СТУДЕНСЬКА НАУКОВА РОБОТА

МЕТАЛУРГІЙНІ АСПЕКТИ ОДЕРЖАННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО СПЛАВУ

ШИФР «БУЛАТ»

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ……..……3

ВСТУП……5

1 Розробка оптимального складу зносостійкого металу …….7

2 Дослідження зносостійкого металу на стійкість до абразивного зношування ……...…….….16

3 Дослідження структури і властивостей зносостійкого металу…….……18

ЛІТЕРАТУРА …….....25

РЕФЕРАТ

Тема «РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО СПЛАВУ»

Однією з головних завдань поставлених перед наукою і промисловістю, є збільшення продуктивності праці з одночасним підвищенням якості, надійності та довговічності машин і устаткування. Вирішення цих завдань неможливе без забезпечення випуску високоякісних конструкційних матеріалів. Тому деталі та механізми, що працюють в умовах абразивного зношування, виготовляються зі сталей і чавунів легованих хромом, вольфрамом, ванадієм, церієм, ітрієм, бором і т. д.

Введення до складу зносостійких матеріалів у певному співвідношенні таких недефіцитних і недорогих елементів, як титан, вуглець, хром, марганець, кремній та інші забезпечать деталям високу опірність зношування.

Питання розробки зносостійкого матеріалу без застосування дефіцитних і дорогих елементів є в даний час актуальним і своєчасним. Тому завданням цієї роботи є розробка та дослідження зносостійкого металу з введенням у його склад недорогих і недефіцитних елементів як титан, вуглець і хром. Введення до складу розроблюваного сплаву таких елементів як вуглець і хром не представляє ніяких труднощів, а ведення і засвоєння в розроблювальному сплаві титану практично неможливо через його великого спорідненості до різних елементів і в тому числі до кисню з яким він утворює оксид і спливає на поверхню розплавленого металу у вигляді шлаку. Для вирішення цього завдання застосували електродуговий метод переплаву електродного металу. Для розрахунку необхідної кількості елементів у зносостійкому шарі застосовували метод планування експерименту Бокса-Вілсона. В результаті аналізу, проведеного експерименту встановлено, що зносостійкість розробленого сплаву в 1,35 рази більше в порівнянні з широко застосовуючим в даний час сплавом з чавуну ЧХ28.

Випробування зразків на стійкість до абразивного зносу, а також визначення хімічного складу розробленого металу виробляли за відомими методиками. Дослідження структури зносостійкого шару проводили за допомогою оптичного мікроскопа «Neophot-2». На підставі вивчених закономірностей впливу C, Ti і Cr в межах від 1,5 до 3,5% вуглецю, від 2,0 до 4,0% титану і від 10 до 20% хрому на структуроутворення та властивості розробленого металу, розроблено новий зносостійкий матеріал, який містить (в мас.%): 3,70 вуглецю, 4,23 титану і 21,14 хрому, що перевищує існуючий зносостійкий чавун ЧХ28 в 1,35 рази.

Дана робота складається з 4 розділів, що містять у своєму складі розробку оптимального складу зносостійкого металу, дослідження зносостійкого металу на стійкість до абразивного зношування, а також структури і властивостей зносостійкого шару. У ній є 29 сторінок, 3 таблиці, 18 фотографій. Використано 51 літературне джерело.

ЕЛЕКТРОДНИЙ ПЕРЕПЛАВ, ЗНОСОСТІЙКИЙ МЕТАЛ, КРУТЕ СХОДЖЕННЯ, ВУГЛЕЦЬ, ХРОМ, ТИТАН, ФАКТОР, ВЛАСТИВОСТІ

ВСТУП

При експлуатації машин і механізмів в умовах тертя важливий фактор відіграє стан конструкційних матеріалів. Метал конструкційних матеріалів визначає експлуатаційні, в тому числі і тривкі, характеристики виробу. Це обґрунтовується тим, що руйнування конструкційного матеріалу починається звичайно з його поверхні, що призводить не тільки до втрати необхідної міцності виробу, але і до погіршення умов нормальної працездатності через утворення продуктів абразивного зношування тертьових поверхонь, втрати розрахункового напруженого стану сполучених елементів конструкцій і т . д.

Для збільшення моторесурсів машин і механізмів на виробництві застосовують різноманітні методи легування і зміцнення металів, причому з різною цілеспрямованістю і широтою технологічного освоєння.

У промислово розвинених країнах світу в даний час дуже швидко розвивається зміцнення металів легуванням. У промисловості використовуються найрізноманітніші методи легування, які використовуються для зміцнення металів, що працюють в різних умовах призводять до зношування. Як зміцнюючи матеріали використовується широка номенклатура сталей: вуглецеві, леговані та високолеговані, а також чавунів і сплавів легованих, хромом, нікелем, кобальтом, вольфрам, церієм, хромом і т.д.

В даний час чавун є одним із широко застосовуваних матеріалів у сучасному машинобудуванні. Основними елементами і постійними домішками у чавуні є: вуглець, кремній, марганець, сірка і фосфор. Залежно від необхідних властивостей чавуну його легують або модифікують в різних поєднаннях і кількостях: хромом, ванадієм, вольфрамом, нікелем, кобальтом, міддю, алюмінієм, магнієм, кальцієм, РЗМ та іншими елементами. Вуглець у чавуні може бути як у вільному стані - графіт, так і в зв'язаному - карбід. Відповідно до Держстандарту 3443-87 чавуни в залежності від форми включень графіту, поділяють на сірий з пластинчастим графітом, високоміцний з кулястим і вермикулярним графітом, а також ковкий з компактною, хлоп’єподібною або ниткоподібною формою графіту.

Структура металевої основи чавунів може бути: феритною, перлітною, феритно-перлітною, мартенситною, троститною або бейнітною. Крім цього, в металевій основі можуть бути включення в різній кількості цементиту і ледебуриту. Чавун, в якому весь вуглець знаходиться у зв'язаному стані, відноситься до білих чавунів. Найбільш широке поширення знайшли виливки з цього чавуну в машинобудуванні. Деталі, виготовлені з білого чавуну, дуже стійкі в умовах абразивного зношування.

В даний час для виготовлення деталей вхідних і вихідних патрубків і броньованих дисків броньованого насоса, імпелерів і лопаток дрібометних установок та інших деталей, що працюють в умовах абразивного і гідро абразивного зношування застосовують зносостійкий чавун ЧХ28.

Для створення зносостійкого сплаву стійкого в умовах абразивного зносу була обґрунтовано легування заліза елементами системи C-Ti-Cr. Розроблений на цій основі зносостійкий сплав дозволив збільшити його стійкість абразивного зношування в 1,35 разів порівняно з зносостійким чавуном ЧХ28.

1 Розробка оптимального складу зносостійкого сплаву

В процесі експлуатації машин і механізмів деталі часто працюють в умовах контактування з різними агресивними середовищами, високотемпературними газами й абразивними частинками, що викликають інтенсивну корозію й зношування поверхні. З урахуванням існуючих матеріалів було розроблено ряд економічно легованих металів, що забезпечують їх стійкість до абразивного зношування. Однак, незважаючи на всі позитивні якості існуючих металів, вони мають ряд суттєвих недоліків, які полягають в основному в тому, що їх склади вводяться дорогі і дефіцитні елементи вольфрам, церій, ітрій та інші.

При розробці сплавів, що працюють в умовах абразивного зношування, необхідно враховувати технологічні особливості протікання процесу, його стабільність, а також властивості зносостійкого матеріалу.

Найбільш важливим процесом структуроутворення в чавуні є графітизація, яка визначає не тільки якість, форму і розподіл графіту, але і будова металевої матриці. Відомо, що схильність до прямої кристалізації по стабільній системі залежить від складу чавуну і швидкості охолодження[1-5].

