

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка та оптимізація складу зносостійкої економлегованої сталі для
деталей гірничо-металургійного обладнання

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи ІФ232м

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

АЛЕКСЄЄВ В.В

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ШАЛОМЄЄВ В.А

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний факультет

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

АЛЕКСЄЄВ Вячеслав Вікторович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка та оптимізація складу зносостійкої економлегованої сталі для деталей гірничо-металургійного обладнання

керівник проєкту (роботи) професор, д.т.н ШАЛОМЄЄВ Вадим Анатолійович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20 ____ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18.12.2023

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) умови експлуатації МШР, вимоги до механічних властивостей

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Літературний огляд, матеріали та методика досліджень, експериментальна частина, охорона праці, економіко-організаційна частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ШАЛОМЄЄВ В.А професор, д.т.н		
2	ШАЛОМЄЄВ В.А професор, д.т.н		
3	ШАЛОМЄЄВ В.А професор, д.т.н		
4	КРУГЛІКОВА В.О, доцент, к.т.н		
5	НЕСТЕРОВ О.В., доцент, к.т.н		
НК			

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд		
2	Матеріали та методика досліджень		
3	Експериментальна частина		
4	Економіко-організаційна частина		
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		

Студент(ка)

_____ Вячеслав АЛЕКСЄЄВ _____
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Вадим ШАЛОМЄЄВ _____
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 88 с. 15 табл., 15 рис., 1 додатків, 24 джерел.

ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ, МЛИНИ КУЛЬОВОГО РОЗМЕЛЮВАННЯ ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ЕКОНОМНОЛЕГОВАНА СТАЛЬ, ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МІКРОСТРУКТУРА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

Об'єкт дослідження: економнолеговані сталі для виготовлення млинів кульового розмелювання.

Метою даного дипломного проєкту є розробка та оптимізація складу зносостійкої економлегованої сталі для виробництва деталей гірничо-металургійного обладнання.

Робота включає аналіз властивостей економлегованої сталі, експериментальне випробування різних складів матеріалу та оптимізацію його складу з урахуванням вимог до зносостійкості та економічної вигоди. Очікується, що результати дослідження сприятимуть підвищенню ефективності та конкурентоспроможності гірничо-металургійного виробництва.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналітичний огляд	9
1.1 Аналіз сталей призначених для виготовлення для деталей гірничо-металургійного обладнання	9
1.1.2 Сталь Гадфільда для деталей гірничо-металургійного обладнання....	10
1.1.2 Сталі, які використовуються для деталей гірничо – металургійного обладнання.....	14
1.2 Вплив легувальних елементів на властивості економнолегованих сталей	17
1.3 Вплив термічної обробки на зміну структури і властивостей сталей для деталей гірничо-металургійного обладнання	22
2 Матеріали та методика досліджень	26
2.2 Механічні властивості та зносостійкість.....	26
2.3 Металографічний і фрактографічний аналізи.....	27
2.4 Гранулярність структури і прожарюваність сталі.....	29
3 Розробка, дослідження та оптимізація складу зносостійкої економнолегованої сталі.....	30
3.1 Умови роботи, причини виходу з ладу та аналіз технології виробництва швидкозношуваних деталей МШР.....	30
3.2 Вплив вуглецю, хрому, марганцю і кремнію на властивості сталі.....	36
3.3 Оптимізація складу зносостійкої економнолегованої сталі	45
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	47
4.1 Аналіз потенційних небезпек	47
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	48
4.3 Заходи з виробничої санітарії	52
4.4 Заходи з пожежної безпеки	53
4.5 Заходи безпеки в умовах надзвичайних ситуацій	55

	6
5 Економіко-організаційна частина.....	60
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу	60
5.2 Послідовний аналіз	61
5.3 Розрахунок економічного ефекту при впровадженні результатів НДР	70
Висновки	75
Перелік джерел посилань	76
Додаток А.....	78

ВСТУП

Під час переробки руди в гірничодобувній промисловості широко застосовуються млини кульового розмелювання (МШР), що виконують основну роботу в технологічному процесі подрібнення руд. Литі деталі млинів працюють у важких умовах гідроабразивного зносу, що поєднується з ударними навантаженнями.

Як правило, термін служби будь-якого обладнання або машини залежить від довговічності лише кількох відповідальних деталей, які в процесі експлуатації піддаються зносу, і тому для забезпечення надійної та економічної роботи обладнання основну увагу слід приділяти підвищенню стійкості саме таких деталей.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що простої МШР за рахунок низької стійкості литих деталей становлять 70...80 % від загального числа простоїв, при цьому матеріальні збитки обчислюються сотнями тисяч рублів. Одними з найслабших вузлів цих млинів є розвантажувальні решітки і черпаки равликового живильника, стійкість яких досягає відповідно 5,5...6 місяців і 1,0...1,5 місяця, за ресурсу роботи інших деталей млина 9...12 місяців. Наразі ці виливки виготовляють зі складнолегованих литих сталей, які містять такі дефіцитні й дороговартісні елементи, як нікель, молібден та інші, що також знижує економічні показники промислового виробництва.

Останніми роками для підвищення ефективності використання сталевих литва у вітчизняній науці та техніці все більше уваги приділяється застосуванню високоміцних економнолегованих сталей. Легування і модифікування в поєднанні з термічною обробкою дає змогу істотно змінити властивості сталі, зокрема і її схильність до різних видів крихкого руйнування. За складного багатокомпонентного легування і модифікування необхідно враховувати взаємодію елементів зі шкідливими домішками і газами.

У зв'язку з вищевикладеним, мета цієї роботи полягала в розробці складу і технології виробництва економнолегованої сталі, що має високі фізико-механічні та експлуатаційні властивості.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Аналіз сталей призначених для виготовлення для деталей гірничо-металургійного обладнання

Деталі гірничо-металургійного обладнання, яке використовується для подрібнення, компактування та транспортування залізорудної сировини, шихтувальних матеріалів доменного та сталеплавильного виробництва, а також інших матеріалів, є піддані інтенсивному абразивному впливу різного характеру. Це призводить до їх руйнування та передчасного виходу з ладу [1-3]. Такий вплив негативно впливає на продуктивність у виробничому циклі, призводячи до зниження ефективності роботи обладнання.

Внаслідок великих періодів виходу з ладу цих деталей та необхідності проведення ремонтних пауз, проблема підвищення довговічності виробів та деталей, які функціонують в умовах інтенсивного абразивного зношування, є важливим завданням в сучасній матеріалознавстві. За результатами аналізу вивчених робіт [3-9] визначено, що на сьогоднішній день для виробів та деталей, які експлуатуються в умовах інтенсивного абразивного впливу, в основному використовуються дві групи сталей та сплавів.

Високохромисті сталі і чавуни, такі як X12, X12M, 30-40X13, X12Ф1, X12МФ та інші, володіють високою стійкістю до зношування завдяки наявності в їхній структурі карбідів, таких як Me_3C , Me_{23}C_6 , Me_7C_3 . Оскільки карбідні фази мають підвищену крихкість, ці матеріали використовуються переважно для виготовлення зносостійких виробів та деталей, які не піддаються значним ударним навантаженням.

Марганцеві сталі і сплави, такі як 110Г13Л, 100Г13ХБРЛ, 110Г13ФТЛ, 130Г14ХМФАЛ, 120Г10ФЛ, 80ГСЛ, 75Г2 та інші, відзначаються високою ударно-абразивною зносостійкістю. Проте при інтенсивному масованому впливі твердих частинок їхній рівень абразивної стійкості може не відповідати умовам експлуатації виробів і деталей, виготовлених з цих матеріалів.

Для виготовлення деталей, оброблених на високу міцність, найбільш широке застосування мають сталі 30ХГСА, 30ХГСНА, 35ХГСА, а також використовуються сталі 30ХГТ, 20ХГНМ, 45ХНМФА

У [3-9] вказано, що поєднання високого рівня абразивної та ударно-абразивної зносостійкості в залізовуглецевих сплавах може бути досягнуто за допомогою їхнього спільного легування хромом і марганцем. Таким чином, проведені дослідження особливостей структуроутворення сплавів на основі систем Fe – C – Mn та Fe – C – Mn – Cr з низьким вмістом вуглецю (до 2,2 %) визначили напрями подальшого використання отриманих результатів для розробки зносостійких матеріалів, які експлуатуються в умовах абразивного та ударно-абразивного впливу.

1.1.1 Сталь Гадфільда для деталей гірничо-металургійного обладнання

Сталь Гадфільда широко використовують як конструкційний матеріал деталей гірничо-збагачувального матеріалу деталей гірничого та збагачувального обладнання, що працює в умовах інтенсивного абразивного та ударно-абразивного зносу (футерування кульових млинів, "щоки" дробарок, «зуби» ковшів екскаваторів). Разом з тим відомо, що ця сталь має високу ерозійну стійкість тільки за умови інтенсивного наклепу, що має місце під час роботи деталі в умовах значних напружень і динамічних навантажень. Так футерування відцентрових дробарок, виготовлені зі сталі Гадфільда, здатні витримати розмелювання до 2000 - 4000 т твердого граніту, внаслідок наклепу, що виникає внаслідок удару граніту об поверхню футерування. Щоки щоківних дробарок, при роботі з такими ж твердими породами, наклепуються до твердості 500 НВ (гранична твердість, що досягається сталлю 110Г13Л ~ 600 НВ [10]), підвищення твердості, у свою чергу, зменшує інтенсивність зносу щік. За відсутності значних напружень і динамічних навантажень будь-якою

помітною перевагою в ерозійній стійкості (порівняно зі звичайною середньовуглецевою сталлю) сталь Гадфільда не має. Наприклад, біла для розмелювання вапна і скріпки установки для помелу піску з цієї сталі дуже недовговічні. Не відбувається помітного наклепу футерувальних плит зі сталі 110Г13Л і при роботі кульових млинів, коли помольні тіла впливають на футеровку тільки через шар породи [10].

Термін «абразивне зношування» застосовується для позначення зношування деталей машин, що викликається дією неметалевих твердих тіл, зазвичай твердих мінеральних частинок, що рухаються відносно поверхні деталі. Під час служби деталей машин зустрічаються найрізноманітніші умови, що визначають вплив таких твердих тіл на метал. Тертя металевої деталі може відбуватися об тверде тіло, однорідне за складом (наприклад, руда) або таке, що являє собою масу твердих частинок, зцементованих у монолітне тіло (піщаник), або неоднорідне тіло, в яке включені тверді мінеральні вкраплення (тверда порода у вугіллі). Тверді частинки, що зношують метал, не будуть у цих випадках переміщатися відносно одна одної, вдавлюватися в основу або перекочуватися; вони залишатимуть на металі слід у вигляді видавленої або вирізаної подряпини. Такі випадки абразивного зношування постійно зустрічаються при терті металу об тверді гірські породи або руду об вугілля, що містить породу, під час різання вельми міцного або мерзлого ґрунту; зокрема, вони трапляються під час роботи зубів ковшів екскаваторів і драг, рештаків скребкових конвеєрів та інших транспортних механізмів, у яких переміщувані шматки твердих порід ковзають по металу, інструментів, що обробляють гірські породи, тощо. У всіх цих випадках зношувальну дію здійснюють мінерали, більш твердіші, ніж метал, і тому можуть його дряпати, або окремі тверді частинки мінералів, закріплені в менш твердій, але досить міцній основі [10].

Умови прояву ударно-абразивного зношування вельми різноманітні. Цей вид зношування розвивається на плоских і сферичних поверхнях контакту, що здійснюють удар по абразивних або інших твердим частинкам.

Крім того, пряме динамічне впровадження твердих частинок у поверхню контакту можливе під час кочення циліндра і кулі по плоскою циліндричною і сферичною поверхнями. Мікрорельєф поверхні футерування за результатом дії ударно-абразивного викришування наведено на рис. 1.1

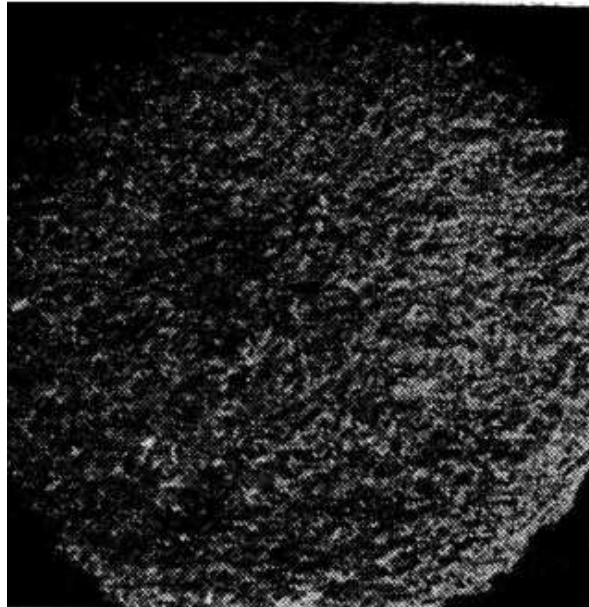
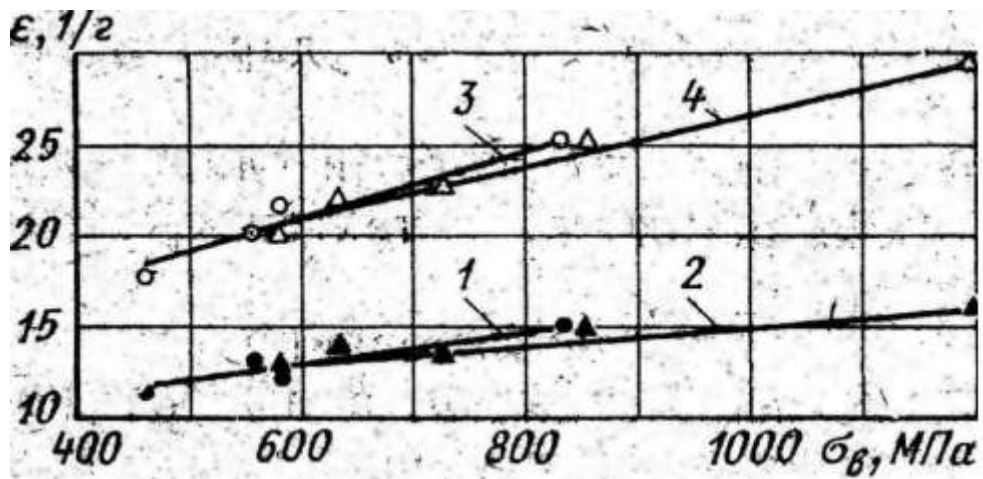


Рисунок 1.1 - Макрорельєф поверхні при ударно-абразивному зношуванні

Тверді частинки, що викликають при ударі по них ударно-абразивне зношування, можуть бути різного походження. Зазвичай це мінеральні абразивні частинки, більш тверді, ніж поверхня деталі, вільно розташовані в зоні контакту або перебувають у зв'язці моноліту. Ударно-абразивне зношування можуть спричиняти тверді металеві частинки, що потрапляють у зону контакту або ті, що утворюються в ній під час динамічної взаємодії металевих пар; мається на увазі вифарбовування карбідів з армованих поверхонь, утворення твердих частинок унаслідок окрихчування при наклепу і викришування в процесі ударно-штампових операцій [9]. У літературі не виявлено прямих відомостей про вплив наклепу на зносостійкість матеріалів при ударно-абразивному зношуванні. Але є відомості про вплив на зносостійкість границі міцності матеріалу (рисунок 1.2)



1, 2 – 10 Дж; 3, 4 – 5 Дж

Рисунок 1.2 - Вплив границі міцності σ_B аустенітної сталі 110Г13Л на її зносостійкість за енергії удару її зносостійкість за енергії удару

Вигляд поверхні футерування зі сталі Гадфільда кульового млина, після експлуатації, представлений на рис. 1.1. Як можна зробити висновок із порівняння рис. 1.3 вигляд представлених поверхонь ідентичний.



Рисунок 1.3 - Поверхня футерування зі сталі Гадфільда після експлуатації в кульовому млині

Ця обставина дає змогу зробити висновок, що під час роботи кульового млина по магнетиту ударно-абразивне зношування є домінуючим.

Він виникає в місці контакту куля - подрібнювана порода - футерування, тобто куля передає енергію удару від свого падіння на породу, яка за рахунок переданої їй енергії впроваджується зовнішнім абразивним шаром у поверхню футерування. Для здійснення такого процесу необхідно, щоб абразивні частинки породи були більш тверді, ніж поверхня футерування. У разі магнетиту ця умова дотримується (570HV порівняно з порівняно з 240 HV для сталі Гадфільда) [11].

1.1.2 Сталі, які використовуються для деталей гірничо – металургійного обладнання

Для виготовлення деталей, що обробляються на високу міцність, найширше застосування мають сталі 30ХГСА, 30ХГСНА, 35ХГСА широке застосування мають сталі 30ХГСА, 30ХГСНА, 35ХГСА, а також використовуються сталі 30ХГТ, 20ХГНМ, 45ХНМФА (ГОСТ 4543). Зносостійкою є хромокремніста сталь 33ХС. Крім цього, сталь відмінно чинить опір змінним навантаженням, тому з неї в основному виготовляють невеликі та середні деталі пружинного типу з високою міцністю [12].

З метою підвищення зносостійкості робилися спроби використовувати хромисті сталі типу ХФ, ХГ, ШХ15, Х6Ф1, Х12Ф1, але не отримали очікуваних результатів, тому що не окупалася вартість самого виробу.

Зносостійкі сталі широко застосовуються в гірничошахтній промисловості. До сталей, що використовуються для виготовлення гірничошахтного обладнання (механізовані кріплення, прохідницькі та очисні комбайни, конвеєри, перевантажувачі, дробарки вугілля та тощо), висуваються вимоги, схожі з вимогами, що пред'являються до сталей для робочих органів ґрунтообробних машин: границя плинності не менше 600 МПа, підвищена зносостійкість і надійність під час експлуатації.

Легована високоміцна зносостійка зносостійка сталь марки 14ХГ2САФД застосовують для конструкцій кріплень шахт.

Сталь 30ХГСА (хромансиль") містить такі легувальні елементи: хром, марганець, кремній близько 1%, сірка - менш як 0,025%, а вуглецю - близько 0,3% [11].

Хром підвищує твердість і стійкість до корозії, кремній підвищує міцність, але може знижувати температурний запас в'язкості та ударну в'язкість, марганець збільшує стійкість до ударних навантажень. Переваги сталі 30ХГСА порівняно з іншими марками: висока міцність, зварюваність, відносна дешевизна, оскільки в її складі немає дорогих легувальних елементів.

Останніми роками було отримано нові марки сталей із цінними властивостями - 20ХГСН2МФА, 30ХГСН2А, ВКС-6, ВКС-9, ВКС-12 тощо. Це високоміцні середньолеговані сталі, що зміцнюються загартуванням і відпусткою, які рекомендуються для відповідальних силових деталей машин, можуть використовуватися для виготовлення високонавантажених деталей сільгосптехніки, однак для виготовлення лемешів, відвалів, лап культиваторів тощо перераховані сталі занадто дорогі. За кордоном для виготовлення швидкозношуваних деталей сільськогосподарської техніки найчастіше використовують зносостійкі сталі Raex, Domex, Hardox, Weldox шведської компанії SSAB і німецької компанії ThyssenKrupp AG. Сталі Raex призначені для застосування в автопромисловості, системах підйому важких конструкцій, транспорті та гірничому видобутку, де необхідні високоміцні та зносостійкі сталі [12].

Виробник рекомендує застосовувати їх для виготовлення ріжучих деталей землерийних машин, ковшів і контейнерів, несучих компонентів машин для гірничого видобутку, несучих частин установок для перемішування бетону і машин для деревообробки, для виготовлення кузовів самоскидів. Ці сталі характеризуються вмістом вуглецю від 0,18 до 0,30 %, відносно високим вмістом марганцю в кількості до 1,7 %, нікелю до 0,80 %. Усі сталі Raex містять бор. Такий хімічний склад забезпечує межу плинності

від 900 до 1250 МПа, тимчасовий опір від 1000 до 1600 МПа, відносне подовження від 8 до 11 %.

На жаль, виробник не вказує рівень твердості та ударної в'язкості для цих сталей. Переважно, сталі Raex поставляють у листах товщиною до 20-30 мм, вуглецевий еквівалент таких сталей становить 0,42-0,57 %.

За необхідності поставок великої товщини допускається збільшення вуглецевого еквівалента до 0,66 % [12].

Для сталей Domex характерний вміст вуглецю від 0,20 до 0,42%, вміст кремнію не перевищує 0,40%. Сталі не леговані нікелем і молібденом, проте містять бор, вміст марганцю може варіюватися від 1,10 до 1,50 %, а вміст хрому від 0,10 до 0,60 %. За даними виробника SSAB рівень тимчасового опору після загартування у воду може досягати значень 1580-2050 МПа залежно від обраної композиції легування, а при гартуванні в масло значення тимчасового опору на 100-150 МПа нижчі. Рекомендована температура гартування 840-900°C. Межа плинності та відносне подовження в наведено тільки для гарячекатаного і відпаленого стану і становлять приблизно 280-400 МПа і 19-30 % відповідно [11-12].

Марка Hardox - визнаний лідер на світовому ринку зносостійких сталей.

Завдяки високій твердості поверхні сталь ефективно протистоїть більшості видів зносу. Виробник - фірма SSAB та її дилери позиціонує цей продукт як надзвичайно стійкий до будь-яких видів зносу: при терті та ударі, при терті ковзання, до деформаційного зносу. Введення таких легувальних елементів, як нікель, хром, марганець і молібден, допомагає значно підвищити механічні властивості сталі Hardox після гартування.

Сталь має шість класів твердості: Hardox 350, 400, 450, 500, 550, 600 (число в найменуванні означає твердість за Бріннелем).

Сталі марки Weldox характеризуються низьким вмістом вуглецю від 0,20 до 0,25 %, відносно високим вмістом нікелю в кількості від 2 до 3 % і жорсткими вимогами до вмісту шкідливих домішок - сірки і фосфору, причому вимоги тим жорсткіші, чим вищий рівень міцності сталі (для Weldox 1100 і

Weldox1300 вміст сірки не повинен перевищувати 0,005 %). Сталі з границею плинності 700-900 МПа мікролеговані V і Nb. При підвищенні міцності сталі виробник зменшує дозволений вміст міді з 0,30 до 0,10%. Усі сталі Weldox мікролеговані бором. Крім того, всі модифікації цих сталей можуть використовуватися при негативних температурах, про що свідчать результати випробувань на ударний вигин, що показують не менше ніж 27-69 Дж за температури -40°C . Регламентовано підвищення вуглецевого еквівалента для виробництва листового прокату в товщинах понад 50 мм [12].

Аналіз хімічного складу зносостійких сталей зарубіжного та вітчизняного виробництва вітчизняного виробництва показує, що для виготовлення робочих органів сільськогосподарських машин застосовують середньовуглецеві сталі застосовують середньовуглецеві сталі, леговані кремнієм, марганцем, хромом, рідше нікелем, молібденом і міддю, бором і мікролеговані карбонітридоутворювальними елементами. Зарубіжні сталі відрізняються широким спектром марок (залежно від умов застосування), більш суворими вимогами щодо вмісту шкідливих домішок (S, P), і складними композиціями мікролегуювання. Практично всі зарубіжні зносостійкі сталі містять бор. Для відповідальних деталей застосовуються зносостійкі сталі, леговані нікелем і молібденом [13].

1.2 Вплив легувальних елементів на властивості економнолегованих сталей

Високий рівень міцності ($\sigma_{0,2} > 1000$ МПа) за економічної системи легування забезпечується в середньовуглецевих сталях із мартенситною структурою після низького відпуску. Міцність мартенситу (у сталі зі 100% вмістом мартенситу) практично визначається кількістю вуглецю вміст якого понад 0,5% небажаний, оскільки призводить до різкого зниження в'язкості.

Вуглець, з одного боку, підвищує опір пластичній деформації і опір зрізу, але з іншого боку, різко знижує опір відриву і підвищує чутливість до надрізу. Тривалий відпуск за низьких температур слабо впливає на опір сталі пластичній деформації, але помітно зменшує чутливість до надрізу і підвищує опір відриву [13].

Легувальні елементи, не надаючи помітного впливу на міцність мартенситу, визначають прогартованість сталі, тобто об'ємну частку мартенситу при фіксованій швидкості охолодження. Так, марганець, молібден і хром, підвищуючи прогартованість, дають змогу отримувати сталь зі 100% мартенситу при зниженні швидкості охолодження. Максимальний ефект подібного роду надає відносно недорогий бор, який при малому вмісті в сталі (тисячні частки відсотка) різко розширює діапазон швидкостей охолодження, в якому формується 100% мартенситна структура. Оптимальна кількість бору, що викликає найбільше збільшення прогартованості конструкційної сталі внаслідок гальмування дифузійних перетворень, визначається її складом і за даними різних авторів варіюється в межах 0,0003-0,01% [14].

Крім того, часто для легування середньовуглецевих сталей застосовується кремній, який ускладнює формування цементиту при наближенні до температури початку мартенситного перетворення, утримуючи вуглець у твердому розчині, що зберігає стабільність аустеніту. Однак вказується, що застосування кременистих сталей для деталей з тонкою ріжучою кромкою небажано, тому що ці сталі схильні до знеуглецювання. Кремній також негативно впливає на ударну в'язкість і пластичність сталі.

Нікель і мідь у сумі до 1,5% вводяться з метою забезпечення в'язкості середньовуглецевої сталі, причому, чим вища нормована границя плинності, тим вищим має бути вміст цих легувальних елементів. Вплив мікролегувальних добавок проявляється в основному у твердому стані при утворенні розчинів впровадження або заміщення, впливі на ступінь дисперсності зерен і неметалевих включень, на будову меж зерен, субструктуру і нейтралізацію впливу шкідливих домішок. Титан, ніобій і

ванадій є в цьому відношенні найкращими елементами, оскільки титан і ніобій сприяють запобіганню росту аустенітного зерна під час нагрівання, а ванадій стабілізує дислокаційну структуру під час відпустки. У загартованому стані дислокаційна структура мартенситу являє собою тривимірну сітку, складену з дислокаційних клубків, щільність дислокацій у яких становить $(1-2) \times 10^{15} \text{ м}^{-2}$. За такої щільності дислокацій і заданої концентрації карбідоутворювального елемента на кожному сегменті тривимірної дислокаційної сітки під час відпуску можуть утворюватися передвиділення найдрібніших частинок карбідів, які здатні ефективно стабілізувати дислокаційну структуру, підвищуючи характеристики міцності без зниження в'язкості. Аналіз літературних джерел показав, що мінімальна швидкість охолодження, за якої в сталях утворюється мартенсит, залежить насамперед від вмісту вуглецю і від кількості легувальних елементів [14,15].

Вуглець - основний елемент, що визначає властивості сталі та найдешевший для підвищення її міцності та твердості. Утворюючи надлишкові карбіди, вуглець сприяє підвищенню зносостійкості. М.М. Георгієв, враховуючи негативний вплив вуглецю на пластичні характеристики та ударну в'язкість, рекомендує обмежувати його вміст у низьколегованих сталях 0,20...0,25 %.

М.П. Браун і Ф.Б. Пікерінг пропонують не перевищувати вміст 0,3...0,4 % вуглецю в економнолегованих сталях.

За даними Т.А. Полянської, вуглець помітно підвищує опір сталі абразивному руйнуванню за його вмісту до 0,7 %, за подальшого його збільшення зносостійкість знижується. Це пояснюється збільшенням крихкості і, в міру зростання вуглецю, виділенням карбідів по межах зерен [16].

А. Лівенщук і Ф. Кейзе вивчали характер зміни твердості сталей, як однієї з основних характеристик зносостійкості, за вмісту вуглецю від 0,09 до 1,91 % і показали, що максимальна твердість і зносостійкість досягається за вмісту 0,6...0,8 % вуглецю. Я.М. Потак вважає, що раціональне легування в

поєднанні з оптимальним режимом термообробки дає змогу мати вміст вуглецю в сталі 0,30...0,40 %, зберігаючи при цьому високі пластичні властивості.

Зусилля багатьох вітчизняних і зарубіжних дослідників спрямовані на розробку зносостійких економнолегованих сталей на основі хрому, кремнію і марганцю з мінімальним вмістом таких дефіцитних і дорогих елементів як нікель, молібден, вольфрам, ніобій.

Як легувальний елемент хром входить до складу приблизно 90 % конструкційних сталей. Будучи сильним карбідоутворювачем, він зміцнює металеву матрицю, підвищує міцність, прожарюваність, подрібнює зерно.

І.І. Гузман і Р.Л. Рабінський вважають, що для зносостійких сталей, які містять 0,5 % вуглецю, легування хромом до 2 % і кремнієм до 1,5 % додатково підвищує властивості (міцність, пластичність) і зносостійкість металу. При цьому, чим більший вміст хрому, тим меншим має бути вміст марганцю в сталі, і навпаки [17].

Більшість дослідників відзначають, що за певних концентрацій марганець покращує фізико-механічні та експлуатаційні характеристики конструкційних сталей. У роботі показано, що зниження вмісту марганцю в нормалізованій сталі 45ФЛ сприятливо позначилося на її мікроструктурі, показниках ударної в'язкості та пластичності.

Ю.А. Шульте зазначає, що чим нижчим є вміст вуглецю і шкідливих домішок (сірки, фосфору і кисню) в сталі та чим вищою є дисперсність її структури, тим вищим може бути вміст марганцю. Марганець помітно підвищує холодостійкість сталі, проте його позитивний вплив для більшої частини марок обмежується вмістом до 2 %. При цьому, при оцінці впливу марганцю на властивості сталі необхідно додатково враховувати вміст у ній хрому, кремнію та інших легуючих елементів.

Наявні в літературі відомості про вплив кремнію на в'язкість і пластичність середньовуглецевих сталей у стані нормалізації дещо суперечливі. Частина дослідників вважають, що добавки кремнію сприяють

зміцненню сталі та чинять негативний вплив на пластичні характеристики сталі.

У роботі зазначено, що раціональне поєднання кремнію з марганцем або кремнію з марганцем і хромом дає змогу отримати сталі із задовільною міцністю і достатньою холодостійкістю.

Є.С. Калінніков вказує на позитивний вплив кремнію на пластичні властивості та ударну в'язкість сталі в присутності алюмінію, марганцю і хрому [17].

Суперечливі дані щодо впливу кремнію на властивості сталі можна пояснити тим, що його оптимальний вміст залежить від структури та вмісту інших легувальних елементів.

Легування металу ванадієм дає змогу значно підвищити механічну міцність сталей для машинобудування. При цьому ступінь зміцнення карбонітридом ванадію залежить від структури металевої матриці, в якій випадають включення, і від їхньої дисперсності, однак підвищення вмісту ванадію понад 0,04 % може призвести до зменшення ударної в'язкості.

У роботі вказується, що легування конструкційних сталей ванадієм у кількості до 0,10...0,15 % позитивно впливає на міцність і пластичність. За даними Б.Б. Винокура і В.Л. Пілюшенка введення ванадію в кількості до 0,15 % значно підвищує ударну в'язкість, подальше підвищення вмісту ванадію призводило до зниження ударної в'язкості.

Автори роботи вважають, що додавання в сталь 40ХНМЛ ванадію (0,25 %) спільно з алюмінієм (0,3 %) і титаном (0,1 %) підвищує пластичність та ударну в'язкість приблизно в 2 рази. Аналогічні дані наводять й інші дослідники.

Аналіз публікацій дає змогу дійти висновку про перспективність розроблення зносостійких економнолегованих сталей на основі хрому, кремнію та марганцю, із вмістом вуглецю 0,3...0,5 %, і легуваних ванадієм [18].

1.3 Вплив термічної обробки на зміну структури і властивостей сталей для деталей гірничо-металургійного обладнання

Структура і властивості високоміцної сталі визначаються системою легування і режимами термічної обробки. Існують кілька способів отримання високоміцних структур у сталях: гартування на мартенсит із низьким відпуском, вторинне твердіння за більш високих температур відпуску, термомеханічна обробка. Вторинне твердіння спостерігається в сталях, легованих великою кількістю хрому, молібдену і ванадію, а термомеханічна обробка обмежує подальші технологічні операції (згинання, різання, формування тощо)

При застосуванні гартування і низького відпуску міцність конструкційних сталей залежить, головним чином, від вмісту вуглецю і досягається при повній прогартуваності. Збільшення вмісту вуглецю до 0,38-0,45 % призводить до підвищення твердості та міцності загартованої низьковідпущеної сталі за умови збереженні пластичності. Подальше збільшення вмісту вуглецю підвищує твердість загартованої низьковідпущеної сталі, міцність при розтягуванні зменшується, а в'язке руйнування змінюється крихким. Легуванням можна домогтися більш високої пластичності і в'язкості сталі та зменшення її чутливості до надрізу [18].

Важливою характеристикою сталі, що впливає на міцність, є прогартуваність. Вона залежить від стійкості переохолодженого аустеніту, перерізу виробу і швидкості охолодження. Для досягнення потрібної прогартуваності високоміцних сталей використовується легування. Усі легувальні елементи, крім Со, підвищують прогартуваність сталі. Сильні карбідоутворювальні елементи підвищують прогартуваність якщо перебувають у твердому розчині, і знижують її, якщо пов'язані в карбіди. Як уже було сказано, бор, що перебуває у твердому розчині, сильно підвищує прогартуваність сталі, при цьому не знижуючи ударну в'язкість сталі після

гартування і відпуску. Таким чином, високоміцні стани в сталях економного легування досягаються за рахунок введення вуглецю до 0,40-0,45 %, оптимального підбору легувальних елементів для отримання мартенситної структури по всьому перерізу виробу, а також правильного вибору режимів виробу, а також правильного вибору режимів прокатки і термічної обробки. Загалом, для ефективного підвищення міцності сталі з обраною композицією легування використовуються такі структурні чинники:

- зміна величини зерна;
- зміна форми та орієнтації кристалітів;
- виділення нових фаз;
- перерозподіл домішок;
- створення підвищеної щільності недосконалостей кристалічної будови і тощо [19].

Усі ці фактори можна контролювати за рахунок температурно-деформаційного впливу, а також оптимально підбраної термічної обробки.

Наразі найбільш широко застосовуваною технологією підвищення механічних характеристик інструменту для оранки є звичайна термічна обробка (загартування з відпуском термічна обробка (гартування з відпуском). Більшість високоміцних сталей гартуються в олії або піддаються ізотермічному гартуванню. Ізотермічне загартування спричиняє викривлення сталі в 2-3 рази менше, ніж гартування в олії. Загартування на повітрі надає деталям порівняно малу поведку. Режим термічної обробки конструкційної сталі визначається, головним чином, вмістом вуглецю. Нагрівання під загартування проводять до температури на 30-50°C вище A_{c3} . Для низьковуглецевих сталей температура A_{c3} становить близько 900°C, для середньовуглецевих - 850°C [19].

У таблиці 1.1 наведено рекомендовану температуру нагрівання під загартування залежно від вмісту вуглецю в залежності від вмісту вуглецю.

Таблиця 1.1 - Температура нагріву під загартування залежно від вмісту вуглецю

C%	<0.20	0.20- 0.25	0.26- 0.30	0.31- 0.40	0.41- 0.45	0.46- 0.50	0.51- 0.60
T± °C	930	910	880	830	820	810	800

Основною структурною складовою у високоміцних сталях після гартування є рейковий мартенсит, кристали якого об'єднані в пакети. При неповній прогартуваності можуть зустрічатися рейки бейнітної α -фази з голчастою будовою, які можуть містити дисперсні карбідні частинки. Також неминуча присутність залишкового аустеніту у вигляді тонких прошарків між рейками α -фази в невеликій кількості (у борвмісних сталях типу 32ХБРА, 32ХФРА не більше 3 %) [18].

У зв'язку з тим, що можливості зміни тимчасового опору високоміцних сталей зміною режимів зміцнювальної термічної обробки обмежені, необхідно для отримання необхідної міцності правильно вибирати вміст вуглецю в сталі.

Вибір середовища охолодження під час гартування зумовлений швидкостями охолодження, забезпечуваними тим чи іншим середовищем. У роботах [19, 20] наводяться такі швидкості охолодження для різних середовищ (таблиця 1.2):

Таблиця 1.2 - Швидкість охолодження різних середовищ і твердість після гартування від 860 °C для сталі 40X

Охолоджувальне середовище	Швидкість охолодження °C/с	HRC	HV
Масло	150	56	640
Вода	600	56,5	660
Соль	1100	58	690
Луг	1200	59	700

Експерименти, проведені авторами цих робіт, показали, що зі зростанням швидкості охолодження твердість загартованої сталі 40Х збільшується, розпад мартенситу відбувається у два етапи, при цьому інтенсивність розпаду на першому етапі значно вища, ніж на наступному. Крім того, показано, що протягом 150 годин вилежування загартованих зразків мікротвердість знижується приблизно на 70-100 одиниць HV, а при відпустці з температур понад 150°C різниця в значеннях мікротвердості, виміряної на зразках з різною швидкістю охолодження, не перевищує похибки вимірювань [21].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методи плавки та термічної обробки

Плавки проводили в індукційних печах з основним футеруванням ємністю 60 і 120 кг. Плавки проводили на свіжій шихті методом сплавлення в індукційних печах. Замір температур проводили в печах і в ковшах вольфрам-молібденовими термопарами.

Під час вивчення впливу металургійних чинників (хімічний склад, кінцеве розкислення, модифікування) на властивості сталей використовували метод порціонного розливання, що дає можливість на металі одного вихідного складу визначити вплив досліджуваного чинника в "чистому" вигляді, виключивши вплив інших технологічних параметрів.

Контроль хімічного складу сталі здійснювали хімічним (вуглець, сірка, фосфор, РЗМ) і спектральним (хром, кремній, марганець, ванадій, алюміній, кальцій) методами .

Термічну обробку металу дослідних плавок проводили в лабораторних електропечах і в камерних печах на газовому паливі з автоматичним контролем температури.

2.2 Механічні властивості та зносостійкість

Механічні властивості сталі є об'єктивним показником її якості, в якому підсумовується вплив найважливіших технологічних параметрів, таких як хімічний склад, густина, однорідність і тип структури, природа неметалевих включень тощо.

Механічні властивості сталі вивчали на литих зразках (ДСТУ 8781:2018). Випробування на розрив проводили на машинах марки УММ-50 і Р-10. Розривні зразки виготовляли за ДСТУ 8781:2018. Ударну в'язкість

визначали на зразках типу 1 за ГОСТ 9454-78 на маятниковому копрі МК-30А. Твердість заміряли на приладі Брінеля (вдавлюванням кульки діаметром 5 мм) за ДСТУ ISO 6506-4:2008 і за Роквеллом - ДСТУ EN ISO 6506-4:2019 (вдавлюванням алмазної пірамідки).

Випробування на ударно-абразивне зношування досліджуваних сталей (зразки 10x10x25) проводили на напівпромисловому кульовому млині. Зношування здійснювали протягом 120 годин при помелі кварцового щебеню фракції 20...25 мм.

Як еталон застосовували зразки зі сталі 30Л (твердістю 1800...2000 МПа). Після випробувань зразки промивали ацетоном і зважували на вагах АДВ-200. Відносна зносостійкість (ϵ) визначалася як відношення втрати ваги еталонного зразка до втрати ваги досліджуваного зразка.

2.3 Металографічний і фрактографічний аналізи

Неметалеві включення є однією з основних характеристик литої сталі, що визначає її фізико-механічні показники. У роботі приділялася велика увага питанню досліджень взаємозв'язку між неметалевими включеннями і властивостями сталі.

Оцінку забрудненості металу неметалевими включеннями, їх форми, величини, характеру розподілу вивчали методами світлової мікроскопії (Neophot 32, OLYMPUS IX 70).

Неметалеві включення сталі досліджуваних варіантів оцінювали якісним і кількісним методами. Класифікація включень проводилася відповідно до даних роботи. Для визначення забрудненості металу неметалевими включеннями були використані методи "Л" і "П" ДСТУ ISO 4967:2015.

У сталі, модифікованій елементами - глобуляризаторами, практично присутні тільки два види включень: гострокутні та комплексні глобулярні. Тому як критерій оцінки ефективності модифікування використовували коефіцієнт глобуляризації (K_g), що являє собою відношення індексів забрудненості глобулярними включеннями до загального:

$$K_g = \frac{I_{gl}}{I_{\Sigma}} \cdot 100\%. \quad (2.1)$$

Коефіцієнт глобуляризації досить об'єктивно відображає ефективність застосовуваних модифікаторів.

Електронномікроскопічні дослідження зламів, зафіксовані на відповідних фотознімках, характеризують не тільки характер самого зламу, а й достатньою мірою характеризують природу неметалевих включень, їхню форму і топографію розташування.

Методом електронної мікрофрактографії на електронному мікроскопі УЕМВ-100К досліджували вплив модифікування на характер руйнування литої сталі та природу неметалевих включень. Ударні зразки відразу ж після руйнування поміщали в робочу камеру напилювальної установки. За залишкового тиску 1×10^{-7} Па на поверхню зламу напилювали вугільну плівку. Відокремлення реплік проводили електролітично в 10 % спиртовому розчині азотної кислоти. Промиті репліки поміщали на мідні сітки об'єктотримача і досліджували в електронному мікроскопі за збільшення в 3800 разів.

На рентгенівському мікроаналізаторі MAP-2 досліджували розподіл легувальних елементів і шкідливих домішок за перерізом дендритів і в міждендритних просторах. Поверхню шліфа покривали електропровідним шаром вуглецю на напилювальній установці "Tesla". Під час руху зразка під електронним мікроскопом визначали інтенсивність випромінювання того чи іншого елемента за перерізом міжелементного простору і дендрита та порівнювали з інтенсивністю випромінювання еталона.

2.4 Гранулярність структури і прожарюваність сталі

Властивості сталі певною мірою визначаються розміром аустенітного зерна. Тому управління гранулярністю структури сталі - важливе завдання сучасного матеріалознавства.

Наразі для оцінки розміру аустенітного зерна існує ДСТУ 8972:2019 з десятибальною шкалою. Зерна аустеніту від 1 до 4 балів характеризують грубозернисту сталь, від 5 до 10 - дрібнозернисту.

Для виявлення дійсного зерна, зразки після термічної обробки труїли в 4-х відсотковому розчині азотної кислоти в етиловому спирті. Аустенітне зерно в сталі виявляли методом травлення меж зерен. Зразки металу нагрівали до температури 900 °С, витримували при цій температурі протягом 2-х годин і проводили загартування у воду. Зерна аустеніту виявляли травленням поверхні шліфа насиченим водним розчином пікринової кислоти з додаванням 2-х відсоткової мийної рідини. Травлення проводили реактивом, нагрітим до температури 45...50 °С. Після виявлення меж зерен зразки вивчали при збільшенні $\times 100$. Величину аустенітного зерна визначали візуальним порівнянням видимих під мікроскопом зерен з еталонними зображеннями шкали, вимірюванням середнього умовного діаметра зерна або кількості зерен в 1 мм² шліфа. Підрахунок зерен проводили лінійним методом на металографічному мікроскопі МІМ-8. Аналогічним методом вивчали і дійсне зерно.

Прогартованість є однією з найважливіших технологічних властивостей сталі, що забезпечують її структурну однорідність і, як наслідок, високу експлуатаційну стійкість деталей.

Прогартуваність вивчали найпростішим і найуніверсальнішим методом торцевого гартування.

3 РОЗРОБКА, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЗНОСОСТІЙКОЇ ЕКОНОМНОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

З урахуванням тенденції залучення до переробки збідненої рудної сировини обсяги її видобутку зростатимуть. Якість продукції, одержуваної на збагачувальних підприємствах, а також ефективність використання сировини значною мірою залежать від надійності та довговічності роботи млинів кульового розмелення, які, своєю чергою, визначаються експлуатаційною стійкістю литих деталей .

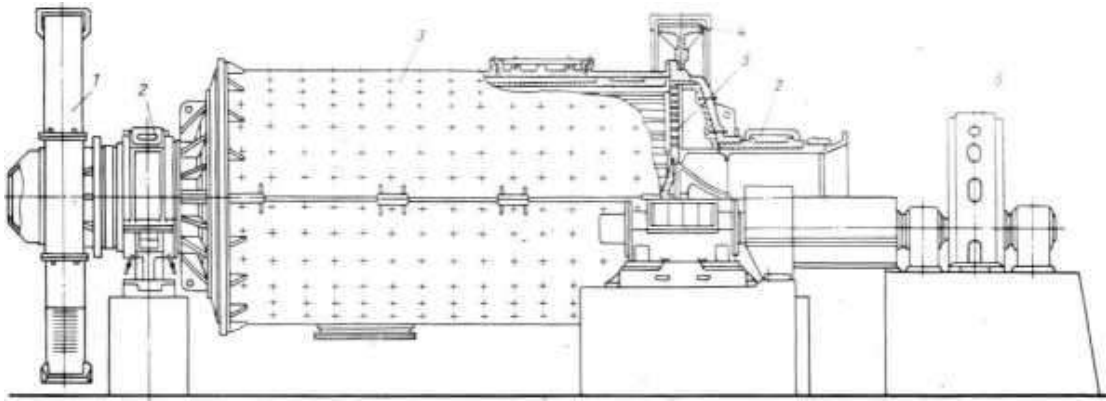
У цьому розділі наведено матеріали з дослідження причин передчасного виходу з ладу розвантажувальних решіток і черпаків живильників. Проведений аналіз дав змогу намітити шляхи для вирішення проблеми збільшення ресурсу роботи кульових млинів.

3.1 Умови роботи, причини виходу з ладу та аналіз технології виробництва швидкозношуваних деталей МШР

На рудозбагачувальних фабриках Кривбасу для подрібнення руди широко застосовують млини кульового розмелювання (рис. 3.1), які складаються з циліндричного барабана, до якого з боків кріпляться торцеві кришки із завантажувальною і розвантажувальною порожнистими цапфами. Цапфи спираються на підшипники. У барабани завантажують кулі різної крупності (від 40 до 150 мм) приблизно на половину його об'єму.

Матеріал, який потрібно подрібнити, поміщають у барабан разом з кульками, і після цього барабан починає обертатися. У результаті руху кульки у барабані подрібнюють матеріал, з яким вони контактують.

Цей тип млинів широко використовується у різних промислових процесах, таких як виробництво цементу, рудопідготовка у гірництві та інші промислові ділянки, де необхідно подрібнення матеріалів до певного розміру частинок.



1 - комбінований живильник із черпаками

2 - підшипники;

3 - барабан із торцевими кришками;

4 - зубчастий вінець;

5 - решітка;

6 - електродвигун

Рисунок 3.1 - Загальний вигляд млина кульового розмелювання

Для запобігання зносу барабан і торцеві кришки футерують броньовими плитами. У розвантажувальному кінці барабана встановлена решітка (рис. 3.2), через отвори якої видаляється подрібнений матеріал. Вихідне живлення завантажується в млин комбінованим живильником через його центральний отвір, а піски класифікатора - за допомогою равликового черпака. Барабан обертається від електродвигуна за допомогою зубчастого вінця, закріпленого на барабані.



Рисунок 3.2 - Розвантажувальні решітки МШР у зборі

Стійкість черпаків становить 1,0...1,5 місяця залежно від твердості перероблюваної руди.

Простої млинів, спричинені необхідністю заміни черпаків, становлять 25...30 % від їх загальної кількості.

Експлуатаційна стійкість решіток становить 6...7 місяців за загального ресурсу роботи млина 12 місяців, внаслідок чого млин, ще придатний для експлуатації, знімають для заміни.

Матеріальний збиток від простоїв і низької експлуатаційної стійкості окремих деталей становить сотні тисяч рублів.

Аналіз умов роботи і стійкості литих швидкозношуваних деталей проводили на підприємствах ДПО "Південруду". Встановлено, що розвантажувальні решітки та черпаки живильника працюють у складних умовах гідроабразивного зносу, що поєднується з ударними навантаженнями. Характерні види зносу та пошкоджень черпаків і решіток наведено на рис. 3.3. Основні причини передчасного виходу з ладу і недостатньої стійкості деталей, що вивчаються, - зношування і ЛОМКИ в процесі експлуатації, що свідчить про невідповідність матеріалів, що застосовують для цих деталей, умовам їхньої роботи і характеру діючих навантажень.

На підприємствах для черпаків і решіток у різний час застосовували високолеговані та конструкційні сталі і сплави 110Г13Л, 300Х28Н2,

60Х2СМЛ, 35ХНЛ, 34ХНМЛ тощо. Це не завжди було технічно обґрунтовано й економічно виправдано.



а



б

а - знос черпака; б - знос і руйнування решітки

Рисунок 3.3 - Характерні види зносу і руйнування деталей МШП

Характерні структури, механічні властивості та середня експлуатаційна стійкість деталей із цих матеріалів представлені на рис. 3.4 і в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Механічні властивості, причини виходу з ладу та середня експлуатаційна стійкість решіток і черпаків

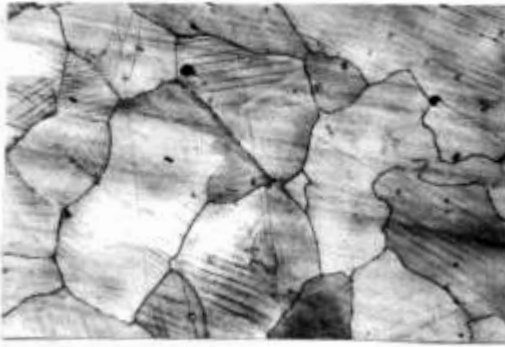
Марка сталі	Механічні властивості						Середня стійкість	Причина виходу із ладу
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²	НВ, МПа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
110Г13Л	700... 730	380... 415	22,6.. 26,3	21,4... 25,2	2,2... 3.4	2000... 2150	решітка – 7 черпак – 1	знос

Продовження таблиці 3.1

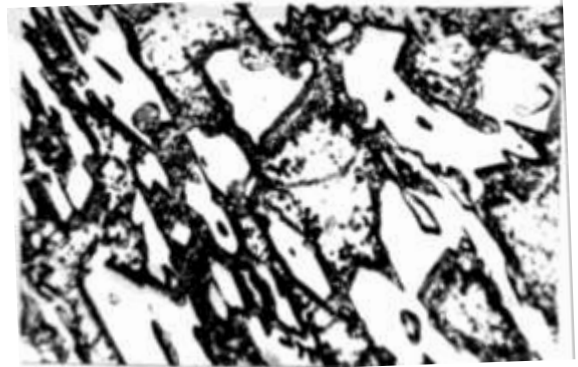
1	2	3	4	5	6	7	8	9
60X2СМЛ	850... 900	670... 727	6,0... 7,5	16,2... 18,3	0,14... 0,16	2600... 2700	решітка — 6,5...7	поломки
35ХНЛ	690... 735	475... 510	17,0... 19,2	34,0... 38,2	0,66... 0,82	2050... 2200	решітка — 6	деформація, знос
34ХНМЛ	765... 790	490... 530	14,4... 16,2	38,8... 41,3	0,70... 0,85	2100... 2310	решітка — 6	знос, деформація
40ХЛ	680... 710	435... 460	8,0... 15,0	20,0... 24,4	0,20... 0,32	2100... 2250	решітка — 5,5 черпак — 1,5	знос
35ГФЛ	760... 795	500... 540	18,0... 20,4	37,0... 40,5	0,60... 0,72	2150... 2340	решітка — 6	знос
300X28H2	$\sigma_U=700...750$, МПа		HRC=58...60		KCU=0,06...0,08 МДж/м ²		черпак 0,8...1	поломки

Так, застосування сталі 110Г13Л, що характеризується порівняно високими показниками міцності, але високим рівнем пластичності, ударної в'язкості та здатністю добре чинити опір дії високих питомих тисків внаслідок наклепу, в умовах гідроабразивного зносу та незначних питомих тисків не дало належного ефекту, незважаючи на те, що за рівнем механічних властивостей, розміром зерна аустеніту, забрудненості карбідами сталь відповідала ГОСТ 2176-77.

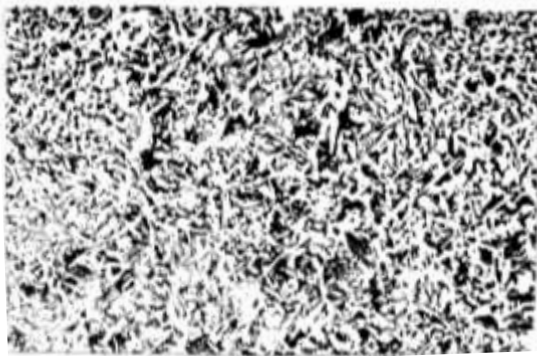
Крім того, ця сталь під час виготовлення таких складних за конфігурацією виливків, як решітка, схильна до утворення гарячих тріщин у процесі кристалізації та термічної обробки виливків.



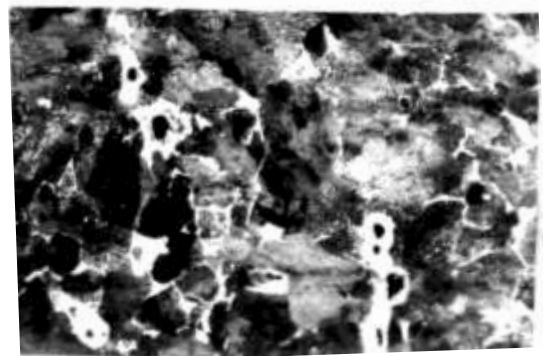
а



б



в



г

а – 110Г13Л ($\times 100$)в – 35ГФЛ ($\times 200$)б – 300Х28Н2 ($\times 500$)г – 40ХЛ ($\times 200$)

Рисунок 3.4 - Характерні структури сталей, що застосовуються для виготовлення черпаків і решіток

Використання зносостійкого сплаву 300Х28Н2, що добре працює в умовах абразивного і гідроабразивного зносу, для черпаків призводило до їхніх частих поломок через низьку ударну в'язкість сплаву. Застосування легованих сталей, що містять дефіцитні легувальні елементи молібден, нікель також не забезпечувало ефективного підвищення стійкості за значного збільшення вартості виливків. Виливки зі сталі 60Х2СМЛ, що має високі міцнісні властивості та твердість і має високу зносостійкість, внаслідок низьких показників пластичності та ударної в'язкості часто виходили з ладу через поломки.

Решітки, відлиті зі сталей 35ХНЛ, 34ХНМЛ, 40ХЛ, 35ГФЛ, незважаючи на досить високу первісну твердість, внаслідок дефектів мікроструктури і низької прогартованості, мали прогресивне зношення в процесі їхньої роботи, що знижувало їхню експлуатаційну стійкість, приводило до розклепування щілин, зменшення їхнього прохідного отвору і, як наслідок, зниження продуктивності млинів.

У результаті проведеного аналізу умов експлуатації, матеріалів, що застосовуються для черпаків і решіток МШР, їхніх механічних та експлуатаційних властивостей встановили, що для істотного підвищення стійкості цих виливків їх слід виготовляти зі сталі, яка має такий рівень механічних властивостей: $\sigma_B \geq 850$ МПа; $HB \geq 2600$ МПа; $\delta \geq 8 \%$; $\psi \geq 20 \%$ и $KCU \geq 0,20$ МДж/м².

Тому необхідно розробити економнолеговану марку сталі, яка не містить дефіцитних легуючих елементів, що забезпечує заданий рівень механічних властивостей.

Тому необхідно розробити економнолеговану марку сталі, яка не містить дефіцитних легуючих елементів, що забезпечує заданий рівень механічних властивостей.

3.2 Вплив вуглецю, хрому, марганцю і кремнію на властивості сталі

У цьому розділі наводяться результати роботи з розроблення складу економнолегованої марки сталі без застосування дефіцитних легуючих елементів (нікель, молібден тощо), а також шляхи підвищення її механічних і експлуатаційних властивостей.

Під час розроблення складу використовували методи математичного планування експерименту, що дали змогу досягти необхідного результату з мінімальними витратами.

За допомогою математичного планування експерименту з реалізацією повного факторного аналізу за планом типу 2^4 вивчали вплив вуглецю, хрому, марганцю і кремнію на механічні та експлуатаційні властивості сталі. Основний рівень хімічного складу, інтервали варіювання, матриця планування, кодове позначення змінних і результати експерименту наведено в табл. 3.2. Для забезпечення достовірності результатів кожен дослід дублювався.

Таблиця 3.2 - Матриця планування та результати експерименту з вивчення впливу хімічного складу на властивості сталі

Умови варіювання досліджуваних факторів			Досліджувані фактори, %				Функції досліджуваних факторів					
			C	C _r	Мп	S _i						
Основний рівень	(0)		0,41	1,00	0,90	0,90	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²	HB, МПа	ε
Інтервал варіювання	(Δ)		0,05	0,70	0,50	0,60						
Верхній рівень	(+)		0,46	1,70	1,40	1,50						
Нижній рівень	(-)		0,36	0,30	0,40	0,30						
Кодове позначення змінних	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄							
Номер плавок за планом типу 2^4	1	+	-	-	-	-	570	19,0	29,0	0,52	1380	1,00
	2	+	+	-	-	-	593	15,4	24,2	0,46	1440	1,12
	3	+	-	+	-	-	727	17,3	27,2	0,33	2210	1,22
	4	+	+	+	-	-	897	9,6	20,6	0,20	2550	1,25
	5	+	-	-	+	-	683	19,2	29,8	0,56	1960	1,18
	6	+	+	-	+	-	724	15,8	24,2	0,49	2040	1,24
	7	+	-	+	+	-	827	8,2	19,3	0,27	2100	1,20
	8	+	+	+	+	-	934	6,9	17,7	0,13	2710	1,22
	9	+	-	-	-	+	678	16,0	26,4	0,45	1800	1,10
	10	+	+	-	-	+	691	13,2	23,0	0,34	1820	1,14
	II	+	-	+	-	+	907	17,9	28,1	0,33	2500	1,30
	12	+	+	+	-	+	1005	10,2	22,1	0,26	2600	1,42
	13	+	-	-	+	+	690	12,8	23,4	0,49	1860	1,23
	14	+	+	-	+	+	739	11,0	22,3	0,40	2170	1,25
	15	+	-	+	+	+	907	9,1	20,1	0,28	2590	1,24
	16	+	+	+	+	+	1030	7,5	18,2	0,16	3090	1,29

У процесі експерименту визначалися межа міцності на розрив, відносні подовження і звуження, ударна в'язкість, твердість і зносостійкість. Зразки для

визначення механічних властивостей і зносостійкості піддавалися нормалізації від 880 °С і відпуску за 650 °С.

Обробку результатів експерименту та оцінку впливу досліджуваних чинників на механічні та експлуатаційні властивості сталі здійснювали за допомогою регресійного аналізу, представленого в табл. 3.3 (визначалися чисельні значення коефіцієнтів регресії та оцінювалася їхня значущість за критерієм Стюдента, відтворюваність процесу визначали за критерієм Кохрена, адекватність моделі оцінювалася за критерієм Фішера).

Таблиця 3.3 – Результати регресійного аналізу дослідних даних

Показник	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²	HB, МПа	ε
B_0	+787,63	+13,069	+23,475	+0,364	+2176,30	+1,213
B_1	+39,00	-1,869	-1,938	-0,049	+126,25	+0,029
B_2	+116,63	-2,231	-1,813	-0,136	+368,13	+0,055
B_3	+29,13	-1,756	-1,600	-0,007*	+138,75	+0,019
B_4	+43,25	-0,856*	-0,525*	-0,016	+127,50	+0,034
$B_{1,2}$	+23,25	-1,488	-0,075*	-0,008*	+67,50	-0,001
$B_{1,3}$	+1,00*	+0,856*	+0,663*	-0,003*	+61,25	-0,010
$B_{1,4}$	-3,63*	+0,131	+0,388*	+0,001*	-10,00*	0
$B_{2,3}$	-8,88*	-1,156	-1,238	-0,028	-60,00*	-0,049
$B_{2,4}$	+14,75*	+1,193	+0,988	+0,028	+23,75*	+0,011*
$B_{3,4}$	-18,50	-0,356	-0,350*	+0,001*	+15,00*	-0,013*
$B_{1,2,3}$	-5,75*	+0,706*	+0,475*	-0,004*	+22,50*	0
$B_{1,2,4}$	-3,38*	-0,169*	-0,350*	+0,009*	-33,75*	+0,015
$B_{1,3,4}$	+6,63*	+0,031*	+0,138*	-0,001*	+25,00*	-0,001*
$B_{2,3,4}$	+4,50*	+0,394*	+0,213*	-0,003*	+81,25	-0,005*
$B_{1,2,3,4}$	+4,38*	-0,069*	-0,250*	-0,004*	-8,75*	-0,006*
G_P	0,2224	0,2536	0,4052	0,3907	0,2113	0,3393
G_T	0,4546	0,4546	0,4546	0,4546	0,4546	0,4546
S_y^2	855,2864	4,4654	3,2807	0,0008	15319,88	0,0007
f_y	16	16	16	16	16	16
$t(q, f_y)$	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12
B_{KP}	15,500	1,120	0,960	0,015	65,600	0,014
f_{aq}	9	9	10	10	9	9
S_{ag}^2	703,8888	6,1088	2,3630	0,0017	18832,22	0,0008
F_P	0,8230	1,3680	0,7203	2,1375	1,2293	1,2109
F_T	2,5377	2,5377	2,4935	2,4935	2,5377	2,5377

* - незначущі коефіцієнти.

У результаті експерименту було отримано такі рівняння регресії (без урахування незначущих коефіцієнтів):

$$y_{\sigma_B} = 787.63 + 39X_1 + 116.63X_2 + 29.13X_3 + 43.25X_4 + 23.25X_1X_2 - 18.50X_3X_4 \pm 18.9, \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

$$y_{\sigma} = 13.07 - 1.87X_1 - 2.23X_2 - 1.76X_3 - 1.49X_1X_2 - 1.16X_2X_3 + 1.19X_2X_4 \pm 1.1, \text{ \%}. \quad (3.2)$$

$$y_{\psi} = 23.48 - 1.94X_1 - 1.81X_2 - 1.60X_3 - 1.24X_2X_3 + 0.99X_2X_4 \pm 3.4, \text{ \%}. \quad (3.3)$$

$$y_{HB} = 2176.30 + 126.25X_1 + 368.13X_2 + 138.75X_3 + 127.50X_4 + 67.50X_1X_2 + 81.25X_2X_3X_4 \pm 38, \text{ МПа.} \quad (3.4)$$

$$y_{KCU} = 0.364 - 0.049X_1 - 0.136X_2 - 0.016X_4 - 0.028X_2X_3 + 0.028X_2X_4 \pm 0.05, \text{ \%} \quad (3.5)$$

$$y_{\varepsilon} = 1.213 + 0.029X_1 + 0.055X_2 + 0.019X_3 + 0.034X_4 - 0.049X_2X_3 + 0.015X_1X_2X_4 \pm 0.03. \quad (3.6)$$

Переведення незалежних змінних у рівняннях регресії (3.1 - 3.6) з відносних одиниць у натуральні здійснюється за формулами:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{C - 0.41}{0.05}; & X_3 &= \frac{M_f - 0.90}{0.50}; \\ X_2 &= \frac{C_r - 1.00}{0.70}; & X_4 &= \frac{S_i - 0.90}{0.60}; \end{aligned} \quad (3.7)$$

Для оцінки отриманих рівнянь було проведено зіставлення фактичних даних з розрахунковими (табл. 3.4).

З рівнянь регресії видно, що вуглець, хром, марганець і кремній у межах, що вивчаються, позитивно впливають на показники міцності, твердості та зносостійкості, при цьому найістотніше впливають вуглець, хром і кремній.

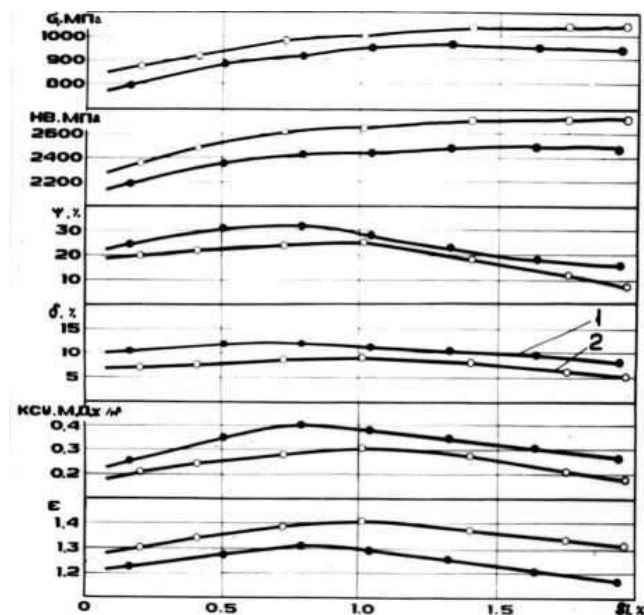
Для вибору вмісту інших елементів хімічного складу під час вивчення впливу зростаючих присадок кремнію, була проведена максимізація функції 3.6 при накладенні обмежень ($\sigma_B \geq 850$ МПа; $\delta \geq 8$ %; $\psi \geq 20$ % и $KCU \geq 0,20$ МДж/м²)

№ п/п	σ_B , МПа		δ , %		ψ , %		КСУ, МДж/м ²		НВ, МПа		ε	
	$P^*)$	$\Phi^*)$	P	Φ	P	Φ	P	Φ	P	Φ	P	Φ
1	564	570	17,5	19,0	28,6	29,0	0,56	0,52	1402	1380	1,01	1,00
2	596	593	16,7	15,4	24,7	24,2	0,49	0,46	1519	1440	1,10	1,12
3	751	727	15,9	17,3	25,5	27,2	0,31	0,33	2106	2210	1,25	1,22
4	876	897	9,2	9,6	21,6	20,6	0,18	0,20	2553	2550	1,28	1,25
5	660	683	16,3	19,2	27,9	29,8	0,60	0,56	1842	1960	1,15	1,18
6	691	724	15,5	15,8	24,0	24,2	0,54	0,49	1959	2040	1,24	1,24
7	846	827	10,1	8,2	19,8	19,3	0,26	0,27	2281	2100	1,19	1,20
8	971	934	3,4	6,9	15,9	17,7	0,12	0,13	2668	2710	1,22	1,22
9	688	678	15,1	16,0	26,6	26,4	0,50	0,45	1819	1800	1,11	1,10
10	719	691	14,3	13,2	22,7	23,0	0,36	0,34	1937	1820	1,14	1,14
11	875	907	18,3	17,9	27,4	28,1	0,30	0,33	2258	2500	1,29	1,30
12	999	1005	11,6	10,2	24,6	22,1	0,24	0,26	2646	2600	1,38	1,42
13	709	690	13,9	12,8	25,9	23,4	0,55	0,49	1934	1860	1,25	1,23
14	741	739	13,1	11,0	22,0	22,3	0,42	0,40	2052	2170	1,27	1,25
15	896	907	12,5	9,1	21,8	20,1	0,25	0,28	2698	2590	1,23	1,24
16	1020	1030	9,3	7,5	17,9	18,2	0,18	0,16	3086	3090	1,32	1,29

* Р – расчетные; Φ – фактические.

Максимальне значення цільової функції $y_{\varepsilon} = 1,31$ досягається за такого хімічного складу: C = 0,46 %, Cr = 1,53 %, Mn = 0,9 %, Si = 0,76 %. Оскільки аналіз моделі показує, що хром чинить найсильніший вплив на всі досліджувані властивості, тому його вміст було прийнято на рівні оптимального (1,5 %). При цьому для забезпечення ударної в'язкості сталі понад 0,20 МДж/м², вплив вмісту кремнію вивчали за вмісту 0,4 % і 0,9 % марганцю, і 0,36 % і 0,46 % вуглецю.

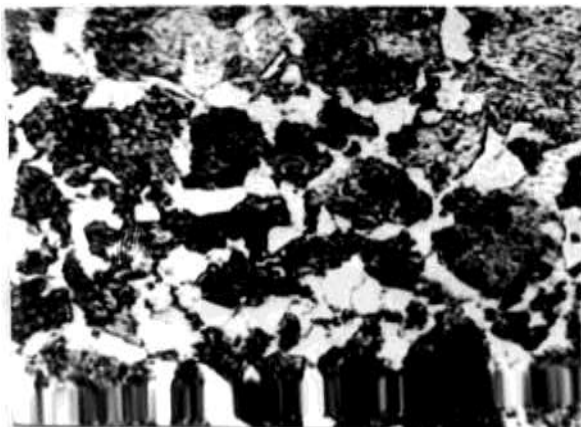
На рис. 4.1 наведено результати дослідження впливу зміни концентрації кремнію на механічні властивості та зносостійкість сталі, що містить 1,5 % хрому та 0,40 % марганцю з різним вмістом вуглецю. Зі збільшенням вмісту кремнію зростають показники міцності та твердості. Вплив кремнію на пластичні властивості сталі, ударну в'язкість і зносостійкість має нелінійний характер. Найвищий рівень цих показників мають сталі із вмістом кремнію 0,8 і 1,0 % при вмісті вуглецю 0,36 і 0,46 % відповідно, тобто при відношенні кремнію до вуглецю 2,0...2,5.



1 – 0,36 % углерода; 2 – 0,46 % углерода

Рисунок 3.5 - Вплив кремнію на механічні властивості зносостійкої сталі

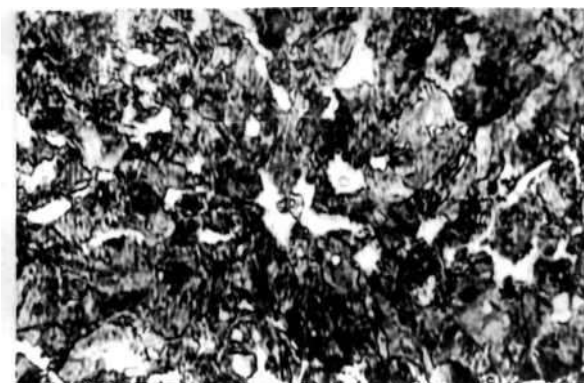
Металографічні дослідження показали, що в сталі, яка містить 0,20 % кремнію, після нормалізації є типова перліто-феритна структура (рис. 3.6, а). Збільшення вмісту кремнію призводить до підвищення стійкості переохолодженого аустеніту, і під час охолодження на повітрі підвищується дисперсність ферито-цементитної суміші (рис. 3.6, б). Подальше підвищення вмісту кремнію до 0,8 % для 0,36 % вуглецю і 1,0 % для 0,46 % вуглецю призводить до стану, коли надлишковий ферит практично відсутній, у структурі сталі спостерігається типова бейнітна структура з мікротвердістю 3400 МПа (рис. 3.6, в). У сталі з більш високим вмістом кремнію визначальним елементом структури є голчастий бейніт з мікротвердістю 4200 МПа (рис. 3.6, г), що негативно позначається на пластичних властивостях сталі та зносостійкості.



а



б



в



г

а – 0,20 % Si; б – 0,68 % Si; в – 1,0 % Si; г – 1,77 % Si

Рисунок 3.6 - Вплив вмісту кремнію на структуру сталі ($\times 340$)

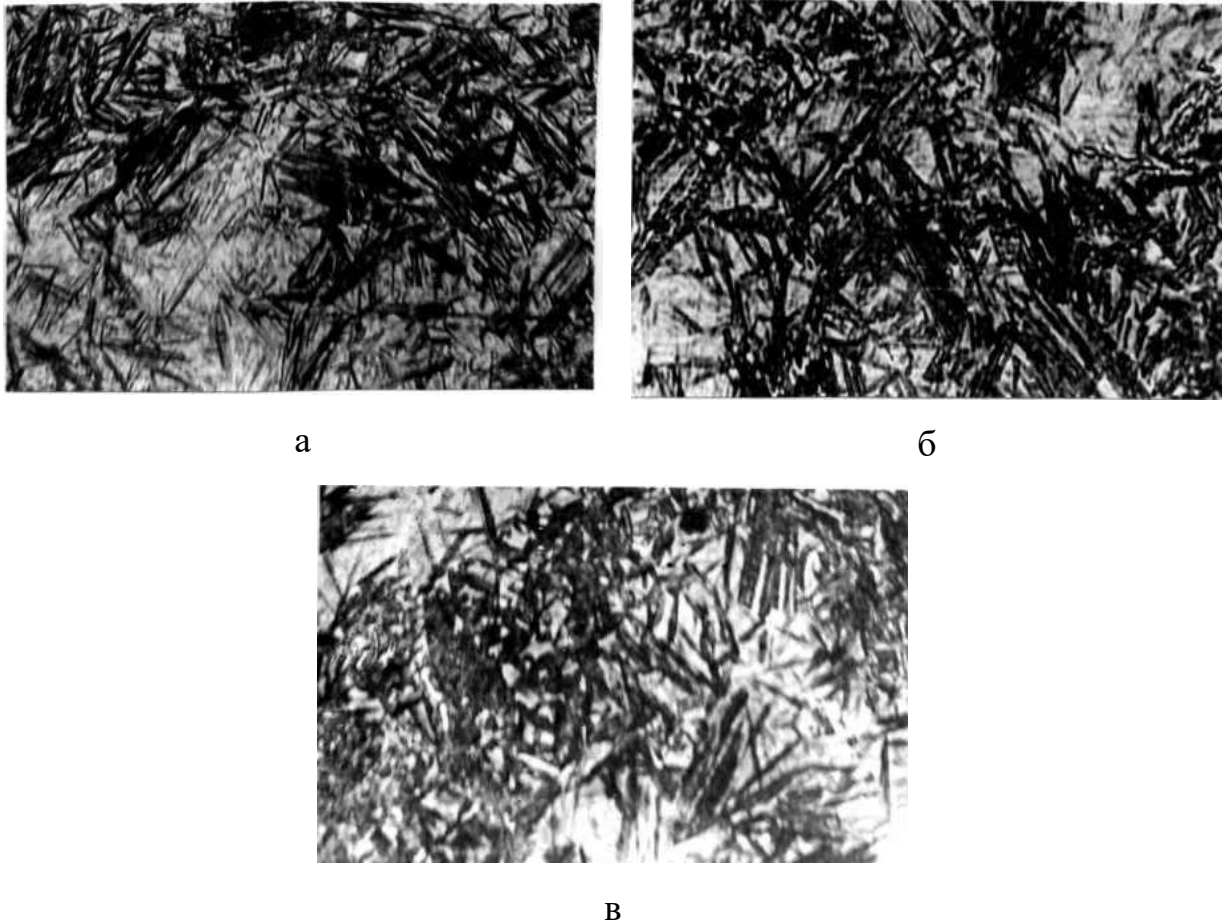
У табл. 3.5 показано вплив зростаючих вмістів кремнію на властивості сталі того ж складу, але з вмістом марганцю 0,9 %.

Таблиця 3.5 - Вплив кремнію на механічні властивості та зносостійкість сталі (0,46 % вуглецю; 0,9 % марганцю; 1,5 % хрому; 0,018 % сірки; 0,011 % фосфору)

Масова частка кремнію, %	Механічні властивості					Зносостійкість, ε
	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	НВ, МПа	KCU, МДж/м ²	
1	2	3	4	5	6	7
0,20	980	4,0	16,2	2630	0,18	1,20
0,46	1026	3,5	14,0	2700	0,17	1,18
0,68	1050	3,0	13,1	2750	0,16	1,17
0,93	1078	2,6	10,3	2800	0,14	1,16
1,10	1090	2,2	9,4	2850	0,13	1,15
1,30	1125	2,0	8,5	2900	0,11	1,14
1,77	1174	1,5	6,0	3000	0,10	1,12

У цьому випадку спостерігається монотонне зниження не тільки пластичних властивостей і ударної в'язкості, а й зносостійкості. Це пояснюється тим, що в сталі зі збільшенням вмісту марганцю підвищується ліквідаційна неоднорідність і стійкість переохолодженого аустеніту, що призводить після нормалізації до утворення мартенситоподібної структури (рис. 3.7, а).

Добавки ж кремнію призводять до поступового укрупнення мартенситоподібної структури (рис. 3.7, б, в), водночас спостерігається різна травність мартенситу, зумовлена розвитком ліквідаційних пререказів, і, як наслідок, нерівномірна мікротвердість різних ділянок структури (темна складова 6200 МПа; світла - 7900 МПа).



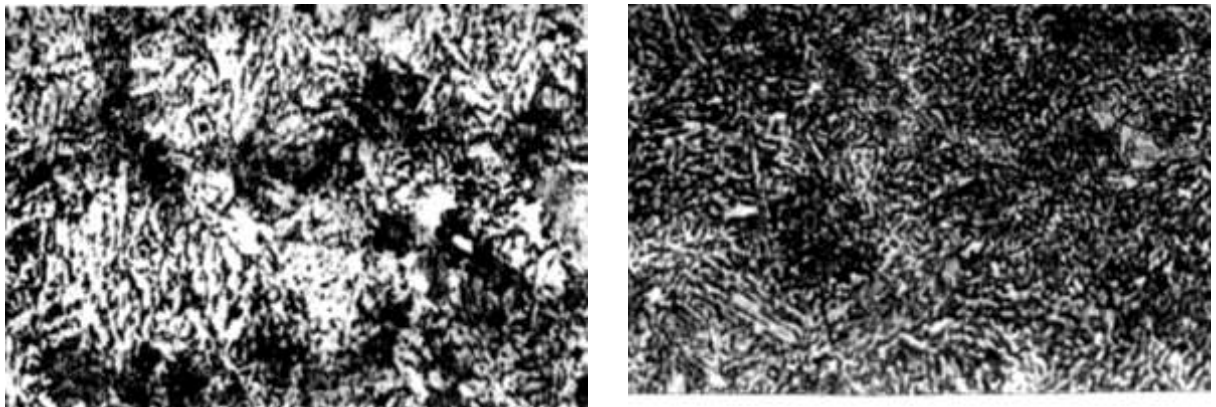
а – 0,20 % Si; б – 0,93 % Si; в – 1,77 % Si

Рисунок 3.7 - Вплив вмісту кремнію на структуру сталі

Можливість утворення подібних структур під час безперервного охолодження легованих сталей відзначається Б.С. Натаповим, Г.В. Курдюмовим та ін. Така неоднорідність структури призводить до нерівномірного розподілу карбідної фази після відпустки (рис. 3.8, а), за вмісту ж марганцю 0,4 % забезпечується рівномірна дисперсність феритоцементитної суміші (рис. 3.8, б) і, як наслідок, краще поєднання механічних властивостей і зносостійкості.

Проведені дослідження з легування добре узгоджуються з математичною моделлю впливу кремнію і марганцю на властивості сталі та зносостійкість. Встановлено, що для отримання високого комплексу властивостей пластичності, міцності та зносостійкості необхідно

підтримувати співвідношення кремнію до вуглецю, що дорівнює 2,0...2,5, при цьому вміст марганцю потрібно обмежувати.



а

б

а - мартенсит відпуску; б - бейніт відпуску

Рисунок 3.8 - Вплив високотемпературного відпуску на вихідну структуру сталі ($\times 340$)

Для визначення остаточного хімічного складу, провели оптимізацію складу сталі.

3.3 Оптимізація складу зносостійкої економнолегованої сталі

Оскільки черпаки та решітки експлуатуються в умовах абразивного зносу, що поєднується з ударними навантаженнями, критеріями оптимізації обрали зносостійкість і ударну в'язкість.

Потрібно максимізувати цільові функції $y_{\text{кcu}}$ (3.5) і $y_{\text{ε}}$ (3.6) при дотриманні зазначених у розділі 3.1 обмежень, а також співвідношення $\text{Si}:\text{C}=2:1$, накладених на решту рівнянь (3.1-3.4), Це завдання може бути

віднесено до типових завдань нелінійного програмування і розв'язується методом якнайшвидшого спуску поверхнею відгуку на ЕОМ ЕС-1020.

Максимальне значення цільової функції $y_{\text{кcu}} = 0,25$ МДж/м² досягається за такого хімічного складу сталі: 0,40 % вуглецю; 1,40 % хрому; 0,40 % марганцю; 0,80 % кремнію. Максимальне значення функції $y_{\varepsilon} = 1,32$ досягається за хімічного складу: 0,4 % вуглецю; 1,77 % хрому; 0,60 % марганцю; 1,03 % кремнію.

Отримані рішення задовольняють усім нерівностям системи обмежень. Однак, максимум за y_{ε} і $y_{\text{кcu}}$ одночасно отримати неможливо. Задовільне рішення досягається застосуванням методів математичного програмування. Як комплексний критерій оптимізації обрано функціонал:

$$L = \alpha_1 \frac{y_{\varepsilon}(X_1, X_2, X_3, X_4)}{y_{\varepsilon_{\max}}} + \alpha_2 \frac{y_{\text{кcu}}(X_1, X_2, X_3, X_4)}{y_{\text{кcu}_{\max}}}, \quad (3.6)$$

де α_1 і α_2 - вагові коефіцієнти.

Підставляючи в рівність (3.6) функції (3.4 і 3.5) і приймаючи $y_{\varepsilon} = 1,32$, $y_{\text{кcu}} = 0,25$ МДж/м², $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, отримаємо таку цільову функцію, значення якої потрібно максимізувати:

$$L = 2.833 - 0.038X_1 - 0.674X_2 + 0.014X_3 - 0.058X_4 - 0.184X_2X_3 + 0.147X_2X_4 + 0.011X_1X_2X_4. \quad (3.7)$$

Обробкою даних на ЕОМ отримано максимальне значення функції $L = 2,03$, що досягається за такого хімічного складу сталі: 0,46 % вуглецю; 1,80 % хрому; 0,41 % марганцю; 1,09 % кремнію.

Виходячи з аналізу літературних даних, рівнянь регресії та даних ЕОМ з оптимізації, остаточний склад сталі був прийнятий таким: 0,40...0,50 % вуглецю; 1,5...1,8 % хрому; 0,3...0,45 % марганцю; 0,8...1,1 % кремнію.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі розглядаються заходи із охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях при дослідженні зносостійкої економлегованої сталі для деталей гірничо-металургійного обладнання.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [22], а саме:

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати, нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

б) можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань;

г) можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм;

д) небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

е) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

є) невідповідність вимогам освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

ж) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогашіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

з) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [23].

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень. Висота робочої поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах 680...800мм, а ширина і глибина –забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина –800...1000мм).Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

б) до основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;

- заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;

- захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпечності, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

в) об'єкти відмінності мають як негативний (темні об'єкти на світлому фоні) так і позитивний (світлі об'єкти на темному фоні) контраст. Тому відбувається постійна переадаптація від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні з негативним контрастом. За восьмигодинний робочий день за монітором користувач кидає приблизно 30000 поглядів на екран, око працює з перевантаженням і не може достатньо адаптуватися до цієї ситуації. Такі особливості призводять до напруження м'язового та світло-сприймаючого апарату очей, що є однією з причин виникнення астенопічних явищ (різь в очах, біль в очах, ломить у надбрівній ділянці, розпливчастість контурів, нечіткість зображення). Постійний погляд на матове скло екрана монітора зменшує частоту кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршує зір (синдром Сікка). Робота користувача за пульсуючим екраном монітора, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації (блимання), викликає дискомфорт і втому (загальну і зорову). Робота з дзеркальною відбиваючою і неплоскою зовнішньою поверхнею екрана монітора, на якій з'являються численні відбиті відблиски, призводить до виникнення у користувача астенопічних явищ та функціональних змін ока. Неправильний розподіл яскравості в полі зору, тобто поверхні периферії (стеля, стіни, меблі і т.п.) висвітлені краще ніж центр поля зору, призводить до порушення основних зорових функцій ока. Засліплююча

дія світильників у приміщенні, на робочому місці з ПК викликає не тільки астенопічні явища, але й функціональні порушення очей користувача.

Кольоровий шрифт збільшує навантаження на зір, оскільки складові кольорів мають різні довжини хвиль і видимі на різній віддалі. Око потребує точнішої адаптації, ніж при чорно-білому зображенні.

г) для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

д) об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не чіткими контурами ,пофарбованими головним чином по краю поля зору . Щоб погасити всі кольори ,в яких об'єкт не має корекції ,застосовують жовто-зелений світлофільтр .З огляду на те,що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра ,жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф.насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачанняпостаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і

включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками [24].

4.3 Заходи з виробничої санітарії

а) параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних). Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона. Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;

– в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;

– в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;

– в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % 45 при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

б) Виробниче освітлення організується і нормується залежно від:

– розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);

– виду і системи освітлення.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

– природне (бокове або верхнє);

– штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки, визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції).

Охоронно-пожежна сигналізація неадресного типу влаштована на неадресних (порогових) датчиках. Обладнання розраховане на цілодобову

роботу і відповідає необхідним вимогам пожежної безпеки. До складу системи ОПС входить панель, блок управління і індикації та програмне забезпечення.

Панель системи ОПС призначена для прийому сповіщень від шлейфів сигналізації з пожежними та охоронними сповіщувачами або інших приладів, перетворення сигналів, видачі сповіщень про пожежу і/або проникнення з включенням оповіщення та інших виконавчих пристроїв і передачі сповіщень на пульт централізованого спостереження.

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах дозволяє:

- контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;
- видавати повідомлення про пожежу та/або проникнення на блоці індикації;
- включати систему оповіщення та інші виконавчі пристрої комплексної системи безпеки;
- передавати повідомлення на Пульт централізованого спостереження, якщо він передбачений проектом.

Разом із системою ОПС можуть працювати такі види охоронних датчиків, як:

- інфрачервоні, що реагують на рух;
- магнітоконтатні, що реагують на розмикання дверей;
- акустичні, що реагують на розбивання скла.

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об'єднуються в шлейфи сигналізації.

4.5 Заходи безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

Підвищення міцності промислових споруд, а також їх стійкості до дії ударної хвилі, по-перше, пов'язано із значними затратами, а по-друге, все ж неповністю гарантують їх збереження в епіцентрі ядерного вибуху. У зв'язку із цим проведення робіт по зміцненню тих чи інших споруд може плануватись і здійснюватися лише в цілях захисту особливо цінного, унікального обладнання або в тих випадках, коли окремі важливі споруди мають значно меншу міцність, ніж інші, і «підтягнувши» їх міцність до середніх по заводу величин, можна без великих затрат підвищити стійкість об'єкту в цілому.

Вибір заходів, які забезпечують підвищення стійкості об'єкту, визначається різними місцевими умовами в кожному конкретному випадку. Найбільш ефективними являються заглиблення, зменшення парусності і висоти споруд. Міцність і жорсткість конструкцій можна підвищити встановленням контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій, розпірок і відтяжок. Стійкість незначних по розмірам споруд підвищується шляхом обсіпки нижньої частини їх стін ґрунтом (піском і т.п.). Цей же спосіб значно підвищує захисні властивості споруд по відношенню до дії радіаційних випромінювань.

Захист обладнання і готової продукції передбачає розміщення деяких видів обладнання і продукції у заглиблення в приміщеннях, а також підготовку індивідуальних захисних пристроїв.

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, оскільки доводити міцність цехових споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування і пошкодження особливо цінного обладнання, унікальних шліфувальних, токарних, розточних і зубофрезерних станків, пресів і кувальних машин, насосного обладнання, розрахунково-аналітичних машин і тощо.

Для зменшення руйнування обладнання підсилюють його найбільш слабкі деталі та вузли, виготовляють їх з'ємними і створюють запаси для заміни пошкоджених. Стійкість обладнання від падіння під дією ударної хвилі ядерного вибуху підвищують шляхом надійного закріплення на фундаменті, створення контрфорсів, заглиблень. Запас найбільш нестійких деталей і вузлів для важливого унікального обладнання слід утримувати в спорудах, які забезпечили б їх збереження при дії ударної хвилі.

Підвищення стійкості обладнання може бути досягнуто також шляхом заміни застарілих зразків новими, які найбільш відповідають вимогам до їх стійкості, а також скороченням числа типомоделей станків, що використовуються, що в подальшому значно спростить проведення ремонтних і відновлювальних робіт; заміною горючих і вибухонебезпечних змащувально-охолоджувальних рідин (наприклад, сульфозфрезолу, фрезолу, керосину) емульсіями; впровадженням в процеси термічної обробки с.в.ч. і т. п.

Важливе значення має і раціональне розміщення обладнання. Найбільш цінне і нестійке обладнання і прилади слід розміщувати в найбільш міцних приміщеннях, важкі станки, машини і агрегати повинні розташовуватись на нижніх поверхах споруд. Машини і станки великої цінності рекомендується розміщувати не в основних промислових, а у окремо розташованих спорудах, які мають легкі конструкції і конструкції, які важко горять, руйнування їх не приведе до руйнування цього обладнання.

Особливо велике значення має стійкість і розгалуженість систем енергетичного забезпечення (електроенергія, газо-, паро- і теплопостачання, забезпечення стисненим повітрям).

До числа заходів, які можуть бути рекомендовані для підвищення стійкості роботи систем енергопостачання, відносять: перенос інженерних і енергетичних комунікацій у підземні колектори, розміщення найбільш відповідальних пристроїв (центральні диспетчерські і розподільчі пункти, компресорні і аварійні електричні станції) в захищених спорудах з

підвищеною стійкістю до впливу ударної хвилі; кільцювання всіх енергетичних систем; побудова захищених автономних джерел електро- і водопостачання, резервних ємностей і резервуарів; придбання пересувних електростанцій і насосних агрегатів з двигунами внутрішнього згорання; обладнання пристосувань для роботи підприємств на різних видах палива; кооперування постачання групи підприємств, тобто створення умов і можливостей для використання джерел електро-, газо-, тепло- і водопостачання, кисневих станцій, складів палива одного підприємства для забезпечення потреб іншого.

Стійкість систем електропостачання підвищується базуванням підприємств на декількох енергоджерелах, віддалених один від іншого на таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач необхідно підводити не менш ніж із двох напрямків, а приймальні підстанції (ЦРП, РП) розташовують одна від одної на можливо більшій відстані. Доцільні і такі заходи, як забезпечення захисту існуючих і побудова резервних підстанцій, перевід енергопостачання із повітряного на підйомно-кабельне, встановлення автоматичних роз'єднувачів для відімкнення ділянок сітей у випадку перевантаження і короткого замикання. Споруди цивільної оборони забезпечуються автономними джерелами енергопостачання.

Система водопостачання також повинна базуватися на двох і більше незалежних вододжерелах, віддалених один від одного на відповідну відстань. Рекомендується встановлювати додаткові бурові скважини (артезіанські скважини), кільцювати розвідні сіті, захищати гідранти і водорозбірні колонки, впроваджувати автоматичні і напіваавтоматичні пристрої, які б відключали б пошкоджені ділянки без порушення роботи іншої частини мережі.

На сітях газопостачання і теплофікації слід передбачити заходи проти втрачання газу (пари, води) у випадку руйнування магістральних ліній і внутрішньої сіті у пошкоджених або зруйнованих спорудах. Це досягається

шляхом встановлення на вводах в споруди або на відводах магістральних ліній автоматичних запірних пристроїв, які відмикають лінії при руйнуванні. Встановлюють і задвижки дистанційного управління, які дозволяють відімкнути сіті із одного центра управління.

Мережі зв'язку можна вважати підготовленими з точки зору цивільної оборони, якщо забезпечений захист вузлів зв'язку і розподільчих шаф, а повітряні лінії зв'язку на території підприємства переведені на підземно-кабельні. Стійкість засобів зв'язку може бути підвищена шляхом прокладання другого живлення фідерів на автоматичну телефонну станцію і радіовузол заводу, придбання пересувних електростанцій для зарядки акумуляторів АТС і для живлення радіовузла при повному відключенні постійних джерел електроенергії.

Важливе значення має планове накопичення ультракороткохвильових радіостанцій, телефонних апаратів і телефонного кабелю польового типу для створення тимчасових ліній зв'язку на випадок виходу із ладу постійних. Необхідно також мати незмінний резерв запасних частин і деталей для ремонту всіх засобів зв'язку.

Попередження або зменшення до мінімуму можливих руйнувань, пожеж і втрат від додаткової дії вторинних факторів ураження ядерного вибуху в значній мірі залежать від проведення інженерно-технічних заходів, направлених на підвищення загальної стійкості всього інженерно-технічного комплексу підприємства і його окремих елементів. Крім цього, ця задача досягається розосередженням (вивозом) наднормативних запасів вибухових і вогнебезпечних речовин на безпечній відстані від самого підприємства, а також від інших населених пунктів та об'єктів. Таке розосередження вибухових та вогнебезпечних матеріалів здійснюється в основному при виникненні погрози нападу супротивника, однак уже у мирний час для цього слід підготовляти склади у загородній зоні.

Роботи із вибуховими речовинами рекомендується сконцентрувати в спеціальних окремо розташованих спорудах, щоб виключити джерела

додаткової небезпеки при здійсненні цих робіт у різних цехах. На багатьох підприємствах запаси горючих рідин (нафта, бензин, керосин, масла і т. п.) містяться не в підземних сховищах, а в наземних резервуарах та інших ємностях. В цих випадках такі ємності повинні бути уже в мирний час обваловані, тобто оточені валами ґрунту такої висоти, щоб вони були здатні втримати весь об'єм рідини при руйнуванні резервуару.

Створення обмежувальних земляних валів (дамб) являється також одним із ефективних способів захисту об'єктів, розташованих в низинних ділянках місцевості, від катастрофічного затоплення в результаті руйнування поблизу розташованих гідропоруд.

Для попередження виникнення джерел хімічного зараження можна рекомендувати наступні заходи: розосередження складів отрутохімікатів, а також обладнання їх пристосуваннями, які забезпечують швидку нейтралізацію отруйних речовин (змивання водою; обробка залізним купоросом приміщень, небезпечних із-за наявності ціаністих сполук; обробка кислот лугами і т. п.); виготовлення міцної і надійної тари; настил підлог в складах отрутохімікатів із кислотоупорних і лугостійких матеріалів; створення запасів нейтралізуючих речовин; ізоляція (відгородження) в цехах небезпечних ділянок (травлення, ціанування, азотування та ін.); забезпечення робочих небезпечних і сумісних з ними ділянок спеціальними засобами індивідуального захисту (промислові протигази, захисний одяг).

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Зміцнення конкурентоспроможності та забезпечення стійкості гірничо-металургійного обладнання є критично важливим завданням у сучасних умовах промисловості. Розробка та оптимізація складу зносостійкої економлегової сталі стає ключовим аспектом для досягнення цих цілей. Застосування такого матеріалу дозволяє підвищити тривалість служби обладнання, знизити витрати на його обслуговування та ремонт, а також забезпечити більшу продуктивність всього виробничого процесу.

Маркетинговий аспект цієї теми полягає в тому, щоб ретельно дослідити потреби ринку та вимоги клієнтів у галузі гірничо-металургійного виробництва. Розуміння специфіки та унікальних вимог цільової аудиторії дозволить розробити сталь, яка буде ідеально відповідати їхнім потребам та очікуванням. Важливим етапом є також вивчення конкуренції, аналіз їхніх продуктів та стратегій, щоб знайти нішу для нового продукту та визначити його конкурентні переваги.

Стратегія маркетингу включає в себе не лише просування продукту на ринку, але й позиціонування його як найбільш підходящого рішення для специфічних потреб галузі. Це може включати розробку спеціалізованих маркетингових матеріалів, участь у виставках та конференціях, співпрацю зі спеціалізованими виданнями та експертами галузі. Головною метою буде створення у клієнтів упевненості в тому, що продукт відповідає їхнім потребам найкращим чином і є найбільш вигідним вибором порівняно з альтернативними пропозиціями.

Таким чином, успішна розробка та оптимізація складу зносостійкої економлегової сталі для деталей гірничо-металургійного обладнання потребує не лише технічних знань і навичок, але й глибокого розуміння ринкових та маркетингових аспектів. Тільки інтегрований підхід, який

поєднує в собі технічну експертизу з ретельним аналізом ринку та маркетинговою стратегією, забезпечить успішне впровадження нового продукту на ринку та його прийняття споживачами.

5.2 Послідовний аналіз

Аналіз напрямків застосування та вигоди для споживачів, який представлений в таблиці 5.1, надає комплексне уявлення про можливості використання розробленої та оптимізованої зносостійкої економлегової сталі. Цей аналіз допомагає ідентифікувати різноманітні галузі, де вироби з даного матеріалу можуть знайти застосування, та визначити конкретні вигоди, які вони можуть принести споживачам.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Вміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Розробка та оптимізація складу зносостійкої економлегової сталі для деталей гірничо-металургійного обладнання	Гірнича промисловість, металургія, виробництво спеціалізованого обладнання.	Для гірничої промисловості: зниження витрат на заміну деталей та підвищення ефективності роботи обладнання.

Аналіз характеристики потенційного ринку, який відображений у таблиці 5.2, надає детальне розуміння особливостей та потенціалу ринку для продуктів на основі зносостійкої економлегованої сталі. Цей аналіз допомагає визначити ключові параметри ринку, такі як обсяги споживання, тенденції зростання, основні гравці та конкурентна ситуація.

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	2
Головні конкуренти	Українські: Комбінат "Запоріжсталь", ТОВ "Електросталь Кю". Зарубіжні: ArcelorMittal, POSCO, Nippon Steel.
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільний попит із тенденцією до зростання через збільшення потреб у високоміцних матеріалах.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі витрати на дослідження та розробку, необхідність сертифікації продукції.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дотримання стандартів ISO, ASTM для металургійної продукції, необхідність отримання сертифікатів якості в Україні та за кордоном.

Аналіз потенційних груп клієнтів, їх характеристик і формування переліку вимог до товару для кожної групи, як відображено в таблиці 5.3, є ключовим етапом у визначенні стратегії продажів та маркетингу продукту на ринку. Цей аналіз дозволяє точно зрозуміти потреби різних сегментів ринку та адаптувати продукт до їхніх вимог і очікувань.

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Запит на високоякісну зносостійку сталь для зменшення витрат на обслуговування.	Гірничодобувні компанії, металургійні заводи, виробники спецтехніки..	Гірничодобувні компанії цінують довговічність, металургійні заводи – високі властивості сталі, виробники спецтехніки – специфічні вимоги до матеріалів.	Висока зносостійкість, оптимальна вартість, відповідність технічним стандартам.

Оцінка SWOT-аналізу у контексті реалізації інноваційного проекту допомагає визначити сильні та слабкі сторони проекту, а також виявити можливості та загрози, які можуть вплинути на його успішність. Отримані результати, представлені у таблиці 5.4, надають чітке уявлення про внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на проект, та допомагають зрозуміти, як використати переваги та уникнути загроз.

SWOT-аналіз є потужним інструментом, який дозволяє команді проекту глибше розібратися у внутрішніх і зовнішніх чинниках, що впливають на його успішність. Ретельне вивчення сильних і слабких сторін, можливостей і загроз дозволяє зрозуміти, які переваги можна максимізувати, а які ризики слід уникнути чи зменшити.

Цей аналіз служить основою для прийняття обґрунтованих рішень і розробки стратегій, спрямованих на досягнення цілей проекту. На основі SWOT-аналізу команда може розробити тактики, спрямовані на збільшення

конкурентоспроможності проекту, впровадження ефективних заходів управління ризиками, та використання можливостей для максимального виграшу.

Цей інструмент допомагає зосередитися на ключових аспектах проекту, виявити потенційні перешкоди та ризики заздалегідь, щоб грамотно відреагувати на них та підготуватися до майбутніх викликів. У результаті, SWOT-аналіз допомагає забезпечити більш ефективне управління проектом та досягнення його успіху.

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Інноваційність продукту, покращення характеристик зносостійкості, розширення терміну служби обладнання, економія коштів на ремонт та заміну деталей, підвищення ефективності обладнання.	Високі витрати на дослідження та розробку, потреба в первинному залученні інвестицій, складність входження на ринок із вже існуючими конкурентами.
Можливості:	Загрози:
Розширення ринку збуту за рахунок входження в нові галузі, збільшення попиту на інноваційні матеріали, можливість отримання державних грантів на наукові розробки.	Зміни у законодавстві, що регулює виробництво та використання металургійної продукції, поява нових технологій з боку конкурентів, високі бар'єри для входу на міжнародні ринки.

Першим етапом у розробленні ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку, що передбачає опис цільових груп потенційних споживачів. Це важлива складова процесу планування, оскільки дозволяє чітко зрозуміти,

кому саме буде спрямована продукція або послуги, та які потреби ці групи мають.

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Промислові підприємства з високим ступенем зносу обладнання, будівельні компанії, що вик. спецтехніку.	Висока у разі забезпечення довговічності і економії витрат на обслуговування.	Промислові під-ва: 1500 тонн/рік; будівельні компанії: 700 тонн/рік.	Висока у промисловому сегменті, помірна в будівельному секторі.	Складна у промисловому сегменті через високі вимоги до якості, простіша у будівельному секторі.

Було проведено аналіз зацікавлених сторін та їхнє ранжування, що послужило основою для створення Мапи зацікавлених сторін. Ця мапа допомагає візуалізувати відносини між різними зацікавленими сторонами у проекті. Для кращого уявлення їх взаємодії були створені три концентричні зони. Центральна зона мапи відображає сектор відповідальностей та компетенцій ініціатора проекту. В цій зоні зосереджені ключові зацікавлені сторони, які мають найбільший вплив на проект і з якими ініціатор співпрацює безпосередньо, що спрощує управління проектом.

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Науковий керівник	1	12889	20	2577,8	15466,8	185601,6	40832,352
Старший науковий співробітник	2	11882	20	2376,4	14258,4	342201,6	75284,352
Молодший науковий співробітник	2	10625	20	2125	12750	306000	67320
Лаборант	2	7700	20	1540	9240	221760	48787,2
Разом	7	43096	-	8619,2	51715,2	1055563,2	232223,904

Розраховано вартість матеріалів для НДР. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення дослідних зразків (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5
Папір	–	3	120	360
Ручка	–	20	15	300
Олівець	–	20	10	200
Зразки		120	86	10320

Продовження таблиці 5.7

1	2	3	4	5
Реактиви	—	10	900	9000
Змінні лінзи	—	2	3200	6400
Тара зразків	—	14	50	700
Разом				27110

Розраховано вартість спожитих послуг. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Виробнича програма, одиниць	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	—	600 кВт×год	2,65 грн/кВт×год	1590
Водопостачання	—	6 м ³	28,3 грн/м ³	169,8
Теплопостачання	—	2 Гкал	3777 грн/Гкал	7554
Охоронна система	—	2	1200 грн	3000
Утилізація реактивів	2	8	200 грн	1600
Разом				10185

Амортизація є процесом поступового зменшення вартості основних засобів або необоротних активів протягом їхнього корисного терміну використання. Це поняття використовується в обліку та фінансах для відображення зниження вартості активу через зношення, фізичне зношення, моральне застаріння або втрату корисності з плином часу.

Амортизація є важливим елементом управління фінансами підприємства. Вона дозволяє враховувати поступове знецінення активів у фінансовій звітності компанії протягом їхнього корисного терміну. Річна сума

амортизації списується з прибутку підприємства як витрати, що впливають на його фінансовий стан та звітність.

Цей процес необхідний не лише для визначення реальної вартості активів підприємства, але і для належного розрахунку податкових відрахувань та збереження прибутку, який може бути використаний для подальшого розвитку або інвестування в підприємство.

Таблиця 5.9 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Кіл-ть	Первісна вартість ОЗ	Вартість обл-ня	Річні амортиз. Відрах.	Витрати на поточний ремонт у розмірі 2%
Металографічний мікроскоп	102 365	102365	14331,1	2047,3	102 365
Електронний мікроскоп	1357110	1357110	189995,4	27142,2	1357110
Аналізатор металів та сплавів	941240	941240	131773,6	18824,8	941240
Комп'ютер	26547	106188	14866,32	2123,76	26547
Принтер	14521	14521	2032,94	290,42	14521
Разом	2441783	2521424	352999,36	50428,48	2441783

Розроблено кошторис витрат (табл. 5.10) при проведенні науково-дослідницької роботи на основі попередніх даних (табл. 5.6-5.9).

Метою розроблення кошторису витрат для проведення науково-дослідницької роботи на основі попередніх даних є планування та оцінка фінансових ресурсів, необхідних для виконання досліджень. Цей кошторис

визначає очікувані витрати, включаючи витрати на матеріали, обладнання, персонал, аналітичні методи, лабораторні витрати, витрати на адміністрування та будь-які інші витрати, що можуть виникнути під час дослідницької роботи.

Цей кошторис служить важливим інструментом для ефективного управління фінансами під час проведення наукових досліджень. Він допомагає забезпечити адекватне фінансування проекту, уникнути несподіваних витрат і виявлення можливих джерел фінансування, які можуть бути необхідні для успішного завершення досліджень.

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати
Фонд заробітної плати, грн/рік	1051474
ЄСВ, грн/рік	231324
Матеріальні витрати, грн/рік	38860
Вартість спожитих послуг, грн/рік	10186
Амортизація обладнання, грн/рік	366189
Поточний ремонт, грн/рік	52313
Виробнича собівартість, грн/рік	1750345
Адміністративні витрати, грн/рік	525737
Повна собівартість, грн/рік	2276081

5.3 Розрахунок економічного ефекту при впровадженні результатів НДР

Розробка економнолегованої сталі для гірничо-металургійного виробництва включає термічну обробку, механічну обробку, собівартість сплавів, що розглядаються (табл. 5.11):

- собівартість однієї тони (C_1) промислової серійної сталі Гадфільда: $C_1 = 1591025$ грн/т;

- собівартість однієї тони (C_2) розробленої економнолегованої сталі становить $C_2 = 398705$ грн/т.

Таблиця 5.11 – Вартість сировини для виготовлення сплавів

Назва	Ціна грн/кг	110Г13Л		Новий сплав	
		Вміст	Ціна за кг	Вміст	Ціна за 1 кг, %
Fe	6	Основа	6	Основа	6
Mn	350	14.5	238,5	2	-
Al	240		-	2	24
Si	178	-	-	3	26,7
Mo	1300			3	195
Разом		100	242.5		182

Зниження собівартості (ΔC) розробленої економно-легованої сталі, в порівнянні з вартістю промислової серійної сталі становить:

$$\Delta C = (C_1 - C_2) / C_1 \quad (5.1)$$

$$\Delta C = (1591025 - 398705) / 1591025 = 0,74 = 74 \%$$

Таким чином, орієнтовне зменшення собівартості деталей з розробленого сплаву відносно технічно чистого магнію становить 70 %.

Річна потреба виробництва у деталях з розробленого сплаву складає 110000 деталей на рік, що складається з 10000 деталей вагою 1-3 кг, 50000 деталей вагою 0,5-2 кг та 50000 деталей 0,1-0,2 кг. Таким чином, необхідну кількість сплаву можна розрахувати як (5.2):

$$A = n_1 \times m_1 + n_2 \times m_2 + n_3 \times m_3 \dots n_n \times m_n, \quad (5.2)$$

Де n_n – кількість деталей у річному замовленні відповідного типу;

M_m – середня маса деталі відповідного типу.

Річна потреба виробництва була:

$$A_{\text{спл}} = 2000 \times 2 + 14000 \times 1,75 + 14000 \times 0,15 = 30600 \text{ кг} = 30,6 \text{ т}$$

Відповідно, розраховано мінімальну ціну товару без врахування податку, при якій 100% реалізація 115 т продукції щорічно компенсує витрати на проведення НДР впродовж 5 років:

$$\Pi = (C_{\text{ндр}} + C_2 \times A_{\text{спл}} + P + H) / A_{\text{спл}}, \quad (5.3)$$

Де Π – ціна товару;

$C_{\text{ндр}}$ – собівартість НДР згідно кошторису (табл. 5.10), грн;

C_2 – собівартість розробленого сплаву, грн/кг;

P – витрати на реалізацію товару, 20 % від собівартості, грн;

H – накладні витрати (адміністративні витрати, комунальні послуги, амортизація тощо), 10 % від собівартості, грн;

$A_{\text{спл}}$ – обсяг замовлення, кг.

$$\begin{aligned} \Pi &= (2260020 + 398705 \times 115000 + 9170215 + 7601040) / 115000 = \\ &= 532 \text{ грн/кг} \end{aligned}$$

При річному замовленні виробництва у 30,6 т, прибуток за 5 років складав:

$$\Pi_{\text{чм}} = \Pi_{\text{чм}} \times (A_{\text{чм}} \times 5) - C_1 \times (A_{\text{чм}} \times 5) - P_{\text{чм}} - H_{\text{чм}} \quad (5.4)$$

Де $\Pi_{\text{чм}}$ – ціна виробів, грн/кг;

C_1 – собівартість стандартної сталі грн;

$P_{\text{чм}}$ – витрати на реалізацію товару, 20 % від собівартості, грн;

$H_{\text{чм}}$ – накладні витрати (адміністративні витрати, комунальні послуги, амортизація тощо), 10 % від собівартості, грн;

$A_{\text{чм}}$ – обсяг замовлення, кг.

$$\Pi_{\text{чм}} = 538 \times (30600 \times 5) - 1591025 \times (30600 \times 5) - 15202080 - 7601040 = 7938955 \text{ грн}$$

В результаті впровадження нової сталі у виробництво середня ціна за 1 кг товару зменшилась з 1242 грн/кг до 532 грн/кг. При цьому, зважаючи на підвищену ефективність нового сплаву, об'єм замовлення було збільшено з 30,6 т до 115 т на рік. Таким чином, при впровадження нового сплаву прибуток виробництва за 5 років буде становити:

$$\Pi_{\text{чм}} = \Pi \times (A \times 5) - C_2 \times (A \times 5) - P - H \quad (5.4)$$

Де Π – ціна виробів з розробленому сплаві, грн/кг;

C_2 – собівартість розробленого магнію грн;

P – витрати на реалізацію товару, 20 % від собівартості, грн;

H – накладні витрати (адміністративні витрати, комунальні послуги, амортизація тощо), 10 % від собівартості, грн;

A – обсяг замовлення розробленого сплаву, кг.

$$\Pi = 1242 \times (115000 \times 5) - 398705 \times (115000 \times 5) - 15202080 - 7601040 = 91212480 \text{ грн}$$

Отже, економічний ефект від впровадження нового сплаву склав:

$$E_k = \Pi - \Pi_{\text{чм}} = 91212480 - 7938955 = 83273525 \text{ грн}$$

Таким чином при заміні серійної сталі 110Г13Л на нову економнолеговану, окрім зниження собівартості самої деталі, можна отримати економічний ефект 83273525 при цьому не втративши експлуатаційних характеристик деталі.

ВИСНОВКИ

Основним підсумком цієї роботи є розробка зносостійкої економнолегованої сталі для литих деталей млинів кульового розмелювання (черпаки та решітки), які працюють в умовах абразивного зношування, що поєднується з ударними навантаженнями, що дало змогу не лише підвищити довговічність роботи МШР, а й знизити собівартість виливків за рахунок економії нікелю, молібдену та ін. дефіцитних елементів.

Розв'язання поставлених завдань було досягнуто в результаті проведення досліджень із застосуванням сучасних методів досліджень і аналізу, і математичного оброблення експериментальних даних, які дали змогу зробити такі узагальнення і висновки:

Проведено аналіз стійкості черпаків і решіток МШР на підприємствах. Встановлено, що простої та довговічності МШР визначаються матеріалом, з якого виготовлено найвідповідальніші їхні деталі (черпаки та решітки).

Встановлено необхідний рівень механічних властивостей, що забезпечує надійну і довговічну роботу млинів. Показано, що поліпшення якості раніше застосовуваних матеріалів (зниження вмісту шкідливих домішок і модифікування) не дає змоги досягти необхідного рівня властивостей.

Математичне планування експерименту з реалізацією повного факторного аналізу за планом 2^4 дало змогу отримати математичні моделі, які адекватно описують вплив хімічного складу на рівень їхніх механічних властивостей і зносостійкості. Отримано додаткові дані щодо впливу кремнію та марганцю на властивості хромовмісної сталі. Проведена оптимізація складу сталі дала змогу отримати сталь з підвищеним рівнем механічних властивостей і зносостійкості, що дало змогу підвищити надійність роботи гірничо-металургійного обладнання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Karbasian H., Tekkaya A.E. A review on hot stamping // Journal of Materials Processing Technology №210. 2010. pp. 2103–2118.
2. Juna H.J., Kanga J.S., Seob D.H., Kangb K.B., Park C.G. Effects of deformation and boron on microstructure and continuous cooling transformation in low carbon HSLA steels // Materials Science and Engineering. 2006. A 422. pp. 157–162.
3. Lechler, J., Merklein, M., Geiger, M. Determination of thermal and mechanical material properties of ultra-high strength steels for hot stamping // Steel Research International. - 2009. - 79 (2). - C . 98–104.
4. Uematsu Y., Yamasaki K. Formation of deformation band and recrystallization behavior of fully ferrite stainless under hot rolling process // Stainless Steels 87: Proc. Conf., York, 14-16 Sept., 1987. London. - pp. 386-393.
5. Kodjaspirov G.E., Kim. I. Thermomechanical processing of steels // St.Petersburg State Technical University. 1998. - 228 p.
6. Preliminary thermomechanical processing of Middle Carbon Low Alloyed Steels / Kodzhaspirov G.E, Rudskoy A.I., Drakatos P.A. // Materials and Metallurgy: Proc. Of the 6th Int. Conf. SHMD 2004, Sibenek, Croatia. Sibenek. 2004. pp. 8-14.
7. D.V. Edmondsa, K. Hea, F.C. Rizzob, B.C. De Coomanc, D.K. Matlockd, J.G. Speerd, Quenching and partitioning martensite- a novel heat treatment // Materials science and engineering-A. -2006. - Volumes 438–440. – pp. 25–34.
8. Clarke A.J., Speer J.G., Matlock D.K., Rizzo F.C., Edmonds D.V., etc. Influence of carbon partitioning kinetics on final austenite fraction during quenching and partitioning // Scripta Materialia. 2009. vol. 61. pp.149-152.
9. Zhonga N., Wanga X.D., Wangb L., Rong Y.H. Enhancement of the mechanical properties of a Nb-microalloyed advanced high-strength steel treated by quenchingpartitioning-tempering process // Materials science and engineering A. 2009. Volume 506. - pp. 111-116.
10. Li H.Y., Lua X.W., Wub X.C., Minb Y.A., Jin X.J. Bainitic transformation during two-step quenching and partitioning process in a medium carbon steel containing silicon // Materials science and engineering A. 2010. Volume 527. Issue 23. pp. 6255-6259.

12. Lee W.S., Su T.T. Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength steel under quenched and tempered conditions // *Journal of Materials Processing Technology* – vol. 87. 1999. pp. 198-206.

13. Lee J.B., Kang N., Park J.T., Ahn S.T., Park A.D., etc. Kinetics of carbide formation for quenching and tempering steels during high-frequency induction heat treatment // *Materials Chemistry and Physics*. - 2011. - vol. 129. - pp. 365-370.

14. Horn R.M., Ritchie R.O. Mechanisms of tempered martensite embrittlement in low alloy steels // *Metallurgical Transactions A*, vol. 9A. - 1978. - pp. 1039-1053.

15. Nagakura S., Shirashi K., Toyoshima M. // *Proc. 1st JIM int. Symp. on New Aspects of Martensitic Transformation*, Suppl. to *Trans. JIM*, vol. 17. 1976. - 299 p.

16. Tanaka Y., Shimizu K. Carbide formation upon tempering at low temperatures in FeMn-C alloys // *Transactions of JIM* vol. 22. - 1981. - pp. 779-788.

18. Merklein, M., Lechler, J. Determination of material and process characteristics for hot stamping processes of quenchable ultra-high strength steels with respect to a FE-based process design // *SAE World Congress: Innovations in Steel and Applications*. AE Technical Paper Series, 2008-01-0853. - 2008.

19. The history of hardening of boron steel in northern Sweden / Berglund G. // *1st International Conference on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel*, Kassel, Germany. - 2008. - pp. 175–177.

20. Morito S., Huang X., Furuhashi T., Maki T., Hansen N., The morphology and crystallography of lath martensite in alloy steels // *Acta Mater.* 54. - 2006. - pp. 5323–5331

21. Hirotsu Y., Nagakura S. Crystal structure and morphology of the carbide precipitated from martensitic high carbon steel during the first stage of tempering // *Acta Metallurgica* 20. 1972. pp. 645-648.

22. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.11-12. – На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16. – К. : МНС України, 2012. – 116 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці);

23. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом: ДСТУ Б В.2.5-82:2016. – На заміну ДБН

В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с. – (Державний Стандарт України)

24. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями: НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – 59 с.