

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант освітньої програми
«Металургія чорних металів»

Христина МАЛІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
за підсумками виконання освітньо-професійної програми
«Металургія чорних металів»
за спеціальністю 136 Металургія

**на тему «Удосконалення технології виробництва сталевих куль з
метою підвищення продуктивності»**

Керівник роботи

Максим ШТОДА

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Артем БОЖЕНКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Запоріжжя, 2025

	ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>металургії та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>бакалавр</u>
Спеціальність	<u>136 Металургія</u>
ОПП	<u>Металургія чорних металів</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант освітньої програми

Христина МАЛІЙ
«04» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Боженко Артем Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

- Тема роботи Удосконалення технології виробництва сталевих куль з метою підвищення продуктивності
керівник роботи Штода Максим Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №81/31.03.2025 від 31.03.2025 р.
- Термін подання роботи 27.06.2025 р.
- Вихідні дані до роботи Умовний діаметр кулі 100 мм, номінальний діаметр 104 мм, граничні відхилення ± 4 мм; Група твердості: 4 – високої твердості з підвищеною глибиною прогартовуваності; ДСТУ 8538:2015
- Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Технологічна частина. 1.1. Характеристика помольних сталевих куль. 1.2. Огляд технологій виробництва сталевих куль. 1.3. Технологія виробництва куль на кулепрокатних станах 40-60. 2. Спеціальна частина 2.1. Розрахунок калібровки кулепрокатного стану для виробництва куль умовним діаметром 100 мм. 2.2. Розрахунок енергосилових параметрів процесу прокатки куль умовним діаметром 100 мм. 2.3. Розрахунок продуктивності стану при виробництві куль умовним діаметром 100 мм. 3. Механічна частина. Розрахунок валка кулепрокатного стану на міцність. 4. Охорона праці та екологія. 5. Економічно-організаційна частина. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
- Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. План цеху 2. Калібровка валків. 3. Енергосилові параметри. 4. Валок кулепрокатного стану. 5. Техніко-економічні показники

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Штода М.М., доцент кафедри МОВ
2	Штода М.М., доцент кафедри МОВ
3	Штода М.М., доцент кафедри МОВ
4	Штода М.М., доцент кафедри МОВ

7. Дата видачі завдання 04 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Технологічна частина	19 – 31.05.2025
2	Спеціальна частина. Механічна частина	02 – 21.06.2025
3	Охорона праці та екологія	16 – 25.06.2025
4	Економічно-організаційна частина	16 – 25.06.2025
5	Оформлення пояснювальної записки	25 – 27.06.2025
6	Захист	за графіком

Здобувач

Артем БОЖЕНКО

Керівник роботи

Максим ШТОДА

АНОТАЦІЯ

БОЖЕНКО АРТЕМ ВАЛЕРІЙОВИЧ. Удосконалення технології виробництва сталевих куль з метою підвищення продуктивності. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 136 Металургія, ОПП «Металургія чорних металів» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єктом дослідження є процес поперечно-гвинтової прокатки сталевих куль

Предметом дослідження є технічні та технологічні параметри виробництва куль діаметром 100 мм на кулепрокатному стані.

У першому розділі проаналізовано сучасні технології виготовлення сталевих куль, їх властивості, класифікацію та перспективи розвитку. Надано характеристику технологічної лінії виробництва на підприємстві ПРАТ «Камет-Сталь». Визначено недоліки існуючих процесів та обґрунтовано доцільність удосконалення.

У другому розділі проведено технічні розрахунки калібрування валків, продуктивності прокатного стану та енергосилових параметрів процесу. Обґрунтовано вибір параметрів формуючих елементів

У третьому розділі виконано розрахунок валка на міцність із врахуванням конструктивних особливостей.

ПОПЕРЕЧНО-ГВИНТОВА ПРОКАТКА, КУЛЕПРОКАТНИЙ СТАН,
СТАЛЕВІ КУЛІ, КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ, ПРОДУКТИВНІСТЬ

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1. Огляд технологій виробництва сталевих куль	14
1.2. Характеристика помольних сталевих куль	19
1.3. Огляд технологій виробництва сталевих куль	26
2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	36
2.1. Розрахунок калібрування кулепрокатного стану для виробництва куль умовним діаметром 100 мм	36
2.2 Розрахунок режиму нагріву заготовок	48
2.3 Розрахунок продуктивності стану при виробництві куль умовним діаметром 100 мм	50
2.4 Розрахунок енергосилових параметрів процесу прокатки куль умовним діаметром 100 мм	53
3. МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	56
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЯ	59
4.1 Правила безпеки при прокатному виробництві	63
4.2 Промислова екологія	66
5. ЕКОНОМІЧНА-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА	72
5.1 Перспективи розвитку	73
5.2 Методи зменшення кінцевих відходів	75
5.3 Економічний ефект	75
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83
ДОДАТОК А. План цеху	84
ДОДАТОК Б. Креслення валка для прокату шару діаметром 100 мм	86
ДОДАТОК В. Креслення прокатної кліті	87

ВСТУП

Прокатне виробництво є одним із ключових напрямів металургійної промисловості, яке забезпечує отримання металевих виробів необхідної форми, розмірів та механічних властивостей. Процес прокатки передбачає пластичну деформацію металу між обертовими валками, що дозволяє значно покращити його структуру та механічні характеристики. Завдяки високій продуктивності та економічності цей метод широко використовується для виготовлення різноманітних металевих виробів, таких як листи, труби, балки, дріт та кулі.

Прокатне виробництво відіграє важливу роль у сучасному машинобудуванні, будівництві, енергетиці та інших галузях промисловості. Воно дозволяє отримувати заготовки та готові вироби з оптимальним поєднанням міцності, пластичності та зносостійкості. Крім того, прокатка забезпечує високу точність геометричних параметрів та значну економію матеріалів у порівнянні з іншими методами обробки металу.

Одним із затребуваних напрямів прокатного виробництва є поперечно-винтова прокатка, яка використовується для виготовлення куль для подрібнення руд та інших матеріалів. Цей метод дозволяє підвищити якість і продуктивність виробництва, що є актуальним завданням для металургійних підприємств.

Мета роботи – Удосконалення технології виробництва сталевих куль з метою підвищення продуктивності, розрахунок калібровки валків для прокату шару діаметром 100 мм, дослідження та розрахунок енерго-силових параметрів стану

Апробація результатів досліджень проведено в рамках міжнародної конференції:

Штода М.М., Боженко А.В. Визначення основних технологічних характеристик прокатної кліті кулепрокатного стану. International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. С. 113-115.
<http://www.baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/542/14422/30357-1>

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Прокатне виробництво є одним із ключових процесів металургійної промисловості, що дозволяє отримувати металеві вироби різних форм і розмірів шляхом пластичної деформації металу. Прокатка використовується для виробництва сортового, листового, трубного прокату, а також для виготовлення специфічних виробів, таких як кульові заготовки. Основні види прокатного виробництва включають наступні технології [1]:

1. Поздовжня прокатка – процес, при якому метал проходить через валки, що обертаються в одну сторону, внаслідок чого змінюється його товщина та довжина (рис. 1.1). Поздовжня прокатка широко застосовується у виробництві сталевого прокату, таких як листи, стрічки, профілі та рейки. Вона може бути гарячою або холодною, залежно від температури обробки матеріалу [3].

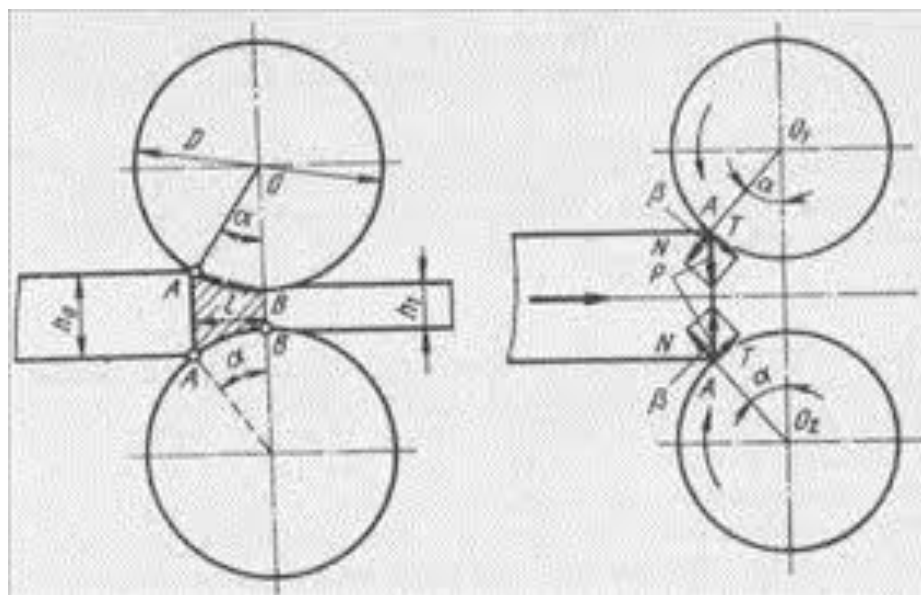


Рисунок 1.1 – Схема поздовжньої прокатки

2. Поперечно-гвинтова прокатка – технологія, при якій металеві заготовки піддаються одночасній деформації як у поперечному, так і в гвинтовому напрямку (рис. 1.2). Цей метод ефективний для виготовлення куль, валів та інших виробів, що мають осьову симетрію. Його перевагами є висока продуктивність, покращена структура матеріалу та можливість виготовлення виробів з високою зносостійкістю [3].

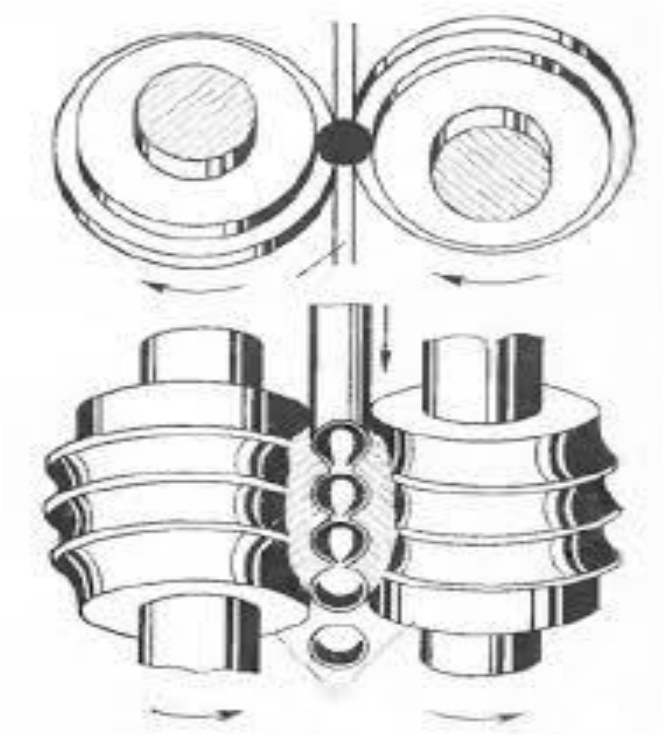


Рисунок 1.2 – Схема поперечно-гвинтової прокатки

3. Поперечно-клинова прокатка – процес, що використовується для виробництва деталей складної геометрії, таких як вали, осі, шестерні та інші машинобудівні компоненти (рис. 1.3). Прокатка здійснюється за допомогою спеціальних клиноподібних валків, що забезпечують рівномірний розподіл деформації та високу точність розмірів. Ця технологія дозволяє отримати заготовки з мінімальними витратами матеріалу та підвищеною міцністю [3].

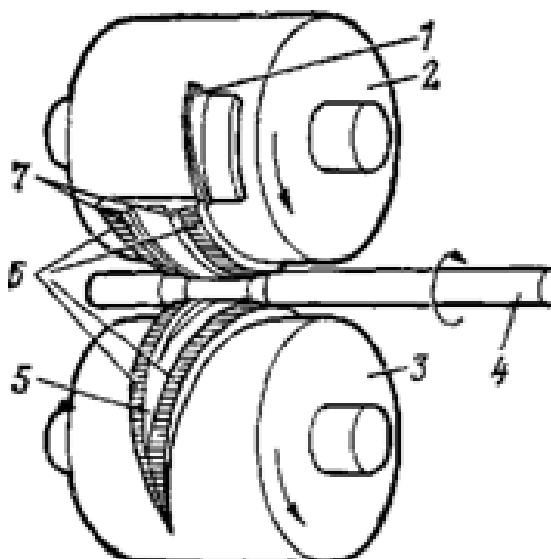


Рисунок 1.3 – Схема поперечно-клинової прокатки; 1 - початок струмка лівого валка; 2 - лівий валок; 3 - правий валок; 4 - заготовка; 5 -початок струмка правого валка; 6 - струмки; 7 - реборди

У контексті виробництва сталевих мелючих куль найефективнішою технологією є поперечно-гвинтова прокатка. Вона забезпечує високу продуктивність, якість поверхні куль та рівномірну структуру матеріалу, що значно покращує експлуатаційні характеристики кінцевого продукту. Даний метод активно використовується у виробництві куль для подрібнення руд, цементу та інших матеріалів у млинах. Додатково, слід зазначити, що вибір конкретної технології прокатного виробництва залежить від таких факторів, як вид кінцевого виробу, вимоги до механічних властивостей, економічна ефективність та технологічні можливості виробництва. Сучасні тенденції розвитку прокатного виробництва спрямовані на автоматизацію процесів, підвищення точності розмірів продукції, впровадження нових матеріалів та вдосконалення методів контролю якості. Використання новітніх комп'ютерних технологій дозволяє значно покращити моделювання та прогнозування результатів прокатки, що сприяє підвищенню ефективності виробництва.

Останні роки стали серйозним випробуванням для металургійної промисловості України. Військові дії та втрата низки ключових підприємств змусили галузь швидко адаптуватися до нових умов. Одним із найбільш значущих змін стало впровадження нових технологій виробництва, які дозволили забезпечити стабільне постачання критично важливої продукції.

Одним із таких проєктів стала розробка технології прокату сталевих куль діаметром 100 мм на підприємстві ПРАТ «Камет-Сталь» [10]. Раніше виробництвом куль цього розміру займалося виключно металургійне підприємство «ПРАТ «Азовсталь»». Проте через відомі події воно припинило свою діяльність, що створило серйозний дефіцит цієї продукції на ринку. У відповідь на цей виклик підприємство ПРАТ «Камет-Сталь» прийняло рішення розробити і впровадити новий сортамент прокату куль діаметром 100 мм на своїх кулепрокатних станах 40-80 [6].

Сталеві мелючі кулі є важливою складовою у виробничих процесах гірничо-збагачувальних комбінатів, цементних заводів та підприємств енергетичної галузі. Вони використовуються в кульових млинах для подрібнення руди, вугілля, цементного клінкеру та інших матеріалів.

Серед усіх розмірів сталевих куль, що застосовуються у промисловості, 100 мм є найбільш затребуваним діаметром. Це пов'язано з тим, що такі кулі оптимально поєднують ефективність подрібнення, довговічність і технологічність виробництва. До війни цей сортамент випускався лише на ПРАТ «Азовсталь», тому його відсутність створила ризики для багатьох виробництв.

Впровадження цієї технології на ПРАТ «Камет-Сталь» дозволило:

- Забезпечити українські підприємства необхідними сталевими кулями, зменшуючи залежність від імпорту.

- Розширити власний виробничий потенціал, що сприяє зміцненню позицій компанії на ринку.
- Компенсувати втрати виробничих потужностей, що були зосереджені на ПРАТ «Азовсталь».
- Підвищити конкурентоспроможність вітчизняного виробника у порівнянні з іноземними аналогами.

Технологічні аспекти виробництва: Процес виготовлення мелючих куль на прокатних станах 40-80 має низку особливостей. По-перше, це те що кулепрокатні стани 40-80 були призначені для виробництва куль діаметром 40-80 мм. В основі лежить метод поперечно-гвинтової прокатки, при якому металева заготовка проходить між спеціальними валками з каліброваними гвинтовими канавками. За кожен оберт валків формується одна або кілька куль, що суттєво підвищує продуктивність у порівнянні з традиційними методами, такими як штампування.

Після прокатки кулі проходять:

1. Гартування – процес різкого охолодження, що забезпечує високу твердість і зносостійкість.
2. Відпуск – для зняття внутрішніх напружень і покращення механічних характеристик.
3. Контроль якості – перевірка геометричних параметрів, мікроструктури та твердості.

Підприємство ПРАТ «Камет-Сталь» розробило оптимальні режими прокатки і термічної обробки, що дозволило забезпечити високий рівень якості продукції відповідно до міжнародних стандартів [6].

Економічний ефект та перспективи:

Розширення сортаменту прокату і запуск виробництва куль діаметром 100 мм не лише вирішує проблему дефіциту продукції, а й приносить економічний ефект:

- Підвищення завантаження прокатних станів і зменшення простоїв.
- Збільшення обсягів реалізації продукції як на внутрішньому ринку, так і для експорту.
- Зменшення собівартості виробництва за рахунок оптимізації технологічного процесу.

Оскільки попит на кульовий прокат залишається стабільно високим, підприємство ПРАТ «Камет-Сталь» продовжує удосконалювати технології та нарощувати виробничі потужності [6].

В подальших планах – оптимізація процесів контролю якості та розширення лінійки продукції відповідно до потреб споживачів.

Таким чином, розробка нової технології прокату куль діаметром 100 мм на ПРАТ «Камет-Сталь» стала не лише важливим технологічним проривом, а й стратегічним кроком у зміцненні металургійної галузі України в умовах нових викликів.

Процес прокатки куль на станах здійснюється з круглої заготовки за допомогою двох валків, що мають гвинтові калібри. При однозахідному калібруванні за кожен оберт валків прокочується одна куля. При багатозахідному калібруванні - число куль, що виходять з валків за один оборот, дорівнює кількості заходів гвинтового калібру. При виході з валків кулі інтенсивно охолоджуються у воді та гартуються, що забезпечує високу зносостійкість куль у млинах для розмелювання руди, вугілля та цементу. Для підвищення точності та якості валків та спрощення їх виготовлення розроблені спеціальні пристрої для нарізування на токарно-гвинторізному верстаті гвинтових струмків кулепрокатних валків, що мають змінний крок. Прокатка куль порівняно зі штампуванням дозволяє у 2.8 разів підвищити продуктивність обладнання та на 10-15 % знизити витрату металу [5]. На базі кулепрокатних станів створені технологічні комплекси для виготовлення високоякісних куль, що включають, включають піч для нагріву заготівлі,

кулепрокатний стан, гартування та транспортні пристрої. У країнах СНД створено конструкцію ряду типорозмірів станів, на яких прокочують кулі діаметром від 25 до 125 мм. На цих станах можна прокатувати циліндричні вироби відповідних розмірів. Стани для прокатки куль діаметром 40-80 та 60-125 мм виготовляються з 1959 року. на металургійних заводах ПРАТ «Азовсталь» (м. Маріуполь), Дніпровському металургійному заводі ім. Дзержинського, нині ПРАТ «Камет-Сталь» (м. Кам'янське) [6]. Кулі для помольних млинів виготовляють не лише на металургійних заводах, але також і на машинобудівних підприємствах, що виробляють запасні частини для кульових млинів цементних заводів та електростанцій. На цих заводах не потрібні стани такої високої продуктивності як на станах, що встановлюються на металургійних заводах.

У ході дослідження було розглянуто основні види прокатного виробництва та проаналізовано їх застосування у металургійній промисловості. Особливу увагу приділено поперечно-гвинтовій прокатці як найефективнішій технології виготовлення сталевих мелюючих куль. Досвід підприємства ПРАТ «Камет-Сталь» показав, що впровадження цієї технології дозволяє забезпечити високу продуктивність, якість продукції та відповідність сучасним вимогам до зносостійкості куль для млинів.

Розробка і запуск виробництва куль діаметром 100 мм на базі кулепрокатних станів 40–80 стало вагомим кроком у подоланні дефіциту цієї продукції на внутрішньому ринку після втрати підприємства ПРАТ «Азовсталь». Підприємству вдалося адаптувати наявне обладнання під нові задачі, оптимізувати технологічні процеси та налагодити повний цикл виготовлення куль – від нагріву заготовки до термічної обробки та контролю якості. Це дозволило не лише компенсувати втрати виробничих потужностей, а й зміцнити економічні позиції підприємства на ринку.

Таким чином, реалізований проєкт підтверджує доцільність розвитку технологій поперечно-гвинтової прокатки як стратегічного напрямку вітчизняної металургії, що здатен забезпечити виробничу незалежність, високу якість продукції та підвищену конкурентоспроможність українських підприємств в умовах сучасних викликів. Надалі доцільним є подальше вдосконалення процесів контролю якості, автоматизації виробництва та розширення сортаменту кульової продукції відповідно до потреб галузей-споживачів.

1.1. Огляд технологій виробництва сталевих куль

На підприємстві ПРАТ «Камет-Сталь» діють два кулепрокатного стану, призначенні для виробництва помольних куль діаметром від 25-100 мм [6].

До складу обладнання лінії станів входять пристрої для загрузки трубної заготовки у піч, безперервна секційна піч швидкісного нагріву, обладнання для транспортування нагрітих заготовок від печі до стану, прокатна кліть та обладнання для загартування та накопичувальні бункера [6].

Устаткування нагрівальних пристроїв: До обладнання нагрівальних печей входять: пости завантажування заготовок у піч, стіл прийому заготовок [6].

Секційна піч призначена для швидкісного нагріву трубної заготовки до температур від 950 до 1170 °С [6].

Прокатна кліть складається з , прийомного жолобу, спеціальних механічних лап які скидають нагріту заготовку на прийомний стіл, та самих робочих валків [6].

Заготовки подаються на стіл прийому за допомогою електромостового крану, після чого спеціальними пристроями такі як штовхач та дозатор за допомогою яких заготовка подається на

завантажувальний рольганг які в свою чергу транспортують заготовку у піч для термічної обробки. Після термічної обробки метал за допомогою рольгангу видається на завантажувальні лапи у стан [6].

Кульопрокатні двовалкові стани призначені для отримання куль, що мелють, діаметром 25-100 мм із середньовуглецевих сталей для млинів. Різні вимоги до куль цих типів визначають відмінності технологічних процесів їх виробництва та калібрування валків. Дрібні кулі прокочують з гарячекатаних круглих заготовок звичайної точності. Нагрівання здійснюють у газових печах до більш високих температур (950-1165°C), що знижує знос валків. Прокатку ведуть зі зрізом перемичок вдавлювання їх залишків в тіло кулі. Прокатані кулі загартовують з прокатного нагріву, а вилучення їх з охолоджувальних пристроїв при температурі 200-300°C призводить до самовідпустки. При прокатуванні куль із заготовок різного рівня точності, а також із збереженням або видаленням перемички в осередку деформації потрібне застосування валків різних калібрувань. Гвинтовий калібр (рис. 1.5) для прокатки куль складається з двох ділянок - формуючого та оздоблювального. [4]

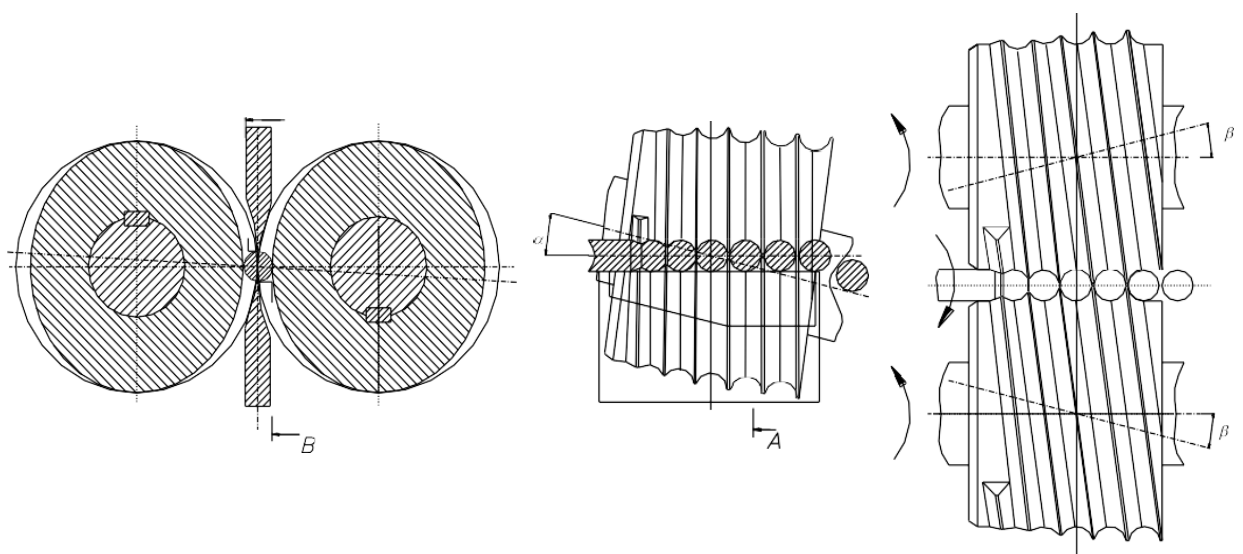


Рисунок 1.4 -Схема прокатки куль

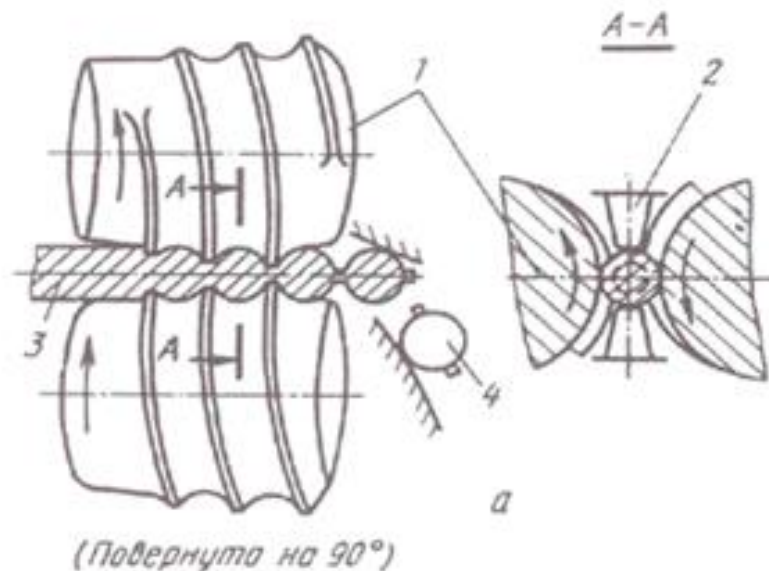


Рисунок 1.5 - Схема розташування валків та проводок при прокаті куль: 1 - валки; 2 - напрямні лінійки; 3 - вихідна заготовка; 4 – заготовка

На формуючому ділянці здійснюються захоплення заготівлі та її поступове обтиснення в кулю, з'єднану перемичкою з рештою заготовки. Формування проводиться ребордами, що мають безперервно наростаючу висоту, відповідно до якої змінюється діаметр перемички. Метал, що зміщується з перемичок в кулю, наводить радіальної деформації та збільшення діаметра кулі порівняно з діаметром заготовки [5]. У зв'язку з цим діаметр заготовки приймається на 1-2 мм менше діаметра кулі. При невідповідності зміщеного об'єму перемички і можливого збільшення об'єму кулі форма кулі не виконується або відбувається її овалізація. Тангенціальна розкочування овальної кулі призводить до утворення центрального руйнування, тому неприпустима [5]. Для запобігання її утворення ширину реборди і крок нарізки гвинтового калібру на ділянці, що формує, роблять змінними (наростаючими). Коригування заповнення калібру може здійснюватися також регулюванням кута подачі валків α , який на кулепрокатних станах становить $2-4^\circ$. Протяжність калібру (число витків) вимірюють у

градусах розгортки гвинтової лінії калібру. При загальній протяжності калібру 900-1350 ° формує ділянка займає 360-540 °. На обробній ділянці при прокатуванні куль підшипників здійснюється лише калібрування кулі [1]. Ця ділянка має постійні крок і профіль нарізки, що відповідає профілю кулі, що прокатується, а також постійний кут підйому нарізки, рівний куту подачі валків. За один оберт валків прокочується одна куля. При прокатці куль, що мелють, валок відрізняється наявністю калібруючої ділянки, що вирівнює діаметри заготовок перед формуванням, і подовженою обробною ділянкою (до 810°). Невелике осьове зміщення валків призводить до розриву перемички на початку оздоблювальної ділянки, а потім - обертання кулі щодо осі, перпендикулярної до осі прокатки, зрізу перемичок ребордами і до закатування полюсних виступів. Для підвищення продуктивності стану поряд з однозахідними застосовують дво-і тризахідні гвинтові калібри, що дозволяє отримувати 2-3 кулі за один оберт валків. Середня продуктивність станів становить 1-6 куль на секунду, до 50-60 млн шт./рік (10-150 тис. т/рік). Основним робочим інструментом для прокатки куль є прокатний валок (рис. 1.6), на бочці якого порізаний гвинтовий калібр.

Step -1 0

**DEFORM**

Рисунок 1.6 - Модель прокатного валка

Вихідним параметром при конструюванні валка є його розмір за вершинами реборд. Діаметр валка вибирають із наступних умов: а) надійне захоплення заготовлі валками; б) міцність валка та мала пружна віддача при зміні діючих навантажень; в) відсутність налипання металу на валках, що виникає при великому ковзанні між вершинами реборди валка та заготовлею. г) найменша вартість та мінімальний знос валків.

Калібрування валків особливо для станів гвинтової прокатки - найбільш відповідальний і складний елемент технологічного процесу, так як поряд з умовами деформації металу необхідно враховувати порівняно складну побудову геометрії гвинтового калібру та технологію нарізки калібру [5]. Основним питанням створення нових технологічних процесів поперечно гвинтової прокатки є розробка та освоєння прокату куль діаметром 100 мм на підприємстві ПРАТ «Камет-Сталь», що забезпечить бажання споживачів [6]. Не менш важливим є надійне відділення у валах виробів, що прокатуються без пошкодження поверхні їх торців і при відсутності великих задирок, забезпечення максимальної довговічності валків. Гвинтове калібрування має свої особливості для кожного виду виробу, що прокатується.

У даному розділі розглянуто склад та принцип роботи технологічної лінії з виробництва помольних куль на підприємстві ПРАТ «Камет-Сталь». Установлено, що на підприємстві функціонують два кулепрокатні стани, призначені для виготовлення куль діаметром 25–100 мм. Особливістю процесу є використання поперечно-гвинтової прокатки, яка забезпечує формування кулі зі зменшеним зносом валків завдяки нагріванню заготовок до оптимальних температур (950–1170 °C) у швидкісній секційній печі.

Прокатна кліть оснащена всім необхідним обладнанням для забезпечення безперервного та керованого процесу: від подачі заготовок у піч до охолодження готової продукції. Основна увага

приділяється конструкції валків з гвинтовим калібром, що складається з формуючої та оздоблювальної ділянок. Така конструкція дозволяє ефективно формувати кулясту форму, видаляти перемичку та уникати дефектів, пов'язаних з нерівномірною деформацією. Розроблена система забезпечує високу продуктивність (до 6 куль/с) та надійність процесу. У той же час, з метою подальшого удосконалення, доцільним є впровадження багатозаходних калібрів, оптимізація кута подачі та автоматизація систем контролю якості прокатки.

1.2. Характеристика помольних сталевих куль

На підприємстві ПРАТ «Камет-Сталь» на кулепрокатних станах виготовляють кулі молольні умовним діаметром 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100 мм відповідно до вимог ДСТУ 8538, матеріалом для прокатки куль служить сталева гарячекатана заготовка круглого перерізу діаметром 24,30,40,50,60,80 та 100 мм [6]. На прокатку куль призначають заготовки зі спокійних, напівспокійних марок сталі Відповідно до цього ДСТУ кулі підрозділяють на групи твердості:

1 група - кулі нормованої твердості

2 група – кулі підвищеної твердості, виготовляють зі сталі с масовою часткою вуглецю та вуглецевим еквівалентом зі значенням наведених у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад куль 1 і 2 групи твердості ДСТУ 8538 [2]

Умовний діаметр	Масова частка вуглецю, % не менше	Вуглецевий еквівалент, % не менше	Умовна марка сталі
25,30,40,50	0,40	0,50	Ш1
60,80,100	0,50	0,70	Ш2

Вуглецевий еквівалент обчислюють за такою формулою

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{40} + \frac{V}{14}$$

3 група – кулі високої твердості поверхні, виготовляють зі сталі з масовою часткою вуглецю та вуглецевим еквівалентом зі значенням наведених у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад куль 3 групи твердості ДСТУ 8538 [2]

Умовний діаметр	Масова частка вуглецю, % не менше	Вуглецевий еквівалент, % не менше	Умовна марка сталі
25,30,40,50	0,6	0,70	Ш2
60,80,100	0,6	0,75	Ш2, М4, С72D2

Для стабільного отримання твердості для куль діаметром 25 мм-100 мм рекомендований хімічний склад сталі наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Рекомендований хімічний склад сталі для помольних куль 3 групи твердості [2]

Умовна марка	Умовний діаметр куль, мм	Масова частка елементів, %				
		C	Mn	Si	Cr	C _е
Ш2	25	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
Ш2	30	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
Ш2	40	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
Ш2	50	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
Ш2	60	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
М-4	60	0,65+0,79	0,80+1,3	0,25+0,35	≤0,8	0,80+1,04

Продовження таблиці 1.3

C72D2	60	0,70+0,75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,82+0,90
Ш2	80	0,65+0,75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
M-4	80	0,65+0,79	0,80+1,3	0,25+0,35	≤0,8	0,80+1,04
C72D2	80	0,70+0,75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,82+0,90
Ш2	100	0,65+0,75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
M-4	100	0,65+0,79	0,80+1,3	0,25+0,35	≤0,8	0,80+1,04
C72D2	100	0,70+0,75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,82+0,90

4 група – кулі високої твердості поверхні з нормованою твердістю на 0,5 радіусу кулі, виготовляють із сталі з масовою часткою вуглецю та вуглецевим еквівалентом зі значенням наведених у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Хімічний склад куль 4 групи твердості ДСТУ 8538 [2]

Умовний діаметр	Масова частка вуглецю, % не менше	Вуглецевий еквівалент, % не менше	Умовна марка сталі
25, 30, 40, 50, 60, 80, 100	0,6	0,75	Ш2, C72D2, C80D2, C80D2Cr3, M4, 80

Для стабільного отримання твердості для куль діаметром 25 мм-100 мм рекомендований хімічний склад сталі наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Рекомендований хімічний склад сталі для помольних куль 4 групи твердості [2]

Умовна марка	Умовний діаметр куль, мм	Масова частка елементів, %				
		C	Mn	Si	Cr	Cэ
Ш2	25	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,08	0,76+0,90
Ш2	30	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,08	0,76+0,90
Ш2	40	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,08	0,76+0,90
M-4	40	0.65+0.79	0,80+1,3	0,25+0,35	≤0,08	0,76+0,90
C72D2	40	0.65+0.75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,08	0,76+0,90
80	40	0,80+0,85	0,60+0,70	0,25+0,35	≤0,08	0,80+1,04
Ш2	50	0,65+0,75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,08	0,82+0,90
M-4	50	0,65+0,79	0,80+1,3	0,25+0,35	≤0,08	0,76+0,90
C72D2	50	0,70+0,75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,08	0,80+1,04
80	50	0,80+0,85	0,60+0,70	0,25+0,35	≤0,08	0,82+0,90
Ш2	60	0,7+0,75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,08	0,76+0,90
M-4	60	0,65+0,79	0,80+1,3	0,25+0,35	≤0,08	0,80+1,04
C72D2	60	0,70+0,75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,08	0,82+0,90
80	60	0,80+0,85	0,60+0,70	0,25+0,35	≤0,08	0,91+1,00
C80D2	60	0,78+0,82	0,65+0,80	0,15+0,30	0,15+0,25	0,92+1,02
80	80	0,80+0,85	0,60+0,70	0,25+0,35	≤0,08	0,91+1,00
C80D2	80	0,78+0,82	0,65+0,80	0,15+0,30	0,15+0,25	0,92+1,02

5 група – кулі високої твердості поверхні з нормованою об'ємною твердістю, виготовляють зі сталі з масовою часткою вуглецю та вуглецевим еквівалентом зі значенням наведених у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Хімічний склад куль 5 групи твердості по ДСТУ 8538 [2]

Умовний діаметр	Масова частка вуглецю, % не менше	Вуглецевий еквівалент, % не менше	Умовна марка сталі
25,30,40,50	0,6	0,70	Ш2,С72D2,80,С80D2
60	0,6	0,80	80,С80D2
80	0,6	0,85	С80D2

Для стабільного отримання твердості для різних типорозмірів куль рекомендований хімічний склад сталі наведено у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 - Рекомендований хімічний склад сталі для помольних куль 5 групи твердості [2]

Умовна марка	Умовний діаметр куль, мм	Масова частка елементів, %				
		С	Mn	Si	Cr	Сз
Ш2	25	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
Ш2	30	0.65+0.75	0,60+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,76+0,90
С72D2	30	0.70+0.75	0,65+0,75	0,15+0,25	≤0,8	0,82+0,90
С80D2	40	0.78+0.82	0,65+0,80	0,15+0,30	0,15+0,25	0,92+1,02
С80D2	60	0,78+0,82	0,65+0,80	0,17+0,30	0,15+0,25	0,92+1,02

У таблиці 1.8 приведена твердість куль по ДСТУ 8538 діаметром від 25 до 100 мм [2]


Таблиця 1.8 - Твердість куль по ДСТУ 8538 [2]

Умовний діаметр кулі, мм	Групи твердості куль, HRC (HB), не менше						
	На поверхні кулі				На глибині 0,5R кулі	На поверхні кулі	Об'ємна
25	45 (415)	49 (461)	55 (534)	55 (534)	45 (415)	61 (601)	57 (555)
30+40	43 (401)	48 (453)	53 (514)	53 (514)	43 (401)	60 (590)	53 (514)
50+60	43 (401)	48 (453)	53 (514)	53 (514)	43 (401)	60 (567)	53 (453)
80+100	39 (341)	42 (375)	52 (495)	52 (495)	40 (352)	58 (567)	48 (453)



Таблиця 1.9 - Граничні відхилення до номінальних діаметрів, розрахунковий номінальний об'єм та маса куль по ДСТУ 8538 [2]

Умовний діаметр, мм	Номінальний діаметр, мм	Граничні відхилення по номінальному діаметру, мм	Розрахунковий номінальний об'єм, см ³	Розрахункова номінальна маса, кг
25	25,0	± 1,0	8,18	0,064
30	31,5	±2,0	16,4	0,128
40	41,5		37,4	0,294
50	52	±3,0	74,0	0,580
60	62		125,0	0,980
80	83		299,0	2,350
100	104,0	±4,0	589,0	4,620

Таблиця 1.10 - Основні види браку при прокатці куль і способи їх усунення [2]

Вид браку	Причини	Спосіб усунення
 <p data-bbox="272 674 560 801">Порожнисті кулі, кулі еліпсоїдної форми</p>	<p data-bbox="608 331 1019 801">1. Висока температура нагрівання заготовки 2. Відхилення розмірів заготовки діаметром більше допустимих</p>	<p data-bbox="1019 331 1476 801">1. Зменшити температуру заготовки 2. Прокатати заготовки з відповідним відхиленням по діаметру</p>
 <p data-bbox="272 1173 560 1261">Куля з глибокими борозенками</p>	<p data-bbox="608 801 1019 1261">1. Неправильне настроювання валків по осі, тобто значне зміщення струмка одного валка щодо іншого</p>	<p data-bbox="1019 801 1476 1261">1. Усунути зміщення струмків осьовим налаштуванням</p>
 <p data-bbox="316 1525 517 1570">Пустотілі кулі</p>	<p data-bbox="608 1261 1019 1570">1. Наявність усадкової пухкості в заготівлі 2. Великі внутрішні напруження що виникають при деформації</p>	<p data-bbox="1019 1261 1476 1570">1. Не допускати до прокатки заготовки з усадочною пухкістю 2. Збільшити зазор між валками.</p>
 <p data-bbox="293 1912 544 1995">"Рейка"</p>	<p data-bbox="608 1570 1019 1995">1. Значне ковзання між валками та заготовкою 2. Значне вироблення реборд, заготовка не повертається 3. Заклинювання заготовки у вступній провідці</p>	<p data-bbox="1019 1570 1476 1995">1. Очистити валки від мастила та окалини 2. Провести наплавку реборд захоплення на дільниці перевалки валків; виконати перевалку валків 3. Вставити ввідну провідку по осі прокату</p>

Продовження таблиці 1.10

 <p>Куля проскакує з перемичкою</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Випав клин між подушкою та касетою 2. Люфт у механізмі осьового переміщення 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відновити клин 2. Перевірити механізм осьового переміщення та усунути люфт
 <p>Незаповнення кулі діаметром, перпендикулярно до осі прокатки</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Валки недостатньо зведені 2. Малий кут розвороту валків 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Звести валки 2. Перевірити кут розвороту валків

В результаті аналізу вимог до сталевих куль, що виготовляються на підприємстві ПРАТ «Камет-Сталь», встановлено, що вибір марки сталі та її хімічного складу безпосередньо впливає на твердість і експлуатаційні характеристики готової продукції. Залежно від діаметра куль та умов їх роботи застосовуються сталі з різним вмістом вуглецю та легуючих елементів, що дозволяє забезпечити необхідний рівень міцності, зносостійкості та довговічності. Оптимальними для виробництва є сталі марок Ш2, М4, С72D2, С80D2, С80D2Cr3, які відповідають вимогам за твердістю й структурою.

1.3. Огляд технологій виробництва сталевих куль

Кулепрокатні двовалкові стани призначені для отримання заготовок куль діаметром 25-100 мм що мелють діаметром із середньовуглецевих сталей для млинів. Різні вимоги до куль цих типів визначають відмінності технологічних процесів їх виробництва та

калібрування валків. Дрібні кулі прокочують з гарячекатаних круглих заготовок звичайної точності. Нагрівання здійснюють у секційних газових печах швидкого нагріву до більш високих температур (950-1170°C), що знижує знос валків. Прокатку ведуть зі зрізом перемичок вдавлювання їх залишків в тіло кулі. Прокатані кулі загартовують з прокатного нагріву, а вилучення їх з охолоджувальних пристроїв при температурі 200-300°C призводить до самовідпустки. [12]

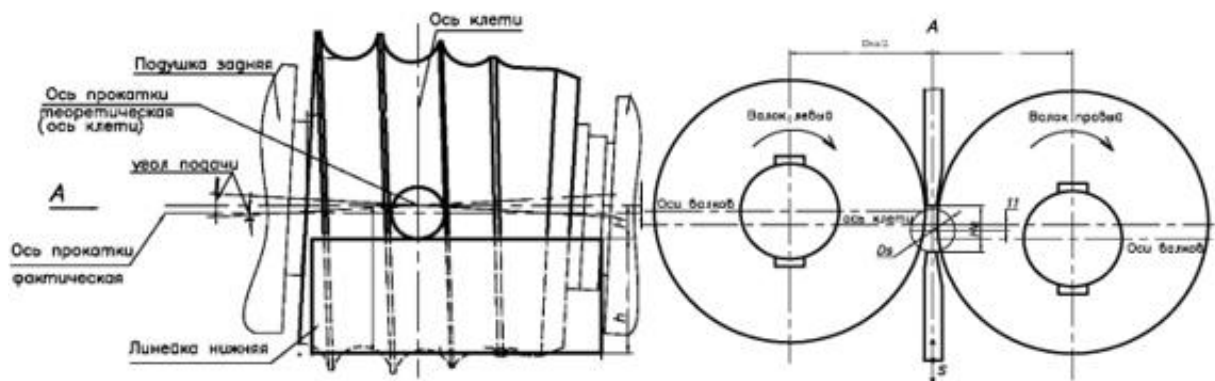


Рисунок 1.7 – Позиціонування прокатних валків під час налаштування

При прокатуванні куль із заготовок різного рівня точності, а також із збереженням або видаленням перемички в осередку деформації потрібне застосування валків різних калібрувань. Гвинтовий калібр для прокатки куль складається з двох ділянок - формуючого та оздоблювального [7].

На формуючому ділянці здійснюються захоплення заготівлі та її поступове обтиснення в кулю, з'єднану перемичкою з рештою заготовки. Формування проводиться ребордами, що мають безперервно наростаючу висоту, відповідно до якої змінюється діаметр перемички. Метал, який переміщується з перемичок у кулю, викликає радіальну деформацію та збільшення діаметра кулі. У зв'язку з цим діаметр

заготівлі приймається на 1-2 мм менше діаметра кулі [7]. При невідповідності зміщеного об'єму перемички і можливого збільшення об'єму кулі форма кулі не виконується або відбувається її овалізація.

Для запобігання її утворення ширину реборди і крок нарізки гвинтового калібру на ділянці, що формує, роблять змінними (наростаючими). Коригування заповнення калібру може здійснюватися також регулюванням кута подачі валків а, який на кулепрокатних станах становить 2-4°. Протяжність калібру (число витків) вимірюють у градусах розгортки гвинтової лінії калібру [5]. При загальній протяжності калібру 900-1350° формує ділянка займає 360-540°. На обробній ділянці при прокатуванні куль здійснюється лише калібрування кулі. Ця ділянка має постійні крок і профіль нарізки, що відповідає профілю кулі, що прокатується, а також постійний кут підйому нарізки, рівний куту подачі валків. За один оберт валків прокочується одна куля.

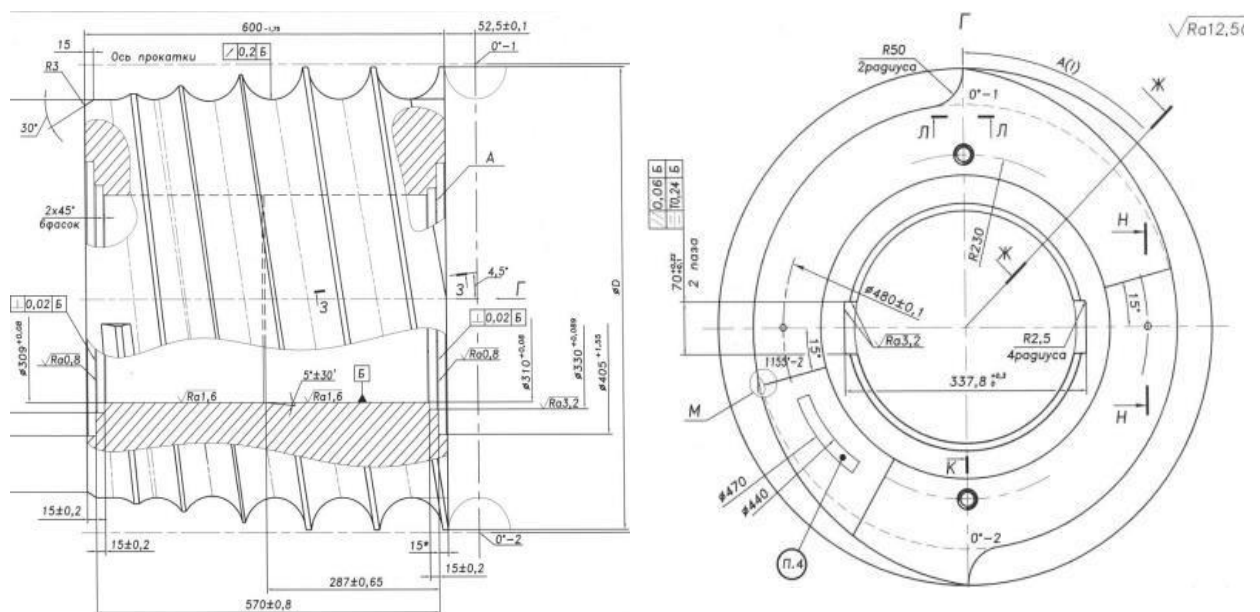


Рисунок 1.8 – Однозахідний калібрувальний валок для прокату куль діаметром 100 мм

При прокатці куль, що мелють, валок відрізняється наявністю калібруючої ділянки, що вирівнює діаметри заготовок перед формуванням, і подовженою обробною ділянкою (до 810°). [5] Невелике осьове зміщення валків призводить до розриву перемички на початку оздоблювальної ділянки, а потім - обертання кулі щодо осі, перпендикулярної до осі прокатки, зрізу перемичок ребордами і до закатування полюсних виступів. Для підвищення продуктивності стану поряд з однозахідними застосовують дво-і тризахідні гвинтові калібри, що дозволяє отримувати 2-3 кулі за один оберт валків [5]. Середня продуктивність станів становить 1-6 куль на секунду, до 50-60 млн шт/рік (10-150 тис. т/рік). Основним робочим інструментом для прокатки куль є прокатний валок, на бочці якого порізаний гвинтовий калібр.

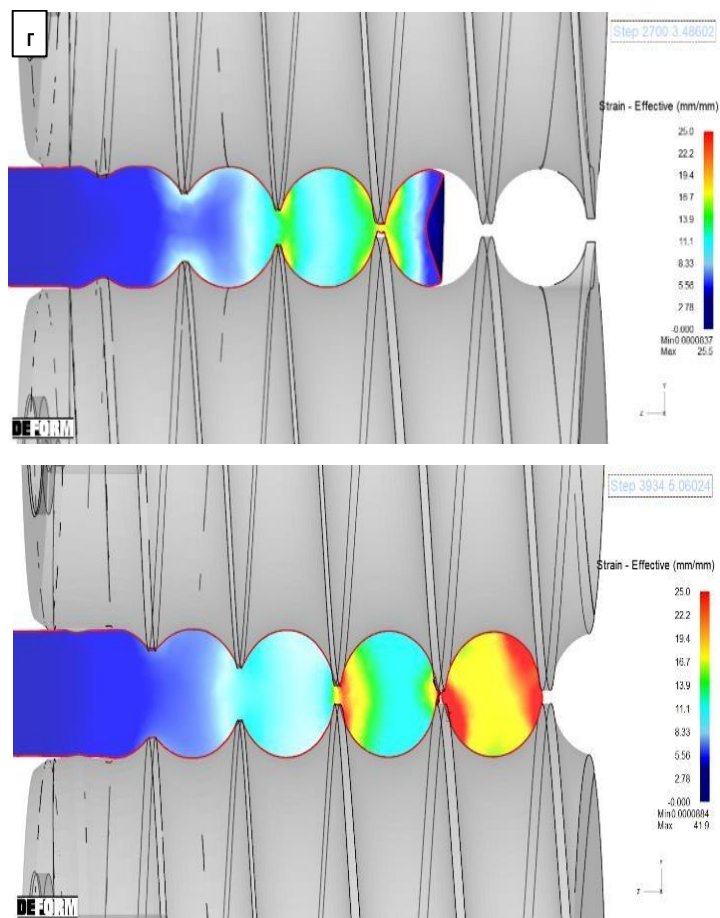


Рисунок 1.9 – Інтенсивність деформації при прокатуванні куль діаметром 100 мм

Вихідним параметром при конструюванні валка є його розмір за вершинами реборд. Діаметр валка вибирають із наступних умов.

а) надійне захоплення заготовлі валками;

б) міцність валка та мала пружна віддача при зміні діючих навантажень;

в) відсутність налипання металу на валках, що виникає при великому ковзанні між вершинами реборди валка та заготовлею.

г) найменша вартість та мінімальний знос валків.

Для забезпечення нормального процесу прокатки профіль та розміри формуючої ділянки калібру розраховуються таким чином, щоб у процесі обтиснення заготовки дотримувалися наступні три основні умови: 1. Об'єм металу, що обтискується в калібрі, повинен залишатися постійним протягом всього процесу формування кулі; 2. Зміна профілю та розмірів реборди калібру повинна відповідати витяжці заготовки, що обтискається; 3. Обтискання повинно здійснюватися відносно вузькими ділянками, щоб запобігти руйнуванню металу в осьовій зоні заготовлі. Згідно з першою умовою необхідно, щоб обсяг деякої частини заготовлі, захоплений валками, залишався незмінним у міру проходження його через інші ділянки калібру. У цьому випадку будь-якої миті прокатки в калібрі не буде надлишку металу. Поява надлишку металу особливо небажана тих ділянках калібру, де осьовому течії перешкоджають високі реборди калібру.

З появою надлишку металу спотворюється геометрична форма кулі, спостерігається поява порожній в осьовій зоні заготовлі, оскільки наявність надлишку металу в калібрі сприяє поперечному розкриванню заготовки. Наявність невеликого надлишку металу припустимо лише на початку калібру, коли реборда ще порівняно низька і перешкоджає витіснення надлишку металу з калібру. Однак для витіснення надлишку металу додатково витрачається робота, що призводить до зростання потужності, що витрачається на деформацію металу. Щоб забезпечити

сталість обсягу металу в калібрі, реборди валка повинні мати довжину калібру строго певну товщину [7]. Згідно з другою умовою нормального утворення форми кулі, витяжка обтискної ділянки заготовки повинна відповідати зміні форми та розмірів реборди калібру. У разі прокатки куль довжина обтисненої перемички повинна дорівнювати ширині прямої ділянки реборди калібру. Якщо зміна ширини реборду калібру менша за витяжку обтисненої заготовки, то метал відходить від реборди і на поверхні заготовки утворюватиметься накат, який при подальшому обтисненні заготовки розкотиться в плівку. Якщо зміни ширини реборду калібру більші, ніж витяжка заготовки, то в перемичці, що обтискається, виникають осьові розтягувальні напруження, які можуть призвести до розриву перемички. Досвід показує, що конус формує ділянки, коли перемичка має порівняно малий діаметр (менше 10 мм), друга умова утворення форми кулі зазвичай не вдається витримати. При цьому накати і полони на поверхні кулі все ж таки не утворюються, так як метал тече переважно в радіальному напрямку і перемичці набуває овальної форми. На противагу цьому на початку формуючої ділянки, коли діаметр перемички ще великий, реборда калібру зазвичай розширюється інтенсивніше перемички і внаслідок цього в останній виникають осьові розтягуючі напруження. Таким чином, для виконання як першої, так і другої умов утворення форми кулі реборда на різних ділянках калібру повинна мати строго певну товщину. У зв'язку з цим формуюча ділянка калібру має змінний крок нарізки. На підставі третього положення можна констатувати, що при прокатці куль умови, що перешкоджають утворенню пухкості всередині заготовки, найбільш сприятливі, так як обтискання ведеться порівняно вузькими ділянками, сферичні ділянки заготовок не піддаються обтиску і стримують розкочування перемичок у поперечному напрямку. Обробна ділянка калібру має постійний крок і профіль, що відповідає профілю кулі, що прокочується. Встановлено, що зі збільшенням інтенсивності

обтискання схильність до розпушування металу зменшується. Однак інтенсивність обтискання можна збільшити лише до певної межі, обмеженої умовами захоплення заготовлі валками. При надмірному обтисканні заготовки порушується зчеплення між валками та заготовкою і остання починає прослизати у валах. Також встановлено, що для збільшення інтенсивності обтискання з метою запобігання розпушенню металу доцільно по можливості скорочувати довжину ділянки, що формує. При значній ширині реборди в циліндричній заготовці, що обтискається, розкривається порожнина і лише при відношенні ширини реборди до номінального діаметру заготовки менше одиниці можна досягти дуже великого обтиснення, близького до повного відділення заготовки без розпушування металу. При збільшенні ширини реборди, порівняно з розрахунковою величиною, визначеною з умови сталості металу, обтискна частина заготовки буде примусово розтягуватися, і в осередку деформації виникнуть осьові напруження, що розтягують. Наявність осьових напружень, що розтягують, сприяє витягці заготовлі і зменшенню розкочування по діаметру, тим самим зменшується схильність до розпушування металу при поперечній прокатці. Однак при прокатуванні у валках з вузькими ребордами використовувати натяг можна лише обмежено, так як при незначній зміні ширини реборди натяг різко змінюється, і може настати передчасне обрив заготовки у валках [12].

При правильному веденні технологічного процесу розпушення металу при поперечно-гвинтовій прокатці куль не спостерігається, а кулі за симетрією та якістю поверхні, за структурою та механічними властивостями задовольняють вимогам, що пред'являються до куль.

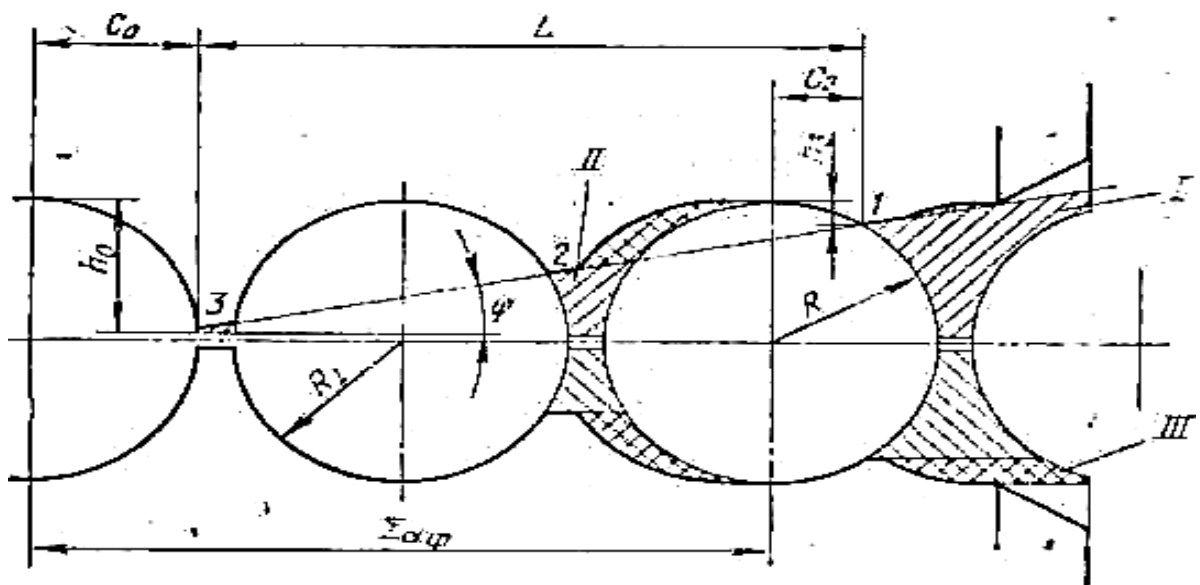


Рисунок 1.10 - Поздовжній переріз гвинтового калібру:
I — поперечна підрізка; II — проточка на конус; III— зовнішня підрізка

Кулі діаметром 100 та 125 мм прокочують у валках з одним гвинтовим калібром. Кулі інших діаметрів (25-60 мм) катають у валках, що мають від двох до чотирьох калібрів. Можливість використання багатозахідних валків дозволяє значно збільшити продуктивність станів та знизити питому витрату валків. Процес прокатки куль, що мелють, характеризується утворенням на передньому кінці гуркоту так званої «половинки». Процес утворення та формування «половинки» чітко ведений на рис. 1.11. Форма та розміри «половинки» відповідають кінцевому обрізу при промислових прокатках. Після відділення «половинки» на кулі залишається перемичка, яка надалі заковчується в тіло кулі, який після відокремлення від заготівлі на останньому обороті валка обертається навколо осі, що не збігається з початковою віссю заготовки.



Рисунок 1.11 – «Половинка», яка отримується в умовах промислового виробництва

Можливість використання багатозахідних валків визначається потужністю приводу кліті та розмірами валка. Багатозахідне калібрування валків для прокатки куль розраховують з урахуванням основних вимог для однозахідних калібрів. Основні дані для розрахунку багатозахідних калібрування: номінальний діаметр кулі з урахуванням температури прокатки, висоту реборди на захопленні, діаметр перемички, що з'єднує кулі в кінці формування, довжину оздоблювального і формуючого ділянок гвинтового калібру, товщину вершини реборди на початку формує ділянки вибирають на основі тих же передумов, що і для переробки. Однак формула визначення ширини реборди, виведені з умови сталості обсягу металу в однозаходном калібрі, не забезпечує для багатозахідних калібрувань правильності витяжки перемички. Під ребордою виходить неприпустимий надлишок металу. Для його усунення необхідно підрізати на ділянці, що формує, не тільки зовнішню частину реборди, але і внутрішню частину калібру. Величина внутрішнього переміщення реборди повинна бути однаковою на всій ділянці, що формує. З огляду на це уточнюється товщина вершини реборди, її зовнішнє переміщення та визначаються кроки нарізки формуючої ділянки.

Для виготовлення валків застосовують матеріал, що піддається найменшій деформації при термічній обробці та утворює в термічно обробленому стані високою твердістю та зносостійкістю. Таким вимогам задовольняють високоміцні інструментальні сталі. Сталь для виготовлення валків проходить [5].

Існуючим станам з виробництва куль характерні такі недоліки:

1. Вихідні заготовки надходять із сортових та заготівельних станів. Ці заготівлі отримані зазвичай із блюмів, прокатаних на блюменгах і мають високу вартість, обумовлену технологічними витратами праці, - енергії та металу на попередніх переділях. Ці заготовки подаються до кулепрокатного стану в холодному стані і для їх нагріву зазвичай використовують полум'яні прохідні нагрівальні печі зі значними енерговитратами.

2. Для термічного зміцнення куль зазвичай використовують агрегати барабанного типу, для яких характерна значна нерівномірність охолодження при термообробці і, як наслідок, що призводить до значного розкиду механічних властивостей готової кулі. Це призводить до зниження якості куль, в першу чергу до зниження твердості поверхні, що викликає погіршення зносостійкості та стійкості проти удару при їх експлуатації в млинах для помелу руди.

Прокатка сталевих куль за технологією поперечно-гвинтової прокатки є ефективним методом виготовлення якісних мелючих куль для млинів. Гвинтове калібрування валків дозволяє забезпечити необхідну геометрію та механічні властивості куль завдяки поетапному формуванню й оздобленню виробу. Раціональна побудова калібру із змінним кроком нарізки, дотримання умов сталості об'єму металу в калібрі та уникнення надлишку матеріалу в зонах високого обтискання дозволяють уникнути дефектів, таких як розпушення та порожнини. Правильно організований процес забезпечує стабільну якість куль, високу продуктивність станів і довговічність валків

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЯ

Охорона праці в нашій країні є системою законодавчих актів та відповідних їм соціально-економічних, технічних, гігієнічних та організаційних заходів, що забезпечують безпеку, безпеку здоров'я та працездатність людей у процесі праці [6].

До основних розділів охорони праці належать загальні положення, вимоги безпеки перед початком роботи, під час роботи та після закінчення, вимоги безпеки в аварійних ситуаціях та виробнича санітарія. На підприємствах з питань охорони праці та виробничої санітарії займаються спеціальні відділи, підпорядковані безпосередньо головному інженеру. Ці відділи розробляють та проводять конкретні заходи щодо охорони праці, а також здійснюють контроль за їх дотриманням. Діяльність заводських відділів техніки безпеки включає, зокрема, такі заходи:

- 1) проведення, вступного інструктажу для новонароджених, які надходять на роботу;
- 2) проведення громадських оглядів з охорони праці та техніки безпеки та інструктивних нарад інженерно-технічних працівників та інспекторів з питань забезпечення безпеки праці;
- 3) організацію бесід, лекцій та семінарів із працівниками підприємств з питань забезпечення безпеки праці при впровадженні нової техніки та технології;
- 4) участь у розробці карт БРП (Безпечний робочий простір) та виробничих інструкцій, що забезпечують безпеку праці на окремих виробничих ділянках;
- 5) контроль за наявністю на робочих місцях плакатів, що показують найбезпечніші прийоми обслуговування обладнання та виконання різних технологічних операцій;

6) створення кабінетів з вивчення та пропаганди правил техніки безпеки;

7) показ технічних фільмів, що пропагують раціональні та безпечні методи виконання робіт на основі використання передової технології, комплексної механізації та автоматизації виробництва.

На ділянці кулепрокатних станів існують шкідливі виробничі фактори:

1. Обладнання з рухомими та обертовими механізмами. Робота з обладнанням, яке має елементи, що обертаються (муфти, шестерні передачі, робочі валки, і т.д) повинні бути огорожені або не мати прямого доступу для уникнення травм працівників (захисні кожуха на елементах, огорожа у вигляді паркану на відстань 1.3 метра від елемента) [6].

2. Загазованість. У деяких відділеннях металопрокатного цеху при сушінні футерування розливальних ковшів, а також при плавці шихтових матеріалів і приготуванні ливарних розплавів утворюються гази, (CO, SO₂ та ін.) Якщо вміст газів, що виділяються в повітрі робочих зон не перевищує встановлених санітарних норм, то вплив цих газів на організм людини не становить значної небезпеки. Зниження загазованості атмосфери-робочих зон до встановлених санітарних норм забезпечується допалюванням ваграночних газів у системах підігріву повітря, що вводиться в піч пристроєм загальнообмінної та місцевої витяжної вентиляції у місцях виділення газів, а також проведенням спеціальних профілактичних заходів [6]. На ділянці кулепрокатних станів є агрегати, які опалюються природним газом, такі як секційні печі, газові пости. Щоб уникнути отруєння чадним і природним газами працівників цеху доглянуто ряд заходів, працівники які виконують роботи в газонебезпечних місцях (будь-яка робота в газонебезпечному місці вважається гаронебезпечною, навіть якщо вона не пов'язана з роботою із газовим обладнанням або з газовим

господарством) зобов'язані мати при собі газоаналізатори, щоб уникнути отруєння [6].

3. Запиленість. У своєму складі пил містить понад 10% вільного двоокису, кремнію у вигляді частинок розміром до 4 мкм. Розміри часток мають дуже велике значення: чим дрібніші частинки, тим більшу небезпеку вони становлять. Якщо вміст пилу повітря робочої зони перевищує гранично допустимі концентрації, то результаті тривалого впливу цього пилу створюється небезпека захворювання робочих силікозом (ураження легких і верхніх дихальних шляхів) [6].

Зниження запиленості повітря робочої зони досягається пристроєм загальнообмінної та місцевої витяжної вентиляції у місцях утворення пилу. Повітря, що відсмоктується з ділянок металопрокатного цеху, перед випуском в атмосферу очищається пилоочисними пристроями [6].

4. Рівень температури повітря робочої зони. Для плавильних відділень характерний різкий перепад температур, коли висока температура повітря, що оточує плавильні печі, знижується при віддаленні від них на деяку порівняно невелику відстань до нижчого значення. Такий перепад температур особливо різко виявляється у холодну пору року [6].

Зниження температури повітряного середовища до встановлених санітарних норм забезпечується застосуванням водяного або повітряного охолодження нагрітих поверхонь і огорож, щоб їх температура не перевищувала 45°C, а також пристроєм загальнообмінної та місцевої витяжної вентиляції. Для полегшення умов роботи використовують повітряне душення, тобто. обдування робітника спрямованим потоком повітря зі швидкістю 2 - 3 м/с. При цьому знижується температура на поверхні одягу робітника і полегшується віддача тепла його організмом [6]. На ділянках, де

неможливо з тих чи інших причин застосувати подібні пристрої, використовують з тією ж метою пересувні пропелерні установки.

5. Промене тепло. Джерелами значного променистого тепла є плавильні печі, розплавлений метал, гарячі виливки тощо. Інфрачервоне випромінювання, що утворюється при цьому, не впливає безпосередньо на температуру повітря, але надає несприятливий вплив на організм людини [6].

Для зниження шкідливого впливу променистого тепла на робочих біля плавильних печей та на ділянках заливання форм встановлюють системи повітряного душення зі збільшеною швидкістю руху повітря до 0,3 – 0,7 м/с (для легких робіт до 0,2 т – 0,5 м/с) та проводять спеціальні профілактичні заходи [6].

6. Шум. Шумом називають комплекс звуків, що сприймаються органом слуху людини незалежно від характеру та природи виникнення. Величина шуму характеризується двома показниками: рівнем звукового тиску та еквівалентним (за енергією) рівнем звуку. Рівень звукового тиску є показником постійного шуму на робочому місці і вимірюється в децибелах (дБ). Еквівалентний рівень звуку є показником переривчастого, імпульсного шуму на робочому місці та вимірюється в децибелах за шкалою "А" (дБ) [6].

Тривале вплив інтенсивного шуму може викликати зниження чутливості слухового апарату. Через слухову систему шум надає шкідливий впливом геть весь організм й у першу чергу на нервову систему людини, ще, виробничий шум заважає робочому зосередитися у виконанні роботи та знижує його працездатність.

Ефективним заходом ін. боротьбі з шумом є зниження їх у джерелі освіти, тобто. у машинах, механізмах тощо. Для зниження шуму в джерелі замінюють, наприклад, ударні процеси і механізми ненаголошеними, зубчасті і ланцюгові передачі на клинопасові, застосовують примусове мастило, прокладочні матеріали та пружні

вставки в з'єднаннях і т.п. Крім того, для боротьби з шумом в конструкцію обладнання вбудовують амортизуючі та звукозагасні пристрої. Як індивідуальні засоби захисту від впливу виробничого шуму використовують протишумні заглушки та навушники.

7. Вібрація. Вібрація – це коливальні процеси, що відбуваються в механічних системах. Насправді вібрацію характеризують за двома параметрами: коливальної швидкістю, тобто. максимальним переміщенням крапки, що коливається в секунду (виражається см/с), і інтенсивністю, тобто. кількістю повних циклів коливань за одиницю часу. За аналогією із шумом інтенсивність вібрації може вимірюватися децибелами [6].

Вібрацію поділяють на місцеву та загальну. Місцева вібрація спостерігається при обробуванні виливків пневматичними рубальними молотками. В умовах ливарного виробництва загальна вібрація утворюється при струсі підлоги та інших частин будівлі внаслідок ударної дії вибивних ґрат, пневматичних формувальних, відцентрових та інших машин.

Зниження вібрації до гранично допустимих рівнів досягається застосуванням віброгасних пристроїв, що амортизують, і пристосувань, систематичним ремонтом пневматичного інструменту, використанням віброзахисних рукавиць, а також заміною рубальних молотків електричними інструментами обертальної дії (абразивними верстатами з гнучким валом та ін.). Ці заходи одночасно знижують рівні вібрації та шуму.

4.1 Правила безпеки при прокатному виробництві [6]

4.3.1 Прокатні стани (загальні вимоги)

4.3.1.1 При необхідності переходу через головний з'єднувальний вал кожної кліти прокатного стану (далі - стан) повинні встановлюватися перехідні містки з огорожею. На безперервних станах замість окремих

містків через сполучні вали кожної кліті допускається влаштування одного суцільного містка вздовж усіх клітей, зі сходами для спуску до кожної з клітей.

4.3.1.2 Усунення несправностей вузлів та механізмів станів під час прокатки металу забороняється.

Непрацюючі калібри валків повинні закриватися щитами

4.3.1.3 Перевірка калібрів зазору між валками, а також положення проводок повинні проводитися за допомогою відповідного оснащення.

Регулювання зазору між валками на станах, що будуються знову, повинна бути механізована.

4.3.1.4 Замір профілю металу, що прокочується на ходу стану, повинен проводитися тільки дистанційно з використанням відповідних вимірювальних приладів.

4.3.1.5 У процесі прокатки необхідно стежити за станом кінця розкату, що задається на вході в кліть.

4.3.1.7 При ручному завданні металу у валки клещі вальцівника повинні відповідати сортаменту металу, що прокочується, і бути в справному стані [6].

4.3.1.8 Конструкція підйимально-хитних столів повинна виключати можливість падіння з них металу, що прокочується.

Для запобігання травмуванню працівників бічні поверхні, що працюють, підйомно-хитних столів повинні бути обшиті листовим металом. При верхньому положенні столу обшивка не повинна бути вищою за плитовий настил робочого місця.

4.3.1.9 Для ремонту та оглядів механізмів під підйомно-хитними столами повинні бути влаштовані прямки з похилими сходами.

У випадках коли влаштування прямиків з похилими сходами неможливе, допускається пристрій - столів колодязів, що гойдаються, з вертикальними сходами або скобами.

4.3.1.10 Під час огляду та ремонту механізмів, розкладених підлога столами, що підіймаються - коливаються, стан повинен бути зупинений, а стан, що підіймається - коливається, - надійно закріплений.

4.3.1.11 Проміжки між роликami рольгангів, за винятком робочих рольгангів у блюмінгів та слябінгів, мають бути перекриті.

4.3.3 Кульопрокатні стани.

4.3.3.1 Усі роботи з розвантаження, переміщення та подачі заготовки на завантажувальні грати нагрівальної печі, а також роботи з навантаження готових куль повинні бути механізовані.

4.3.3.2 На робочих місцях вальцівників має бути встановлений пристрій аварійного відключення механізму подачі заготівлі до приймального жолобу у небезпечних випадках.

4.3.3.3 Приймальний жолоб стану повинен бути обладнаний пристроєм, що запобігає викиданню заготовки з жолоба.

4.3.3.4 При прокатуванні укорочених заготовок для вальцівників повинен передбачатися спеціальний робочий майданчик, розташований поза зоною скочування заготовок. Завдання укорочених заготовок у валки повинне проводитися за допомогою надставок необхідного розміру.

4.3.3.5 Зміна верхньої проводки стану повинна виконуватися за допомогою пристосування, що унеможливорює її раптове падіння.

4.3.3.6 Під час аварійної зупинки елеватора повинен бути зупинений стан та перекрито подачу води в завалочну яму

Ремонт елеватора повинен виконуватись після охолодження куль відповідно до вимог технологічної інструкції.

4.3.3.7 Конструкція елеватора, а також фундаменту ями завалки повинна виключати можливість зависання куль.

4.2 Промислова екологія

ПРАТ «Камет-Сталь» – металургійне підприємство в м. Кам'янське, що входить до складу групи Метінвест [6]. Виробляє чавун, сталь, прокат, використовує доменний, сталеплавильний і прокатний цехи. Підприємство активно модернізує виробництво та впроваджує екологічні ініціативи.

Метінвест – міжнародна вертикально інтегрована гірничо-металургійна група, одна з найбільших в Україні. Займається видобутком залізної руди, вугілля, виробництвом сталі та прокату. Інвестує в екологічну модернізацію, скорочення викидів та енергоефективність.

Головні забруднюючі речовини - вуглекислий газ, оксиди сірки, азоту, радіоактивні сполуки

Безумовно, будь-яке виробництво має шкідливий вплив на довкілля. Але завдяки екологічним заходам рівень викидів не перевищує допустимих норм. На підприємстві ПРАТ «Камет-Сталь», та в групі Метінвест велика увага приділяється охороні навколишнього середовища [11]. Щороку на підприємствах Групи розробляють і реалізують екологічні програми, мета яких – зменшити вплив на довкілля. На додаток до традиційних екологічних заходів підприємства впроваджують нові технології, що дозволяють запобігти утворенню забруднень і використовувати відпрацьовані ресурси для повторної переробки. У 2024 році «Метінвест» інвестував близько \$670 млн у модернізацію своїх українських підприємств, незважаючи на воєнні ризики. Компанія має стратегію екологічної модернізації вартістю 8 млрд євро, яка буде реалізована після завершення війни. Прикладом екологічних ініціатив є завершення масштабної модернізації аглофабрики ММК імені Ілліча, що дозволило знизити викиди пилу до європейських стандартів.

«Метінвест» також реалізує програми з утилізації та переробки відходів, спрямовані на зменшення негативного впливу на довкілля. Загалом «Метінвест» активно працює над зменшенням екологічного впливу своїх підприємств, впроваджуючи сучасні технології та інвестуючи в екологічні проекти.

Підприємство споживає (переробляє) величезну масу сировини та напівфабрикатів, серед яких залізна руда, вапняк, кам'яне вугілля для отримання коксу та готовий кокс, вогнетриви або сировина для їх виробництва, металобрухт тощо. На жаль, поки що не можна назвати металургійне виробництво повністю безвідходним, певна частка матеріалів, що надійшли на підприємства, після переробки виявляється в числі відходів виробництва.

При роботі цехів та ділянок металопрокатного заводу відбувається виділення наступних забруднюючих речовин:

- у сталі плавильному цеху електropечі виділяються відгони металу та його оксиди, оксиди сірки та азоту, фтористий водень, аміак, іони хлору, графітовий пил, фтористий кальцій, хлористий барій;

- у заготівельному відділенні виділяються зварювальний аерозоль, оксиди марганцю, оксид вуглецю, оксиди азоту;

- у складі, де розташоване сховище природного газу, використовуються лакофарбові матеріали, що виділяють ксилол та уайтспірит;

- у відділенні для позапічної обробки сталі виділяються пил, оксид вуглецю, оксиди азоту, оксиди сірки, фториди;

- у сталеливарному відділенні (УНРС) виділяються пил, оксид вуглецю, оксиди азоту, оксиди сірки, фториди та пари води;

Кількість і склад газів, що відходять, визначаються низкою факторів:

- наявністю або відсутністю палива, склад якого визначає склад газів, що відходять;

- використанням кисню (у міру заміни повітря киснем у газах,

що відходять, зменшується вміст азоту);

- підсмоктуванням повітря через нещільності та щілини;
- специфікою процесу (наприклад, у разі продування металу аргоном у газах, що відходять, буде аргон);
- ступенем допалювання CO та CO₂.

Як правило, гази, що відходять, містять CO, CO₂, H₂O і N₂, а також деяку кількість NO, SO і O₂. Пиловікиди складаються в основному з оксидів заліза. Крім пилогазових викидів у процесах виробництва стали утворюються шлаки (залежно від технології у кількості 10-20 % від маси металу) [11].

Для знешкодження промислових викидів застосовується кілька способів: промивання викидів розчинниками домішки (метод абсорбції) або розчинами реагентів, що хімічно зв'язують шкідливі речовини (метод хемосорбції); поглинання газоподібних домішок твердими активними речовинами (метод адсорбції) або за допомогою каталізаторів.

Метод абсорбції полягає у поділі газоповітряної суміші на складові частини шляхом поглинання одного або декількох газових компонентів поглиначем (абсорбентом) з утворенням розчину. Використовується цей метод за значних концентрацій (від 2 до 20 г/м³) шкідливих домішок. Як абсорбент в основному служить вода, рідше водні розчини кислот або в'язких масел [11].

Метод хемосорбції заснований на поглинанні газів і парів твердими та рідкими поглиначами з утворенням малолетких та малорозчинних хімічних сполук. Використовується для знешкодження деяких специфічних домішок та у ливарному виробництві зустрічається рідко [11].

Метод адсорбції базується на властивостях деяких твердих тіл, селективно витягувати окремі компоненти з газової суміші і концентрувати їх на своїй поверхні. Як адсорбент найбільш широко застосовується активоване вугілля, за допомогою якого можна видалити, наприклад, двоокис сірки з гарячих технологічних газів [11].

Основними шляхами утилізації шлаків сталеплавильного виробництва є:

- вилучення металу;
- отримання залізофлюсу для вагранок та аглодоменного виробництва;
- отримання щебеню для дорожнього та промислового будівництва;
- використання основних шлаків як вапняних добрив для сільського господарства;
- використання фосфоровмісних шлаків для отримання добрив для сільського господарства;
- вторинне використання кінцевих шлаків.

На металургійних заводах утворюються мільйони тонн шламів. Основна маса шламів утворюється в процесі уловлювання та осадження технічних та аспіраційних викидів пилу. За джерелами освіти залізовмісні шлами чорної металургії поділяють на агломераційні, доменні, сталеплавильні та окалиновмісні.

Сталеплавильні шлами поділяються на шлами газоочисток, конвертерів, мартенівських та електросталеплавильних печей. Основним напрямом раціонального використання шламів є утилізація їх як добавка до агломераційної шихти. Підготовка шламів включає згущення, фільтрування та термічне сушіння.

Механічне зневоднення (згущення) шламів фільтруванням або центрифугуванням забезпечує зниження вологості шламу до 15-25%. В результаті введення в агломераційну шихту згущених шлаків, що володіють підвищеними в'язучими властивостями, покращується обгортання шихти, проте транспортування таких шламів призводить до забруднення території заводу, обладнання та приміщень [11].

У сталеплавильному виробництві стічні води утворюються в процесі очищення газів мартенівських печей, конвертерів, дугових печей, при охолодженні та чищенні виливниць, на установках

безперервного розливання. Розміри частинок пилю стічних водах від 0,01 до 0,1 мм при концентрації (залежно від умов роботи) від 3 до 20 г/л.

Заходи боротьби з забрудненням водних басейнів розробляються переважно виробничих стічних вод (ПСВ). У ливарних цехах виробничу воду витрачають на охолодження обладнання, гідрорегенерацію піску, очищення вентиляційного повітря, ваграночних газів, грануляцію шлаків, для транспортування відпрацьованих сумішей, приготування барвників, формувальних та стрижневих сумішей, гідравлічної та електрогідравлічної виливки тощо.

Для очищення ПСВ застосовуються механічні, хімічні, фізико-хімічні, термічні та комбіновані методи. Механічним методом очищають води від грубодисперсних домішок та олій. Для цього використовують різні апарати: відстійники, ґрати, пісковловлювачі, фільтри, гідроциклони, центрифуги і т.п. Для нейтралізації лужних стічних вод застосовують добавки кислоти, зазвичай сірчаної. Нейтралізацію кислих стічних вод можна здійснити практично будь-якою основою або лугом, але найдешевшою є вапнякове молоко. Стічні води з невеликою кількістю домішок очищають методами сорбційними, іонітовими, електродіалізу та ін. Як сорбенти використовують активоване вугілля та двоокис марганцю, але частіше різні іонообмінні смоли.

Використовується значне число технологій утилізації відходів.

Термічні технології застосовні для утилізації будь-яких видів твердих, розчинних, рідких та газоподібних відходів. Суть методу полягає у термічній обробці матеріалів високотемпературним теплоносієм, тобто. продуктами згоряння палива (плазмовий струмінь, розплав металу або оксиду, НВЧ нагріванням відходів) контактним та безконтактним способом. Термічний метод дозволяє знешкоджувати будь-які хімічні сполуки за високих температур в окислювальному чи відновлювальному режимі з подачею повітря, кисню, водню чи інших

газів, тобто. є можливість регулювати параметри знезараження будь-якої речовини (сполуки) [11].

Плазмохімічний метод переважно застосувати для знезараження важкогорючих і негорючих сполук. Принцип роботи плазмохімічної установки: в струмінь низькотемпературної плазми (понад 3000K) подається вихідна речовина в рідкому, пастоподібному або порошковому вигляді. Воно в реакторі розкладається до атомів, молекул та іонів. Плазмообразующий (водень, азот, кисень) газ забезпечує поява оксидів, з'єднання галогенів з воднем, нейтральних молекул і атомів, тобто. той склад, який утворюється відповідно до термодинамічних параметрів процесу. Необхідно чітко уявити, що на відміну від спалювання відходів у топці (у суміші з топковими газами та повітрям) плазмовий процес суворо регулюється за тиском, температурою та складом газу. У цьому однією з умов процесу є загартування газу, тобто. різке зменшення до 1000K в секунду температури газу, щоб не допустити вторинного утворення небажаних з'єднань. Для знищення 1 кг відходів необхідно до 3 кВт·год енергії [11].

Основні напрямки охорони навколишнього середовища:

1) Комплекс заходів щодо обмеження шкідливих викидів та відходів (очищення стічних вод від домішок, очищення газових викидів від шкідливих речовин, розсіювання шкідливих викидів в атмосфері, поховання токсичних та радіоактивних відходів).

2) Розробка таких технологічних процесів, що забезпечують безвідходне виробництво. Основні етапи розробки безвідходної технології: розробка способів та обладнання для переробки всіх відходів виробництва (включаючи гази, що йдуть, та пил); розробка технологій, що забезпечують використання водообігового циклу, відсутність стічних вод; створення територіально-виробничих комплексів (ТПК), що мають замкнуту структуру матеріальних витоків сировини, напівпродуктів та відходів усередині ТПК [11].

3) Розробка маловідходних технологій.

Проблеми зниження забруднень успішно вирішують шляхом створення мало- та безвідходних технологій у процесі вдосконалення виробництва. Крім того, промисловість вже має величезний досвід застосування багатьох видів відходів чорної та кольорової металургії, ливарного виробництва та інших галузей народного господарства як цінну сировину для виготовлення виробів та конструкцій. У зв'язку з цим у проектах ливарних цехів та заводів особлива увага має бути приділена створенню та впровадженню сучасних технологічних процесів, що відповідають вимогам та завданням охорони навколишнього середовища [11].

Висновки:

У розділі розглянуто систему заходів, спрямованих на забезпечення безпечних та здорових умов праці на дільниці кулепрокатних стана. Визначено основні шкідливі виробничі фактори, характерні для металургійного виробництва, такі як загазованість, запыленість, висока температура, променеве тепло, шум, вібрація, а також робота з обладнанням, що має рухомі та обертові механізми. Для кожного з них запропоновано конкретні заходи профілактики та захисту працівників відповідно до чинних санітарно-гігієнічних та технічних норм.

Окрему увагу приділено організаційним заходам: системі інструктажів, створенню безпечного робочого простору (БРП), впровадженню вентиляційних та охолоджуючих систем, а також застосуванню засобів індивідуального захисту. Забезпечення належних умов праці не лише сприяє збереженню здоров'я працівників, а й підвищує ефективність та стабільність виробничого процесу. Подальше удосконалення охорони праці передбачає автоматизацію небезпечних процесів, регулярну модернізацію обладнання та підвищення рівня виробничої культури персоналу.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження процесу виробництва сталевих мелючих куль методом поперечно-гвинтової прокатки. На основі аналізу сучасних технологій встановлено, що саме ця технологія є найбільш ефективною для виготовлення куль діаметром 100 мм, оскільки забезпечує високу якість продукції, зносостійкість та продуктивність.

Підприємство ПРАТ «Камет-Сталь» адаптувало існуючі кулепрокатні стани для виробництва куль нового розміру, що дозволило компенсувати втрату виробничих потужностей після зупинки ПРАТ «Азовсталь». Було розроблено відповідні технологічні режими, охоплюючи нагрів заготовки, формування кулі, гартування та відпуск, що забезпечують відповідність продукції вимогам ДСТУ 8538.

У спеціальній частині виконано:

- повний розрахунок калібрування валків для прокату кулі Ø100 мм;
- визначено оптимальні геометричні параметри гвинтового калібру з урахуванням деформації металу;
- проведено розрахунки продуктивності та енергосилових параметрів процесу, які підтверджують доцільність удосконалення технології.

У механічній частині розраховано міцність прокатного валка, що дозволило підтвердити його надійність у роботі при заявлених навантаженнях.

Охорона праці та екологічна частина охопила питання безпеки операторів під час роботи з нагрівальними печами, прокатними станами, а також заходи щодо зменшення пилових та газових викидів.

У економіко-організаційній частині обґрунтовано ефективність модернізації, розраховано зменшення втрат металу та збільшення

продуктивності, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність підприємства на ринку.

Загалом, проведене дослідження підтверджує доцільність удосконалення технології виробництва сталевих куль та доводить, що реалізація запропонованих технічних рішень забезпечує покращення економічних і технологічних показників виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горелов В. М. Прокатное производство. Учебник. – М. : Металлургия, 1989. – 352 с.
2. Кулі сталеві, що мелють. Технічні умови : ДСТУ 8538:2015. – [Чинний від 2016-01-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 15 с.
3. Перетятко Ю. А., Климова Л. М., Филиппова О. Ю. Методика калібрування валків кулепрокатного стану // *Металознавство та обробка металів тиском*. – 2012. – № 2. – С. 45–50.
4. Петров О. М., Бондаренко С. П. Основы теории прокатки : підручник. – Дніпро : НМетАУ, 2016. – 248 с.
5. Миронов Ю. Н. Теория и практика калибровки валков. – М. : Машиностроение, 2005. – 276 с.
6. ПРАТ «ПРАТ «Камет-Сталь» ». Технічна документація та інструкції з прокатки куль діаметром 100 мм. – Кам'янське : ПРАТ «Камет-Сталь» , 2023. – 38 с.
7. Федоров В. А., Шипунов А. С. Технология производства стальных мелющих шаров. – Челябинск : ЧГТУ, 2010. – 164 с.
8. Семенов С. В. Расчёт прочности валков прокатных станов. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2014. – 122 с.
9. Кочержинський С. А. (ред.) Збірник формул і довідкових даних з опору матеріалів. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 146 с.
10. А.К. Торговец, Ю.И. Шишкин, И.А. Пикалова. "Оборудование и проектирование металлургических цехов
11. Сперанский Б.С., Туманский Б.Ф. Охрана окружающей среды
12. Воскобойников В. Г, Кудрин В.А., А. М. Якушев. "Общая металлургия". М.: ИКЦ "Академкнига". 2002г.