$  годин;

$T_2$  – термін служби опор ковзання для апаратів, на яких встановлені робочого валку з шліфованими шийками валів,  $T_2=1200$  годин.

Після підстановки числових значень отримуємо наступне:

$$E = 109[2010(1200/900) - 2150] = 57770 \text{ грн.}$$

Умовно - річна економія складатиме

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$$E_z = E - E_n k, \quad (5.2)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт капітальних витрат,  $E_n=0,33$ ;

$k$  – капітальні витрати машинобудівного заводу на розробку, виготовлення і монтаж токарно-гвинторізного верстата для механічної обробки шийок валів робочого валку  $k=82000$  грн.

Тоді

$$E_z = 57770 - 0,33 \cdot 82000 = 30710 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних витрат

$$T_{ок} = \frac{k}{E_z} = \frac{82000}{30710} = 2,7 \text{ року.} \quad (5.3)$$

Розрахунок не враховує економію від випуску робочих валків продуктів, що переробляються, за рахунок зменшення часу простоїв.

У ході проведеної роботи отримано технічні рішення щодо пристроїв лопатки ротора дробометного колеса та конструкції дробометної установки.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень отримано комплекс технічних рішень, що забезпечують формування регламентованої мікрогеометрії прокатних валків гартувального стану для отримання холоднокатаного листа.

З метою отримання регламентованої шорсткості холоднокатаного листа на основі теоретичних та практичних досліджень кінематики взаємодії дробу з оброблюваною поверхнею валка отримано оригінальне технічне рішення, що спрямоване на модернізацію існуючого обладнання дробометної установки, що полягає в тому, що у вузлі турбіни встановлені металеві штори розміром 500x170x10 мм перпендикулярно твірній циліндричної поверхні прокатного валка. В результаті обробки валків за режимами обробки дробом, що застосовуються на заводі, виходить ущільнений і рівномірний дробоструминний факел, що підтверджено плямою контакту на металевому листі після обробки. Цю пляму контакту порівнювали із звичайною плямою, отриманою при обробці без встановлення металевих штор.

Внесення змін до конструкції дробометної установки дозволило збільшити щільність і рівномірність факела дробу. Встановлено, що на основну зону з найбільш щільною насічкою припадає 80% усієї площі плями контакту, і на допоміжну зону з менш щільною насічкою - 12%, порівняно з 10% і 30%, одержуваних за технологією насічки, що застосовується в даний час.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

### Список джерел посилання

1. Мікульонок О.І. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв : підруч. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с.
2. Демкин Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей. Киев : Наука, 1970. 227 с.
3. Усенко Ю.И. Прогрессивная технология нанесения шероховатости на рабочую поверхность валков станов холодной прокатки. Тр. Запорож. гос. инж. акад. : Металлургия. 1998.-№1. С. 82-85
4. Звягина Е.Ю. Повышение качества автомобильного листа за счет совершенствования конструкции дробеметной установки. *Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства*. 2016. С. 39-41.
5. Стриженко А.О. Исследование изменения температуры вала после вывалки из клетки / Стриженко А.О., Астахов А.А., Мазур И.П. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. 2016. Т. 16. № 2. С. 133-136.
6. Девятченко Л.Д. Опыт моделирования качества отделки поверхности холоднокатаных листов. Известия вузов. Черная металлургия. 1982. С. 76-79.
7. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. Москва : Машиностроение, 1987. 328 с.
8. Панкнин В.В. Шероховатость поверхности рабочих валков и ее перенос на полосу при дрессировке. Черные металлы. 1988. С. 12-19.
9. Аркулис Г.Э. Теория пластичности: учебное пособие для вузов/ Аркулис Г.Э., Дорогобид В.Г. Минск : Металлургия, 1987. 352 с.
10. Васильев Я.Д. Исследование контактной линии с валком при холодной прокатке/ Васильев Я.Д., Дементенко А.В. // Известия высших учебных заведений. Черные металлы. 2001. -№7. С.21-24.
11. Технологія машино- та приладобудування : підручник / Якімов О.В., Марчук В. І., Якімов О. О. Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2005. 712 с.
12. Триневський О. І. Аналіз теплового стану валків гарячої прокатки смуги при існуючих та перспективних схемах їх охолодження. Харків : Вісник

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

НТУ «ХП», 2012. № 47. С.

13. Машеков С.А., Кузьминов И.И. Технология прокатного производства. Алматы : Tetaprint, 2007. 334 с.

14. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства : учебное пособие. Санкт-Петербург : Наука, 2005. 540 с.

15. В. Бальд., Г, Кнеппе, Д. Розенталь и др. Новейшая технология производства горячекатаной полосы. *Черные металлы*, 2000. №2. С. 32-37.

16. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Москва : Металлургия, 1985. 539 с.

17. Алдунин А.В. Основные принципы оптимизации процессов горячей прокатки полос по структуре и пластичности металла. *Известия высших учебных заведений* : Черная металлургия, 2008. № 5. С.23–26.

18. Давильбеков Н.Х. Повышение срока службы роликов отводящего рольганга листопрокатных станов. Алматы : Каз ПТИ, 1976. 117 с.

19. Ескулов С.С. Разработка и внедрение методов повышения эффективности работы отводящих рольгангов непрерывных широкополосных станов. Дисс. канд. техн. наук. Алматы : КазНТУ, 1995. 126 с.

20. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности машин. Киев : Техника, 1971. 144с.

21. Горик О.В., Черняк Р.Є., Чернявський А.М., Брикун О.М. Дробоструминне очищення. Теорія і практика. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2021. 326 с.

22. А.А. Дудніков, І.А. Дудніков, А.О. Келемеш, О.В. Горбенко. Influence of the hardening treatment of a machine parts' material on wear-resistance. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 3, No 1 (93). P. 6–11.

23. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. Москва : Машиностроение, 1974. 134 с.

24. Келемеш А.О., Горбенко О.В. Дудніков І.А., Дудніков А.А. RESEARCH OF WEAR RESISTANCE OF BRONZE BUSHINGS DURING PLASTIC VIBRATION DEFORMATION. *Східно-європейський журнал передових*

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРМ.133ГМмд_22.12.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |