

РЕФЕРАТ

Звіт з Науково-Дослідної та Педагогічної практики 40 с, 24 рис, 13 табл, 27 бібліогр.

Об'єкт дослідження - Процес модифікування і мікролегування сплавів на основі заліза та механізми управління їх спеціальними властивостями.

Мета роботи – виявити вплив легування на структуру та властивості зносостійкого білого чавуну.

Під час науково-дослідницької практики у роботі було виконано літературний огляд, за темою завдання, були використані сучасні методики визначення структури литих сплавів, контролю параметрів технологічних процесів модифікування і мікролегування, опрацювання отриманих даних та визначення ливарних і механічних властивостей

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1 Промислові зносостійкі сплави для виробництва литих деталей, які працюють в умовах гідроабразивного зносу.....	7
1.1.1 Зносостійкі високолеговані чавуни.....	7
1.1.2 Зносостійкі високовуглецеві сталі.....	8
1.2 Характеристики умов експлуатації матеріалів у гідроабразивному середовищі.....	9
Висновки та постановка завдання дослідження.....	15
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	17
2.1 Аналіз методів визначення зносостійкості в умовах абразивного, ударно-абразивного та гідроабразивного зношування.....	17
2.2 Вибір зразків для визначення зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі то розроблення технології їх виготовлення...	17
2.3. Визначення параметрів дослідження зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі.....	20
2.3.1 Знос зразків залежно від тривалості їх випробувань.....	21
2.3.2 Знос зразків залежно від кількості обертів робочого валу.....	23
2.3.3 Знос зразків залежно від кількості абразиву.....	24
2.3.4 Знос зразків залежно від гранулометричного складу абразиву.....	25
2.3.5 Рекомендований режим випробування та умови визначення зносостійкості зразків у гідроабразивному середовищі.....	26
2.4 Виплавлення експериментальних зносостійких сплавів у лабораторних умовах.....	26
3 ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ ЧАВУНІВ У ГІДРОАБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	31

3.1	Визначення оптимального складу зносостійкого білого чавуну...	31
3.1.1	Вплив хрому на основні властивості зносостійкого чавуну.....	31
3.1.2	Вплив марганцю на основні властивості високохромистого зносостійкого чавуну.....	33
	Висновки.....	
4	ПЕДАГОГІЧНА ЧАСТИНА.....	36
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	37
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	39
	ДОДАТКИ.....	41

ВСТУП

У сучасному виробництві особливо актуальною залишається проблема надійності та довговічності сучасної техніки. Важкі умови роботи машин і швидке зношування окремих деталей є відмінними рисами сучасного машинобудування й виробництва.

Незважаючи на те, що у світовій практиці накопичений значний досвід застосування в якості зносостійких матеріалів високохромистих, хромомарганцевих, хромонікелевих та білих чавунів, для виготовлення литих деталей машин і механізмів, що працюють в екстремальних умовах, а саме абразивних і гідроабразивних середовищах, проблеми залишаються.

З кожним роком погіршуються умови експлуатації таких машин, збільшуються обсяги виробництва продукції та ін. Така тенденція не сприяє економії ресурсів та зменшенню економічних витрат на процеси створення різноманітної техніки у країні.

У зв'язку з цим задачі з'ясування причин, які сприяють швидкому зношуванню металу в гідроабразивному середовищі, і підвищенню довговічності роботи машин через удосконалення технології, покращання спеціальних властивостей процесами модифікування та мікролегування базових зносостійких сплавів на основі заліз, й механізмів управління цими процесами під час виготовлення литих деталей до цих машин є дуже актуальною та важливою темою на теперешній час.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Промислові зносостійкі сплави для виробництва литих деталей, які працюють в умовах гідроабразивного зносу

У промисловості використовують переважно зносостійкі сплави для литих деталей, які працюють в умовах абразивного, ударно-абразивного а гідроабразивного зносу. Це: зносостійкі високолеговані чавуни, зносостійкі високовуглецеві сталі.

1.1.1 Зносостійкі високолеговані чавуни

Легований чавун, крім звичайних елементів (Сг, Si, S і Р), містить спеціально введені елементи для підвищення механічних властивостей або для додання будь-яких спеціальних властивостей: зносостійкості, жароміцності, кислототривккі тощо. При легуванні чавуну застосовуються ті ж елементи, що і при легуванні сталі (хром, нікель, мідь, титан, молібден та ін.). Чавун з підвищеним вмістом кремнію (вище 4%) і марганцю (понад 2%) відноситься також до легованого чавуну. Залежно від ступеня легування розрізняють низьколегований (з вмістом легуючих елементів до 2,5%), середньолегований (до-10%) і високолегований чавун (понад 10%).

Усі легуючі елементи змінюють як процес графітоутворення при евтектичному перетворенні, так і процес формування структури основної (металевої) маси при евтектоїдному перетворенні. Вони збільшують стійкість рідкої фази та аустеніту, сприяючи більшому ступеню переохолодження. Внаслідок цього кристалізація й формування структури, основною (металевої) маси відбувається в сприятливих умовах для отримання дрібного і середнього графіту й більш дисперсної основної маси. Правильно підбираючи вміст основних і легувальних елементів, можна отримати

феритної, перлитну, сорбітну, трооститну, мартенситну або аустенітну структури основної (металевої) матриці при певних розмірів, форми й розподілу графіту. Зазначеним способом можна досягати високих значень механічних властивостей, ніж у звичайного та модифікованого сірого чавуну ($M_b = 600 \dots 700$ МПа), й в разі необхідності надавати чавуну підвищену зносостійкість, антифрікціоність, жароміцність тощо.

Звичайний вуглецевий, низько- і середньолегований чавун не може в багатьох випадках забезпечити необхідні якості деталей, наприклад: підвищену корозійну стійкість, жароміцність тощо. Ці властивості забезпечує високолегований чавун.

У нафтовій, нафтохімічній і газовій галузях широко застосовується високолегований чавун - головним чином ніржавкий (аустенітний), високохромистий і висококремнистий, що поєднує в собі корозійну стійкість, теплостійкість та інші властивості. Ніржавкий (аустенітний) чавун завдяки однофазній структурі аустеніту має високу хімічну стійкість в багатьох агресивних середовищах. Так, він має підвищену стійкість (у 5-10 разів у порівнянні з сірим звичайним чавуном) в сірчаній мурашиній, оцтової кислоті, в каустичній соді, в ряді лужних середовищ, в морській воді, проте менш стійкий і соляній і швидко руйнується в азотній кислоті. Аустенітний чавун також досить міцний, зносостійкий, має високими технологічними властивостями [26].

1.1.2 Зносостійкі високовуглецеві сталі

Високовуглецева сталь через низку незаперечних переваг, і вона має, успішно застосовується для виробництва виробів, що використовуються в багатьох галузях промисловості. Між тим використання сталей даної категорії не завжди доцільно, тому дуже важливо добре розбиратися у властивостях і якісних характеристиках подібних сплавів.

Будь-яка сталь, як відомо, є сплавом заліза і вуглецю, до якого можуть додаватися різні легувальні елементи. Поділ сталей на мало-, середньо- і високовуглецеві залежить від того, в якій кількості у складі присутній вуглець. Даний елемент, який справляє серйозний вплив на характеристики готового сплаву, може міститися в сталях від 0,02 до 2,14%. У сталях, що належать до категорії високовуглецевих, кількість цього елемента в складі починається з позначки 0,5%.

Однією з відмінних особливостей, яку мають високовуглецеві сталі, є те, що вироби з них погано піддаються зварюванню, його виконання призводить до того, що в зоні зварного шва виникають тріщини. Пояснюється це тим, що такі матеріали, маючи певний хімічний склад, мають схильні до утворення загартованих зон у тих місцях, де метал піддається термічному впливу.

У зв'язку з такою особливістю високовуглецевих сталей, виконувати зварювання виробів з них варто тільки за допомогою електродів, що мають невисоку теплову потужність. Електрична дуга, з використанням якої виконується з'єднання виробів з високовуглецевих сталей, має бути відновного типу. Застосування окислювальної дуги в таких випадках призведе до того, що зі складу сталі буде випалюватися вуглець, і, як наслідок, метал в області зварного шва стане більш пористим. Між тим такого негативного ефекту можна уникнути, якщо попередньо прогріти вироби, що з'єднуються до температури 200...250 °С. [25]

1.2 Характеристики умов експлуатації матеріалів у гідроабразивному середовищі

Руйнування робочих органів гідромашин, які використовують для роботи на теплових електростанціях, відбувається, головним чином, внаслідок інтенсивного гідроабразивного зносу, точніше внаслідок дії на

матеріал абразивних часточок та ерозійного впливу води, яка сама по собі є активним зношувальним середовищем.

Дослідження і аналіз умов експлуатації деталей у гідроабразивному середовищі показують, що опір металів і сплавів гідроабразивному зношуванню залежить від їх хімічного складу та термічного оброблення, які забезпечують одержання структури металу з високими твердістю та зносостійкістю.

Зносостійкість сплавів у гідроабразивному середовищі є складною і неоднорідною функцією умов взаємодії деталей з абразивними часточками і середовищем [1...3]:

$$K = f (T, \Pi, d, K_T, K_\Phi, V, \lambda, \beta), \quad (1.1)$$

де T - тривалість зношування;

Π - концентрація абразиву в рідині;

d - розмір абразивних часточок;

K_T - коефіцієнт, який характеризує твердість абразивних часточок;

K_Φ - коефіцієнт, який характеризує форму абразивних часточок;

V - швидкість абразивних часточок в момент удару їх об поверхню деталі;

λ - кут атаки зносостійкої поверхні абразивними часточками;

β - коефіцієнт, який характеризує зниження механічних властивостей матеріалу внаслідок знеміцнювальної фізико-хімічної дії середовища.

Утрати маси матеріалу, який піддається гідроабразивній дії, прямо пропорційні тривалості цієї дії.

При збільшенні швидкості потоку рідини та розмірів абразиву утрати маси змінюються за параболічним законом. Абразивний знос суттєво збільшується при підвищенні концентрації абразиву в пульпі [24].

Суттєвий вплив на зносостійкість деталей у гідроабразивному середовищі справляє кавітаційна ерозія.

У випадку, коли в рідині знаходяться абразивні часточки, а сама рідина є агресивним середовищем, процес руйнування прискорюється в декілька

разів внаслідок ерозії, корозії і механічного руйнування металу гострими окрайками абразивних часточок.

Основними абразивними матеріалами, які є основною причиною зношування деталей системи гідрозоловидалення на теплових електростанціях, є шлак і зола. Концентрація таких матеріалів в пульпі досягає 25.. .30 %.

Гранулометричний склад шлаку і золи, які попадають у систему каналів гідрозоловидалення, залежить від таких факторів [1]:

- конструкції топок (з рідким чи твердим шлаковидаленням);
- експлуатаційних умов роботи котлоагрегату;
- системи приготування і подачі вугільного пилу;
- типу млина для приготування вугільного пилу;
- устаткування, за допомогою якого шлак подається у систему гідрозоловидалення.

Куски шлаку, які потрапляють у систему гідрозоловидалення, мають розміри від 0,04 до 100 мм. Середня щільність шлаку залежить від класу вугілля, яке спалюється, і коливається в межах від 2, 13 до 2, 96 г/см³ [1].

Часточки шлаку мають різноманітну форму - від голчастої до кулястої.

Форма шлакових часточок не залежить від їх величини, але залежить від модуля плавкості:

$$МП = [CaO] + [Fe_2 O_3] / [SiO_2] + [Al_2 O_3] \quad (1.2)$$

Чим більший модуль плавкості, тим круглішу форму мають часточки.

Швидкість руху абразивних часточок залежить від кількості обертів робочого колеса насоса. Для різних за конструкцією насосів ця кількість знаходиться в межах від 375 хв⁻¹ до 1460 хв⁻¹

Максимально зношуються робочі поверхні насосів при кутах їх атаки близько 30°.

Руйнування посилюється внаслідок постійного зіткнення часточок з поверхнею деталі. Перетворення кінетичної енергії в механічну при зіткненні абразивних часточок з поверхнею деталі призводить до деформації матеріалу

і зменшення міцності від втоми, до цього додається руйнівна дія рідини внаслідок кавітаційної ерозії.

Збільшення маси часточок і швидкості їх переміщення призводить до утворення надрізів у вигляді подряпин [4]. За наявності агресивного рідкого середовища зменшення міцності поверхні деталі здійснюється внаслідок корозійних явищ, оскільки через хімічну активність утворюються оксидні плівки, які в свою чергу, швидко руйнуються гідроабразивним середовищем.

На основі аналізу умов експлуатації деталей у гідроабразивному середовищі, в роботі [5] запропоновані спрощені закономірності абразивного зносу, з якими, в основному, можна погодитись:

$$\rho = k \cdot m \cdot P \cdot V^3 \cdot t, \quad (1.3)$$

де ρ - відносний знос, мм;

k - коефіцієнт пропорційності; t - маса часточок, мг;

P - концентрація часточок, %;

V - середня швидкість потоку, м/с;

t - термін дії потоку на робочу поверхню деталей, с.

Проте варто зазначити, що дійсна картина гідроабразивного зносу скривляється впливом різних факторів, серед яких можуть бути: зміна швидкості руху часточок, неоднаковість їх мас, корозійні процеси, зміна кута атаки тощо.

Суттєвий вплив на гідроабразивний знос справляє твердість абразиву, особливо коли вона перевищує твердість матеріалу робочих деталей насосів. Установлено [6], що розмір часточок, їх концентрація, форма, структура та мінералогічний склад впливають на в'язкість гідросуміші, що, в свою чергу, змінює умови розвитку кавітації в потоці.

С. П. Козирів відзначає, що при вмісті в рідині 0,1...0,5 % за об'ємом абразивних часточок, абразивний знос випереджає кавітаційну ерозію, а тому деталі багерних насосів мають гладенькі зношені ділянки внутрішньої поверхні, де переважає абразивний знос.

Механізм абразивного зносу різними авторами пояснюється по різному. Наприклад, М. М. Хрущов [7], вважає, що головним у процесі абразивного зносу поверхонь є мікрорізання - зняття абразивними часточками мікростружки з поверхонь деталей, причому, переважно, тими часточками, які сприятливо орієнтовані своїми гострими окрайками.

П. Н. Львов [10] стверджує, що навіть за умови одноразового дряпання абразивними часточками матеріал стає настільки підготовленим до руйнування, що легко відокремлюється наступними абразивними часточками.

Дослідженням [9] особливостей зношування сталей з великою кількістю залишкового аустеніту встановлено, що підвищений опір руйнуванню має місце внаслідок дисперсійного тверднення аустеніту, а також пластичної деформації, коли спостерігається гальмування руху дислокацій. Закріплення дислокацій збільшує зносостійкість, оскільки карбіди та межі окремих зерен і блоків уявляють собою бар'єри, які перешкоджають руху дислокацій.

М. М. Тененбаум [11] поділяє процеси абразивного зносу на прості, складні та змішані. Прості процеси зносу характеризуються розвитком руйнування якого-небудь одного виду. Зниження міцності поверхневого шару при простих процесах зношування не проходить. Складні процеси зношування характеризуються суттєвим зниженням міцності матеріалу. Змішані процеси характеризуються одночасною дією декількох видів руйнування, при цьому найчастіше проходять процеси прямого руйнування та руйнування від втоми.

У роботі [12] показано, що руйнування металів при абразивному зносі проходить у дві стадії. На кожній стадії опір руйнівній дії абразиву визначається принципово різними властивостями. Поведінка металу на першій стадії - проникнення абразиву в поверхню деталі - характеризується явищами, які відповідають випробуванням на твердість. Друга стадія зношування проходить у процесі переміщення деталі та абразиву, який

проник в її поверхню. На другій стадії здійснюється руйнування поверхневих ділянок металу та їх відокремлення від деталі.

Під час гідроабразивного зношування руйнування шарів металу здійснюється одночасно за двома схемами: постійного в часі відокремлення дуже малих часточок металу, що порівнюються з глибиною проникнення абразивних часточок у поверхню (подряпина, передеформування) та періодичного відокремлення більш значних за товщиною мікрошарів металу в межах найбільш накладеного шару (малоциклова втома) [13].

Серед учених існує думка, що наші знання щодо поверхневого зносу від втоми відстають від розуміння явища втоми.

Сама множинність теорій зношування показує на те, що проблема ще недостатньо вивчена та поки що не відповідає вимогам практики.

Теорія зношування повинна установлювати в першу чергу природу явищ, що призводять до зносу, а також давати можливість знайти кількісний зв'язок між зовнішніми факторами тертя, природою тіл, що труться та величиною зносу [14].

Група українських учених [15] вважає, що насамперед необхідно визначити справжні об'єкти та механізм руйнування поверхневих шарів, оскільки немає ясності в питаннях фізико-хімічної дії робочих середовищ, відсутня фундаментальна фізична основа, яка необхідна для розвитку та обґрунтування рішень завдань практики. Велика різноманітність причин зносу визначає труднощі розроблення такої теорії та аналітичних методів дослідження цього явища. Усе це є основою для ствердження, що створення єдиної та узагальненої теорії зносу в найближчому майбутньому малоймовірно. Більш реальні перспективи вивчення закономірностей окремих видів зносу або зносу, що має змішаний характер, але з домінуючим одним з перелічених явищ.

Крім того, із аналізу наведених робіт можна зробити висновок, що недостатня вивченість закономірностей гідроабразивного зносу та суперечливі судження з даного питання утруднюють рішення проблеми

створення матеріалів з високими властивостями. Звідси виникає необхідність вивчення явищ у поверхневих шарах з метою визначення оптимальних характеристик шару, що забезпечував би максимальну зносостійкість матеріалу в гідроабразивному середовищі.

Висновки та постановка завдання дослідження

Аналіз технічної літератури за темою науково-дослідної роботи дає можливість зробити наступні висновки:

1. Суттєвого покращання технологічних та експлуатаційних властивостей білих/високолегованих чавунів можна досягти додатковим легуванням, мікролегуванням і модифікуванням цих чавунів.

2. Найперспективнішими хімічними елементами для легування, мікролегування та модифікування білих чавунів є хром, марганець, ванадій, титан, сурма, бор, молібден, алюміній тощо.

3. Можна сміливо стверджувати що пошук нових зносостійких матеріалів та удосконалення технологій виготовлення з них литих деталей, систем і машин є задачею актуальною.

З метою вивчення ливарних, механічних і спеціальних властивостей зносостійких чавунів, розроблення нових та удосконалення існуючих високоефективних зносостійких сплавів для роботи в агресивних середовищах та в умовах інтенсивного гідроабразивного зносу в роботі поставлені такі задачі:

1. Розробити методику дослідження зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі та визначити конфігурацію й розміри зразків для дослідження.

2. Відпрацювати методики дослідження зносостійкості зразків у гідроабразивному середовищі та установити оптимальні параметри випробовувань.

3. Вивчити вплив хрому, марганцю і нікелю на зносостійкість, структуру та ливарні властивості високолегованих чавунів і визначити базовий хромомарганцевий чавун для подальшого дослідження.

4. Дослідити процеси мікролегування та модифікування базового чавуну з метою покращання його властивостей. Як добавки використати ванадій, титан, сурму, молібден, алюміній, бор тощо.

5. На основі проведених досліджень рекомендувати сплави оптимального хімічного складу з високими експлуатаційними характеристиками для виготовлення литих деталей, що працюють в умовах інтенсивного гідроабразивного зносу.

6. Здійснити дослідно-виробничі випробовування технологічних процесів виготовлення зносостійких литих деталей для устаткування з використанням промислових шихтових матеріалів.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз методів визначення зносостійкості в умовах бразивного, ударно-абразивного та гідроабразивного зношування

Для повного розуміння процесів зношування деталей у гідроабразивному середовищі розглянемо методи визначення зносостійкості в умовах абразивного та ударно-абразивного зносу.

Розрізняють три головних різновиди абразивного зношування залежно від умов роботи деталі:

- абразивне зношування в нейтральному середовищі;
- зношування в абразивно-корозійних середовищах;
- ударно-абразивне зношування.

В умовах ударно-абразивного зношування доєвтектичні чавуни з підвищеним вмістом вуглецю мають вищу зносостійкість, ніж евтектичні і тим більше заєвтектичні. Переважним у гідроабразивних середовищах є абразивний знос матеріалу, а тому сплави, що мають високу зносостійкість в абразивних середовищах, можна успішно використовувати для виготовлення литих деталей, які працюють у гідроабразивних середовищах.

Оскільки деталі багерних насосів працюють в умовах гідроабразивного зносу, будемо в подальшому розглядати методика дослідження зносостійкості сплавів у таких же умовах.

2.2 Вибір зразків для визначення зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі та розроблення технології їх виготовлення

Вибір форми та розмірів зразків здійснювали з урахуванням таких умов:

- умови випробувань зразків мають моделювати реальні умови роботи деталей багерних насосів;

- зразки повинні мати оптимальні розміри та форми, зручні для їх кріплення під час випробовувань;

- зразки мають бути технологічними у виготовленні: нескладне формування, оптимальне заливання і забезпечення щільності металу в місцях, які підпадають найвищій абразивній дії, та задовільне оброблювання на стругальних або шліфувальних верстатах.

Вибрана форма зразка (рис. 2.1) дає можливість одержувати литі заготовки в нижній півформі та у вертикальному положенні (рис. 2.2), що забезпечує максимальну щільність виливків у місцях, які найбільше піддаються зносу – одночасно у формі можна виготовити 6 зразків.

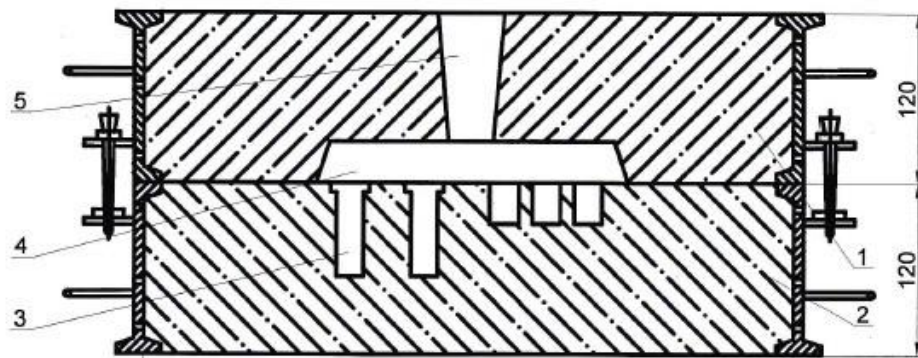
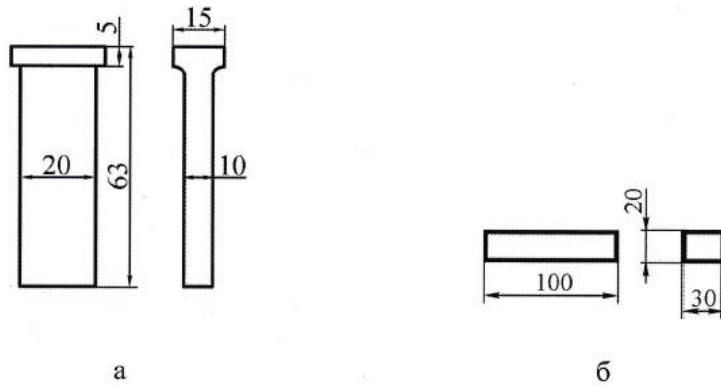
Для визначення твердості використовували зразки у вигляді паралелепіпеда розмірами 100x30x25 мм.

Виготовлення форм здійснювали з використанням формувальної суміші для чавунного литва: 80...85 % оборотної суміші, 10... 15 % свіжого кварцового піску, 5.. .7 % вогнетривкої глини.

Вологість суміші не перевищувала 4,5...5,0 %, газопроникність - не менше 90... 120 од. Півформи сушили в сушарці за температури $200\pm 10^{\circ}\text{C}$ протягом 2-х годин. Із сушарки півформи виймали перед збиранням і заливанням форм, тобто заливання металу здійснювали за температури форм $40...50^{\circ}\text{C}$.

Форми заливали за температури рідкого чавуну $1400...1420^{\circ}\text{C}$. Після охолодження та вибивання форм зразки піддавали механічному обробленню з метою одержання однакових розмірів та чистоти поверхні.

Рисунок 2.1 - Зразки для дослідження зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі (а) та твердості (б) до і після термічного оброблення



1 - верхня півформа; 2 - нижня півформа; 3 - порожнина ливарної форми; 4 - шлаковловлювач; 5 - стояк

Рисунок 2.2 - Форма для виготовлення досліджуваних зразків у складному вигляді

Блок зразків після видалення із форми представлено на рис. 2.3

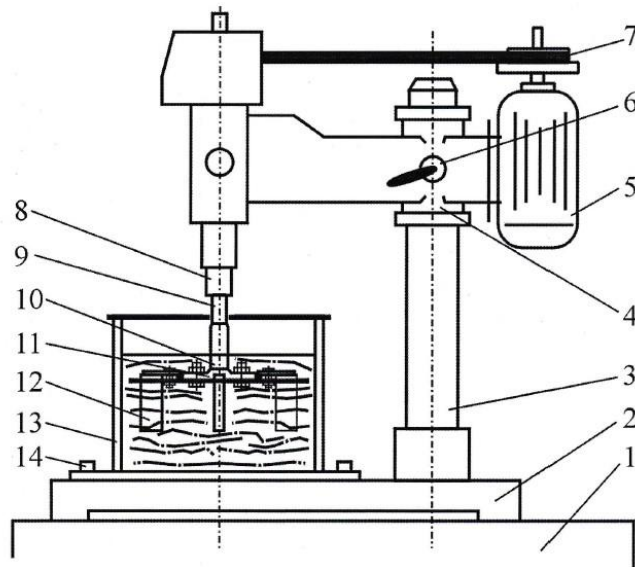


Рисунок 2.3 - Блок зразків після видалення із ливарної форми

2.3 Визначення параметрів дослідження зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі

Для дослідження зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі спроектована установка на базі свердлильного верстата.

Загальний вигляд установки показано на рис. 2.4. Для підтримування та фіксації зразків використовували спеціальну касета 11 (див. рис. 2.4). У касету одночасно можна поставити три або шість зразків.



1-верстак; 2-основа; 3-стояк; 4-траверса; 5-електродвигун; 6-ручка фіксації траверси; 7-клиноремінна передача; 8-шпиндель; 9-вузол кріплення робочого валу; 10-робочий вал; 11-касета; 12-зразок; 13-посудиназкрипжою; 14-шпильки кріплення посудини

Рисунок 2.4 - Установка для визначення зносостійкості матеріалів у гідроабразивному середовищі

Гідроабразивна суміш, яка уявляє собою суміш кар'єрного кварцового піску та води у відповідних пропорціях, заливається в посудину 13 (див. рис. 2.4).

Після встановлення робочого валу з касетою в посудину, останню закривали кришкою з гумовою прокладкою.

Глибину занурення касети із зразками в гідроабразивну суміш регулювали рукояткою 6. Електродвигун 5 має потужність 0,7 кВт та число обертів вала за хвилину - 1250.

Клиноремінна передача дає можливість регулювати кількість обертів робочого валу в такому діапазоні: $n_1 = 385 \text{ хв}^{-1}$; $n_2 = 1250 \text{ хв}^{-1}$; $n_3 = 1540 \text{ хв}^{-1}$; $n_4 = 1875 \text{ хв}^{-1}$; $n_5 = 3375 \text{ хв}^{-1}$.

Перед визначенням оптимального режиму випробовувань зразків у гідроабразивному середовищі ставили такі завдання:

- забезпечити високу відтворюваність результатів;
- забезпечити достатню для оцінки величину зносу зразка за порівняно короткий час випробовувань;
- максимально застабілізувати умови випробовувань зразків у гідроабразивному середовищі.

Як абразивний матеріал для випробовувань використовували кар'єрний пісок, який має вищу, в порівнянні з річковим, абразивну дію через кутасту форму. Для визначення оптимального режиму випробувань матеріалів у лабораторних умовах використовували зразки-еталони, які виготовляли із сплаву 280Х28Н2.

2.3.1 Знос зразків залежно від тривалості їх випробувань

Для визначення зносу зразків залежно від тривалості їх випробовувань зразки піддавали гідроабразивній дії протягом 12 годин. Через кожні 4 години зразки зважували на аналітичних терезах АДВ-200, які дають можливість визначати масу зразків з точністю до четвертого знака. Результати та умови випробовувань наведено у таблиці 2.1 та показано на рис. 2.5

Таблиця 2.1 - Знос зразків залежно від тривалості випробовувань

Утрати маси, мг, за час випробувань, год			Середній розмір абразиву, мм	Кількість обертів рабочего вала, хв ⁻¹	Концентрація абразиву, % за об'ємом
4	8	12			
25,4	51,2	75,7	0,2	1875	18

Дані таблиці 2.1 та рис. 2.5 показують, що знос зразка знаходиться в прямопропорційній залежності від тривалості дії на нього абразивного потоку.

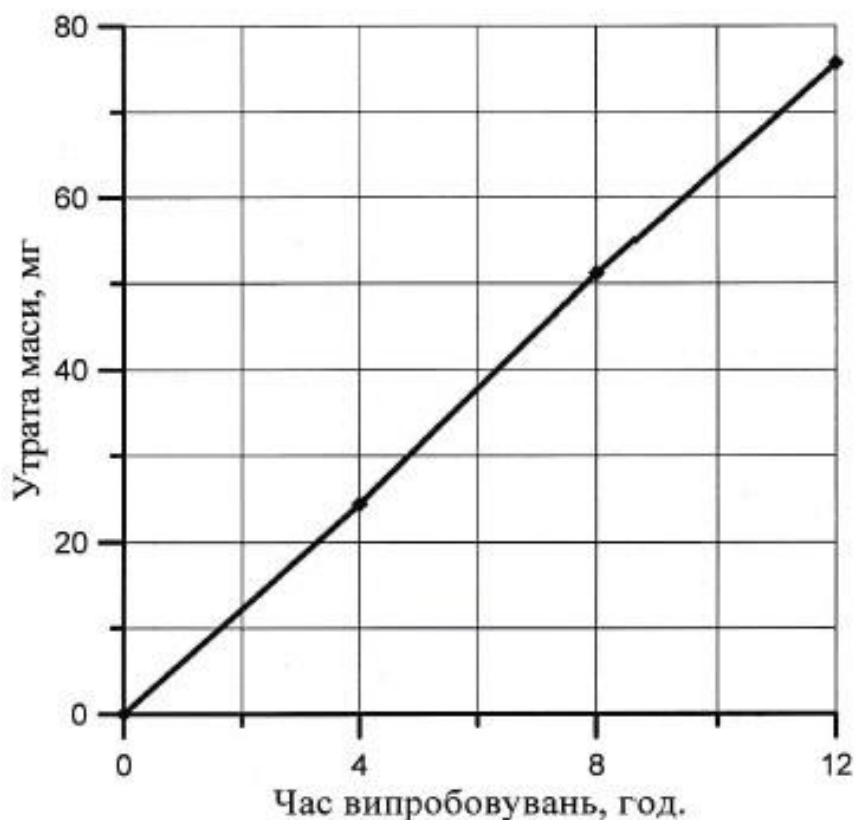


Рисунок 2.5 - Знос зразків у гідроабразивному середовищі залежно від тривалості випробовувань

2.3.2 Знос зразків залежно від кількості обертів робочого вала

Для визначення знос зразків залежно від кількості обертів робочого вала випробовування здійснювали при 1250, 1540 та 1875 хв^{-1} робочого вала. При збільшенні кількості обертів вала виникає вібрація установки.

Умови та результати випробовувань наведені в табл. 2.2 та показано на рис. 2.6

Дослідженнями встановлено, що із збільшенням кількості обертів робочого вала за інших рівних умов знос зразків суттєво підвищується.

Таблиця 2.2 - Знос зразків залежно від кількості обертів робочого вала

Утрати маси, мг, залежно від кількості обертів робочого вала, хв^{-1}			Тривалість випробування, год	Середній розмір абразиву, мм	Концентрація абразиву, % за об'ємом
1250	1540	1875			
24,1	49,5	119,4	4	0,2	18

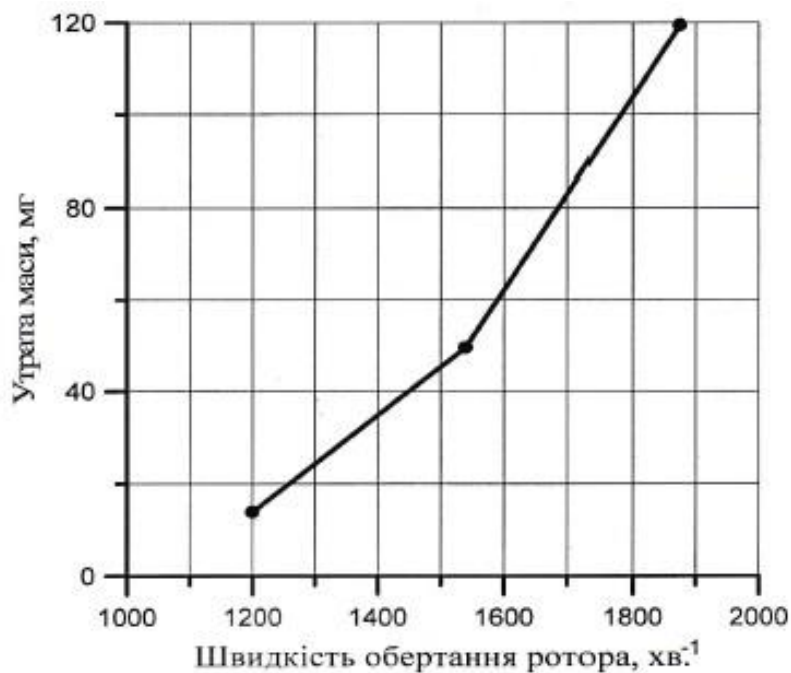


Рисунок 2.6 - Зміна утрати маси зразків залежно від кількості обертів робочого вала

2.3.3 Знос зразків залежно від кількості абразиву

Для визначення зносу зразків залежно від концентрації абразиву випробовування здійснювали при 10, 18 та 30% абразиву за об'ємом.

Підвищення концентрації абразиву за 30% призводить до істотної вібрації робочого вала та перевантаження електродвигуна. Умови та результати випробовувань наведено в табл. 2.3 та показано на рисунку 2.7.

Аналізом результатів випробовувань встановлено, що знос зразків значно збільшується при підвищенні концентрації абразиву в гідроабразивному середовищі.

Таблиця 2.3 - Знос зразків залежно від концентрації абразиву

Утрати маси, мг, при різній концентрації абразиву, % за об'ємом			Тривалість випробувань, год	Середній розмір абразиву, мм	Кількість обертів робочого вала, хв ⁻¹
10	18	30			
0,6	24,4	119,4	4	0,2	1875

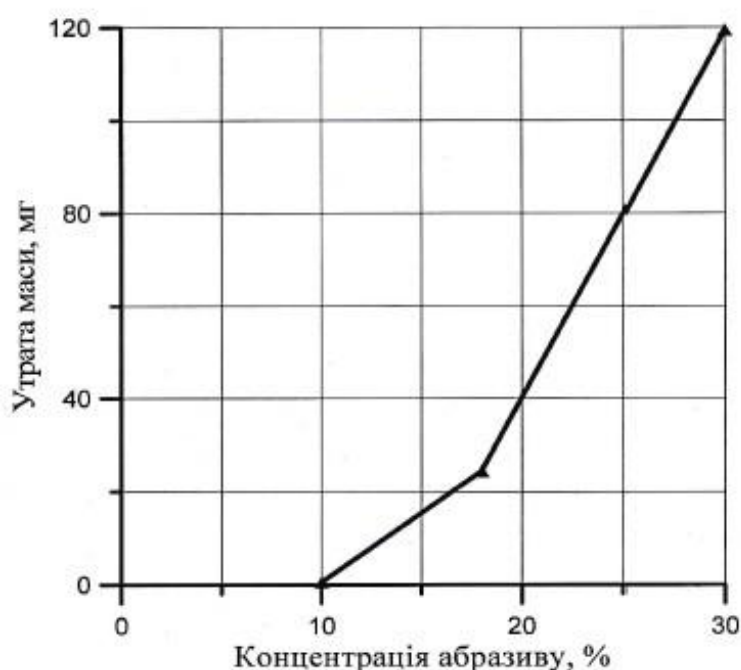


Рисунок 2.7 - Знос зразків залежно від концентрації абразиву

2.3.4 Знос зразків залежно від гранулометричного складу абразиву

Для визначення зносу зразків залежно від гранулометричного складу абразиву використовували пісок різних фракцій. Пісок розсівали з використанням стандартних сит. Умови та результати випробовувань наведено в таблиці 2.4 та на рис.2.8

Таблиця 2.4 - Знос зразків залежно від середнього розміру абразиву

Утрати маси, мг, при середньому розмірі абразиву, мм			Тривалість випробувань, год	Концентрація абразиву, % за об'ємом	Кількість обертів робочого вала, хв ⁻¹
0,2	0,315	0,4			
119,4	198,2	520,6	4	30	1875

Збільшення розміру абразиву суттєво підвищує знос зразків. Проте, треба відзначити, що відсіяти із кар'єрного піску фракцію 0,315, а тим більше 0,4 дуже важко, практично навіть неможливо, оскільки, в основному, середня зернистість такого піску складає 0,2 мм.

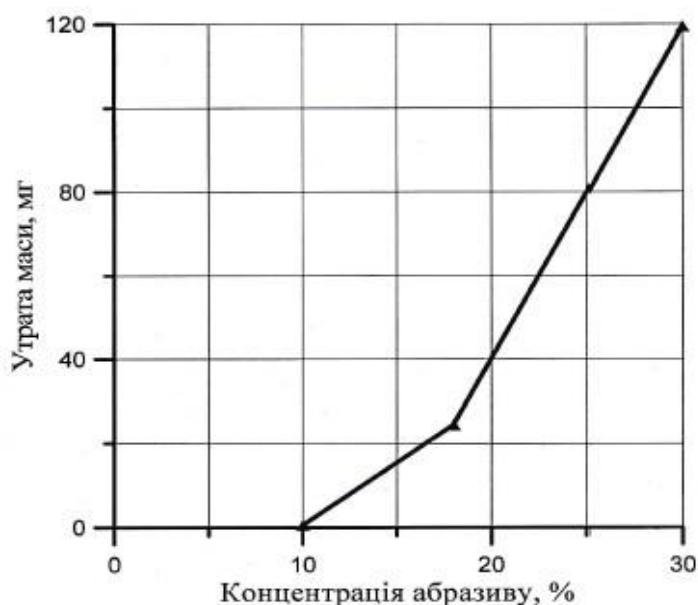


Рисунок 2.8 - Залежність зносу зразків від гранулометричного складу абразиву

2.3.5 Рекомендований режим випробування та умови визначення зносостійкості зразків у гідроабразивному середовищі

На підставі проведених випробувань з урахуванням можливостей установки рекомендовано такий режим та умови дослідження зносостійкості зразків у гідроабразивному середовищі:

- тривалість випробування - 4 год;
- кількість обертів робочого вала - 1875 хв^{-1} ;
- середній розмір абразиву - 0,2 мм;
- концентрація абразиву в пульпі - 30 % за об'ємом.

Такий режим випробувань зразків сприяє достатньо високому їх зносу та задовільній відтворюваності результатів досліджень.

2.4 Виплавлення експериментальних зносостійких сплавів у лабораторних умовах

Виплавляння експериментальних чавунів здійснювали в індукційній печі ІСТ-0,06 з основною футеровкою (70% хромомагнетиту й 30% магнетиту) місткістю тигля 60 кг. Як зв'язувальний компонент використовували рідке натрієве скло ($M = 2,3 \dots 2,4$; $\gamma = 1,2 \dots 1,3 \text{ г/см}^3$) у кількості 4% від маси наповнювача. Виготовлення тигля здійснювали ущільненням вологої суміші з використанням металевого шаблону.

Виплавляння досліджуваних сплавів здійснювали методом переплавлення з використанням шихтових матеріалів і феросплавів для високолегованих чавунів - γ табл. 2.5.

Для виплавляння високолегованих чавунів шихту розраховували за вуглецем, хромом, марганцем, кремнієм, титаном, ванадієм і сурмою.

Розраховування шихти здійснювали з урахуванням угару основних елементів (табл. 2.6), який визначали раніше експериментально в умовах лабораторії під час виплавляння високолегованих сплавів різних марок та в умовах виробництва.

Використання звороту власного виробництва під час виплавляння зносостійких чавуні знижує собівартість литва та стабілізує технологічні й експлуатаційні властивості металу у виливках.

Слід тільки враховувати, що під час використання звороту власного виробництва алюміній, титан, сурма і рідкісноземельні метали, які вміщуються в ньому, повністю вигорають у процесі розплавлення шихти й це варто враховувати при розраховуванні шихти.

Оскільки в індукційних печах практично неможливо здійснювати металургійні процеси, вміст вуглецю в металозавалці обмежували на рівні необхідного для заданого складу сталі або чавуну.

Для прискорення процесу плавлення розміри кусків шихти підбирали з урахуванням внутрішніх розмірів тигля й частоти струму машинного перетворювача.

Частота струму, яким живиться індукційна плавильна піч в лабораторії, становить 2500 Гц.

Отже використовували шихту з мінімальними розмірами кусків в межах 35...45 мм.

Такий підбір шихти істотно прискорює процес плавлення й підвищує тривалість експлуатації футеровки печей.

Таблиця 2.5 – Шихтові матеріали, які використано для виплавляння високолегованих зносостійких чавунів

Інд. поз.	Найменування матеріалу	Гост	Марка	Масова частина елемента, %						
				основний	вуглець	кремній	марганець	фосфор	сірка	інші елементи
1	Сталевий брухт	2787-75	2А	-	0,3	0,35	0,6	0,04	0,05	-
2	Чавун переробний	3133-95	ПЛ2	-	4 ... 4,5	0,5 ... 0,9	0,5 ... 0,9	0,08 ... 0,12	0,01 ... 0,04	-
3	Ферохром	4757-89	ФХ025	Не менше 68,0	0,25	0,8	-	0,04	0,03	-
	Ферохром		ФХ200		2	0,8	-	0,04	0,03	
4	Феромарганець	4757-80	ФМн75	75	7	1	75	0,45	0,3	-
5	Феросиліцій	1414-88	ФС75	75	-	75	≤0,4	≤0,0 5	≤ 0,02	-
	Ферованадій	27130-86	ФВд50 У	50	0,3	2	0,2	0,1	0,1	-
7	Феротитан	4761-80	ФТи30	30	0,2	8	-	0,05	0,07	-
8	Нікель первинний	849-70	Н-1	99,3	0,05	0,01	-	-	-	-
9	Сурма	1089-82	Су2	98,8	-	-	-	-	-	Домішки 1,2
10	Феробор	14848-69	ФБ-10	10	-	14	-	-	-	11,0А1

Таблиця 2.6 - Угар елементів під час виплавляння високолегованих сплавів на основі залізав печах різної конструкції

Елемент	Угар елементів, %			
	індукційна піч		дугова піч	
	футеровка основна	футеровка кисла	футеровка основна	футеровка кисла
Хром	3...5	8...12	8...10	10...12
Марганець	10...15	15...20	20...50	20...30
Кремній	15...20	пригар 20...30	40...60	абсолютний пригар 0,5...1,0
Титан	30...40	45...55	35...50	60...80
Ніобій	35...45	40...50	35...50	45...60
Алюміній	30...40	25...30	50...60	25...35

Висновки

1. Удосконалено методики визначення ливарних властивостей, які повною мірою відтворюють поведінку високолегованих сплавів на основі заліза під час виготовлення із них виливків: рідкотекучості, лінійної та об'ємної усадок, тріщиностійкості та схильності сплавів до плівкоутворення.

2. Розроблено технологію виготовлення литих зразків для визначення механічних властивостей металу під час виробництва тонкостінних виливків.

3. На підставі аналізу існуючих методів дослідження зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі розроблена установка, яка працює за принципом обертання зразків.

4. Вибрано форму та розміри зразків для випробовувань у гідроабразивному середовищі та розроблено технологію їх виготовлення.

5. Визначено й рекомендовано режим та умови випробовувань зразків в гідроабразивному середовищі:

- тривалість випробовування - 4 год;
- кількість обертів робочого вала - 1875 хв^{-1} ;
- середній розмір абразиву - 0,2 мм;
- концентрація абразиву в пульпі - 30 % за об'ємом.

6. Досліджено режими плавлення високолегованих чавунів в індукційній печі ІСТ-0,06 з використанням різних шихтових матеріалів і вибрано оптимальні.

7. Запропоновані методики мають високу відтворюваність і достовірність результатів досліджень відповідають вимогам чинних нормативних документів.

8. Методичне забезпечення експериментальних досліджень охоплює вивчення всіх технологічних та експлуатаційних властивостей сплавів на основі заліза, результати яких гарантують виготовлення якісних виливків у виробничих умовах.

3 ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ ЧАВУНІВ У ГІДРОАБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

3.1 Визначення оптимального складу зносостійкого білого чавуну

Зносостійкі білі чавуни - це група хромистих, хромомарганцевих, хромонікелевих чавунів, основною відмінністю яких є наявність у мікроструктурі легованих карбідів заліза і карбідів легувальних елементів, які забезпечують високу зносостійкість в умовах абразивного зношування [19].

Експлуатаційні та механічні властивості білих зносостійких чавунів залежать від багатьох факторів і, в першу чергу, від характеристик карбідної фази. Велика кількість твердих та крихких карбідних фаз визначає низькі пластичні властивості чавунів, але при умові міцного зв'язку їх з матрицею сплаву значно збільшує опір чавунів абразивній дії. Оскільки хром та марганець відносяться до групи карбідоутворювальних елементів, то теоретичний та практичний інтерес мають дослідження, що спрямовані на вибір оптимальних концентрацій цих елементів у білих чавунах з метою одержання максимальної зносостійкості при збереженні задовільних ливарних властивостей.

Регулювання стану металічної основи легуванням, мікролегуванням, модифікуванням і термічним обробленням дає можливість в достатньо широкому діапазоні змінювати зносостійкість і оброблюваність білих чавунів.

3.1.1. Вплив хрому на основні властивості зносостійкого чавуну

Вивчено вплив хрому на твердість та зносостійкість хромомарганцевого чавуну в діапазоні його концентрацій від 4,5 до 31,6%.

Відносну зносостійкість тут і далі визначали в гідроабразивному середовищі. Як етєлон використовували зразки із сплаву 280Х28Н2.

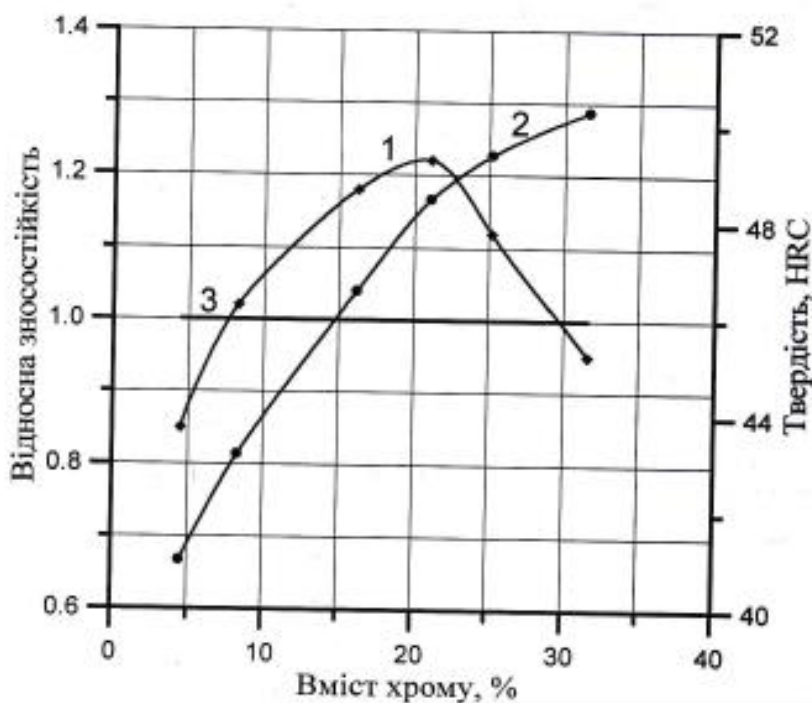
Хімічний склад та властивості чавуну наведено в табл. 3.1, а результати досліджень показано на рис.3.1.

Хром - це елемент, що сприяє сильному відбілюванню чавуну. Він зменшує розчинність вуглецю в залізі усіх модифікацій, збільшує стійкість твердого розчину та кількість евтектичної складової. У чавунах навіть при невеликому вмісті хрому утворюється карбідна фаза цементитного типу, яка збагачена хромом.

Установлено, що збільшення концентрації хрому з 4,5 до 21,1% суттєво покращує експлуатаційні властивості чавуну, який вмістить марганець у кількості 4,5...5,0%. Із збільшенням вмісту хрому помітно зростає кількість карбідів, які сприяють підвищенню твердості сплаву.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад і властивості зносостійкого білого чавуну з різним вмістом хрому

індекс проби	Хімічний склад. %						Відносна зносостій- кість	Твердість, HRC
	C	Cr	Mn	Si	P	S		
					не більше			
101	2,91	4,5	4,2	0,65	0,05	0,05	0,85	41,0
102	2,85	8,3	4,5	0,7	0,05	0,05	1,02	43,2
103	2,82	16,2	4,1	0,72	0,05	0,05	1,18	46,6
104	2,92	21,1	4,6	0,68	0,05	0,05	1,22	48,5
105	2,94	25,2	4,2	0,65	0,05	0,05	1,12	49,4
106	2,86	31,6	4,3	0,78	0,05	0,05	0,95	50,3



1 - відносна зносостійкість; 2 - твердість, HRC; 3 - еталон 280X28H2 (відносна зносостійкість - 1, твердість - 46 HRC)

Рисунок 3.1 - Вплив хрому на твердість і зносостійкість високолегованого чавуну

Таким чином, для одержання білих чавунів з високою зносостійкістю (вищою, ніж чавуну 280X28H2), вони мають вмістити в своєму складі від 8 до 30% хрому.

Подальше підвищення концентрації хрому в чавуні понад 20% призводить до збільшення кількості фериту, а це помітно знижує зносостійкість сплаву, незважаючи на те, що твердість продовжує зростати через збільшення кількості карбідів.

3.1.2 Вплив марганцю на основі властивості високохромистого зносостійкого чавуну

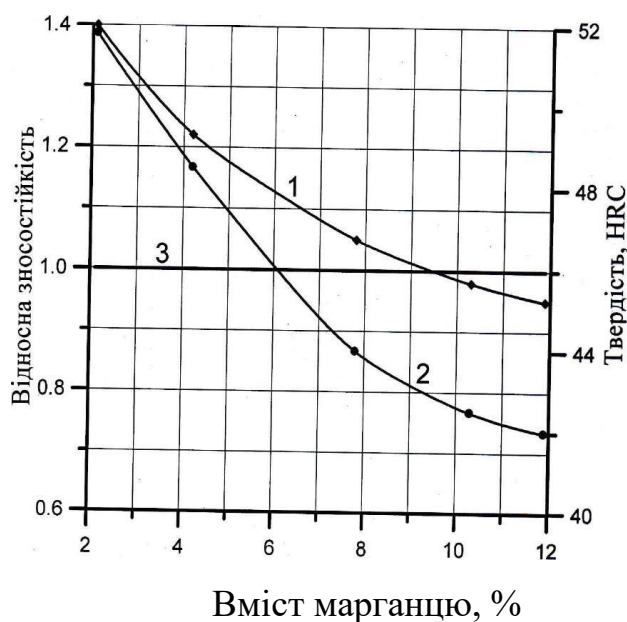
Досліджено вплив марганцю на властивості високохромистого чавуну в діапазоні концентрацій від 2,1 до 11,9%. Хімічний склад чавунів та результати випробовувань наведено в табл. 3.2 і на рис. 3.2.

Марганець сприяє стабілізації аустеніту у високохромистому білому чавуні.

Таблиця 3.2 - Хімічний склад і властивості зносостійкого високохромисто-го чавуну з різним вмістом марганцю

Індекс проби	Хімічний склад, %						Відносна зносостійкість	Твердість, HRC
	C	Cr	Mn	Si	P	S		
					не більше			
107	2,89	18,6	2,1	0,64	0,05	0,05	1,38	52,0
108	3,02	18,8	4,2	0,72	0,05	0,05	1,22	48,5
109	2,91	19,2	7,8	0,79	0,05	0,05	1,05	44,0
110	2,86	19,4	10,3	0,68	0,05	0,05	0,98	42,5
111	2,79	18,9	11,9	0,70	0,05	0,05	0,95	42,0

Як видно із рис. 3.2, з підвищенням вмісту марганцю в чавуні твердість сплаву знижується, що можна пояснити збільшенням кількості залишкового аустеніту в основі металу. Зносостійкість сплаву при цьому зменшується, а при вмісті марганцю біля 9% вона стає меншою, ніж сплаву 280X28H2.



1 - відносна зносостійкість; 2 - твердість, HRC; 3 - еталон 280X28H2 (відносна зносостійкість - 1, твердість - 46 HRC)

Рисунок 3.39 - Зміна зносостійкості і твердості високохромистого чавуну залежно від вмісту в ньому марганцю

Таким чином, для досягнення високої зносостійкості високохромисті чавуни мають вмістити в своєму складі від 1,5 до 9,0% марганцю.

На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки: - при розробленні зносостійких хромомарганцевих чавунів необхідно вибирати оптимальне співвідношення в них хрому та марганцю;

- при збільшенні вмісту хрому в чавуні кількість марганцю в сплаві має зменшуватись з метою збереження механічних властивостей.

За результатами досліджень запропоновано базовий хромомарганцевий чавун з вмістом 18...20% хрому та 3,8...4,5% марганцю, якому надана марка 290X19Г4.

Висновки

Проведені дослідження показали, що найкращий комплекс технологічних і спеціальних властивостей має зносостійкий сплав на основі заліза - хромомарганцевий чавун - із вмістом 18...20% хрому й 3,8...4,5% марганцю, якому умовно надана марка 290X19Г4.

Для забезпечення високої зносостійкості й тривалої експлуатації виробів в умовах інтенсивного гідроабразивного зносу високо марганцевий чавун доцільно додатково піддавати мікролегуванню або модифікуванню. Високі властивості хромомарганцевий чавун рекомендованого хімічного складу набуває після додаткового оброблення його ванадієм у кількості 0,8...1,2% або титаном у кількості 0,1...0,5%. Для виготовлення тонкостінних виливків, які працюють в умовах інтенсивного зносу, рекомендований чавун доцільно обробляти бором до 0,020%.

4 ПЕДАГОГІЧНА ЧАСТИНА

1. Ознайомлення з робочим навчальним планом на 2016/2017 навчальний рік кваліфікацією магістр. (з циклом загальної підготовки, навчальними дисциплінами базової підготовки (за вибором студентів), Циклом професійної підготовки (навчальними дисциплінами професійної та практичної підготовки).

2. Ознайомлення з програмою навчальної дисципліни «Стандартизація, метрологія та контроль якості продукції», з метою та завданнями навчальної дисципліни, предметом навчальної дисципліни, структурою та змістом.

Також був ознайомлений з контрольними роботами, самостійними роботами, практичних занять та лекційних занять.

Проведено лабораторну роботу за темою: «Статистичний контроль якості виливків у процесі їх виробництва. Визначення відсотка передбачуваного браку»

Час виконання 4 год.

Початок уроку:

Привітання.

Перевірка наявності студентів.

Основна частина уроку:

Обговорення теми лабораторної роботи, та з'ясування мети, та постановка задачі. Видача індивідуального завдання/варіанту кожному студенту. Пояснювання методики виконання роботи, та відповідь на питання студентів.

Заклучна частина уроку:

Оформлення протоколу до лабораторної роботи, та захист студентами цієї роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблені й удосконалені методики визначення ливарних, механічних і спеціальних властивостей зносостійких сплавів на основі заліза, які забезпечують високі відтворюваність і достовірність результатів.

2. На підставі термодинамічних властивостей хімічних елементів та сучасного уявлення щодо структуроутворення зносостійких сплавів на основі заліза дослідженнями встановлено, що для підвищення експлуатаційних характеристик високолегованих білих чавунів необхідно визначати співвідношення основних легальних елементів - хрому та марганцю залежно від конкретних умов експлуатації деталей та їх конфігурації.

3. Для виготовлення литих деталей багерних насосів, які працюють в умовах гідроабразивного зносу визначено найбільш раціональне співвідношення хрому і марганцю в чавуні: 18...20% хрому і 3,5...4,5% марганцю.

4. Хромомарганцевий чавун має такий хімічний склад, % мас: вуглець – 2,8...3,2; хром – 18,0...20,0; марганець – 3,5...4,5; кремній – 0,6...0,8; фосфор – не більше 0,05; сірка – не більше 0,05.

За умови збільшення концентрації хрому вміст марганцю необхідно зменшувати для збереження високих механічних властивостей металу.

Чавуну надана марка 290X19Г4 і він прийнятий як базовий для подальшого вивчення процесів мікролегкування і модифікування.

5. Розроблено технологічний процес виплавляння та розливання хромомарганцевого чавуну в дугових та індукційних електропечах.

6. Визначено й рекомендовано режим та умови випробовувань зразків в гідроабразивному середовищі:

- тривалість випробовування - 4 год;
- кількість обертів робочого вала - 1875 хв^{-1} ;
- середній розмір абразиву - 0,2 мм;
- концентрація абразиву в пульпі - 30 % за об'ємом.

7. Проведені дослідно-промислові випробування технологічних процесів виготовлення литих деталей багерних насосів, якими встановлена перспективність використання технологічного хромомарганцевого зносостійкого чавуну.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации. - М.: Машиностроение, 1971.-240 с.
2. Карелин В.Я. Износ лопастных гидравлических машин от кавитации и насосов. - М.: Машиностроение, 1980. - 255 с.
3. Мелентьев В.Л. Золошлаковые материалы и золоотвалы. - М.: Энергия, 1978.-288 с.
4. Тер-Акопов Г.Д. Борьба с износом гидротурбинного оборудования от кавитации и износов. - М.: Госэнергоиздат, 1982. - 230 с.
5. Бульнев В.Б. Абразивный износ радиально-осевых гидротурбин и методы борьбы с ним. - М.: Госэнергоиздат, 1982. - 186 с.
6. Леви М.И. Моделирование гидравлических явлений. - М.: Госэнергоиздат, 1980.-236 с.
7. Хрущев М.М. Развитие теории абразивного изнашивания.// Развитие теории трения и изнашивания. / Изд-во АН СССР, 1987, с.48. .56.
8. Крагельский И.В. Бессонов Л.Ф. Повышение износостойкости и срока службы машин. - М.: Машгиз, 1983. - 238 с.
9. Попов В.С., Брыков И.Н. Особенности абразивного изнашивания стали с большим количеством остаточного аустенита.// Известия вузов. Чорная мета- лургия, 1980,№4. С. 15... 19.
10. Львов П.Н. Износостойкость деталей строительных и дорожных машин. - М.: Машгиз, 1982.- 242 с.
11. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. - М.: Машиностроение, 1976.-271 с.
12. Кривошеев А.Е., Калинина Л.Г. Влияние легирующих элементов на структуру белых чугунов.// Литейное производство, - 1987,№7. С. 19.. .20.
13. Погодаев Л.И. Относительная износостойкость металлов при гидроабразивном изнашивании.//ЛИВТ, 1989, вып.121. С.96...101.

14. Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. - М.: Машиностроение, 1980. - 119 с.
15. Любарский И.М., Палатник Л.С. Металлофизика трения. «Успехи современного металлостроения». - М.: Металлургия, 1976. - 176 с.
16. Гаврилюк В.П., Марковский Е.А. Литые железохромистые сплавы.- К.: Процессы литья при участии МП «Информлитъ», 2001. - 260 с.
17. Гарбер М.Е. Отливки из белых износостойких чугунов. - М.: Машиностроение, 1982. - 112 с.
18. Гладкова Г.И., Кисилев Ю.И. Отливка деталей грунтовых насосов из чугуна ИЧХ17.// Литейное производство. - 1981, №3. С.Ю
19. Тененбаум М.М. Абразивный износ. - М.: Машиностроение, 1975. - 376 с.
20. Шульте Ю.А. Производство отливок из стали. - К. - Донецк: Вища школа, 1983.- 184 с.
21. Казачков И.П. Легирование стали. - К.: Технка, 1982. - 120 с.
22. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. 4.1. - М.: Металлургия, 1973. - 312 с.
23. Янушев А.М., Кудрин В.А., Михайлов Э.И. Удаление включений при раскислении стали комплексными сплавами. // Изв. вузов. Сер. Черная металлургия, 1971, №7. С. 44...46.
24. Нехендзи Ю.А. Литейные свойства сплавов // Литейное производство, 1968, №1.-С. 23...31.
25. <http://met-all.org/stal/vysokouglerodistaya-stal-harakteristiki-marki-svojstva.html>
26. <http://um.co.ua/13/13-6/13-60596.html>