Хімічний склад будь-якого сплаву в тому числі й чавуну в основному визначає його структуру і властивості. Особливо велику роль грає хімічний склад зносостійкого шару, оскільки тільки при високій концентрації легуючих елементів можна отримати підвищену зносостійкість і максимальний ефект від застосування. Для характеристик сплавів становить інтерес впливу окремих елементів, що містяться в сплавах. Встановлено, що вуглець сприяє графітизації чавуну, і збільшення його вмісту в сплаві викликає зниження температури плавлення, відбувається феритизація металевої матриці, і підвищується рідино текучість [1,6-8]. Зі збільшенням вмісту вуглецю в чавуні збільшується кількість і розміри структурно вільного графіту. Це перешкоджає утворенню метастабільних структур при зварюванні і знижує механічні властивості чавуну. Зі збільшенням кількості

вуглецю глибина відбілу зменшується, а твердість зростає [9,10]. Кількість вуглецю в високоміцних чавунах трохи вище, ніж у сірих. Підвищення вмісту вуглецю пояснюється низкою причин. По-перше, у зв'язку з тим, що форма графіту повинна бути куляста, збільшення вмісту вуглецю не позначається на міцних властивостях чавуну. По-друге, хороші результати при обробці елементами - сфероідізаторами дають чавуни евтектичного і заевтектичного складу.

Евтектика у високоміцних чавунах зрушена убік підвищеного вмісту вуглецю (вуглецевий еквівалент відповідає 4,5-4,7 % і визначено за максимальною рідино текучістю). По-третє, високоміцні чавуни схильні до утворення усадочних раковин і пухкості. По-четверте, для забезпечення технологічності отримання виливків вуглець прискорює першу і другу стадії графітизації. Зі збільшенням вмісту вуглецю незначно розширюється перлітна область високоміцних чавунів. Залежність процесу графітизації чавуна від вмісту в ньому вуглецю визначається швидкістю охолодження. Чим вище швидкість охолодження, тим інтенсивніше вплив вуглецю на процес графітизації. Розширення перлітної області зі збільшенням вмісту вуглецю впливає на обмежену можливість отримання виливків з перлітною основою без застосування термічної обробки [3].

Особливо сильно сприяє графітизації кремній при вмісті його в чавуні до 4,0%. З подальшим збільшенням концентрації кремнію ступінь графітизації збільшується дуже повільно. Крім того, кремній також сприяє феритизації металевої матриці. Наявність великої кількості кремнію (понад 3%) знижує міцність, підвищує твердість і крихкість чавуну. Збільшення вмісту кремнію погіршує теплопровідність і електропровідність і зменшує усадку чавуну при затвердінні за рахунок збільшення кількості виділяємого графіту [1,3,11-13]. Зміст кремнію в високоміцних чавунах становить 2-3,8%. Кремній є хорошим графіті затором і феритизатором. Тому збільшення вмісту кремнію в високоміцних чавунах збільшує кількість фериту в виливках і додає пластичність чавуну. Збільшення вмісту кремнію

нейтралізує карбідоутворюючі дії елементів-сфероідізаторів. Графітизуюча дія кремнію на чавун пояснюється, як відомо, двома причинами: по-перше, він зменшує розчинність вуглецю в рідкому і твердому стані; по - друге, взаємодіє з карбамідом заліза, утворюючи силіцид і графіт. Кремній не впливає на форму графіту. При великих переохолодженнях кремній гальмує феритоутворення. У швидко переохолоджених відливках з чавуну з підвищенням вмісту кремнію часто випадає точковий графіт, розташований в центрі евтектичних колоній або по дендритних осях [3].

Марганець перешкоджає утворенню мартенситної структури. При вмісті марганцю в чавуні в межах 1,75 7 + 0 (0,2-0,3%) він нейтралізує шкідливу дію сірки [1,14,15]. Крім того, він являється хорошим стабілізатором карбідів. Зі збільшенням вмісту марганцю збільшується усадка чавуну, і метал набуває схильність до гарячих тріщин [9]. Марганець в чавуні розподіляється між карбідами і аустенітом. У невеликій кількості він зменшує частку метастабільних структур. Збільшення в чавуні марганцю гальмує перлітне перетворення, внаслідок чого можна отримати чавун з сорбіто образною троститною і мартенситною матрицею. Твердість і стійкість до зношування вибіленого чавуну збільшується із зростанням концентрації марганцю до 4%. Зносостійкість аустенітних марганцевих чавунів більше, ніж звичайного сірого чавуну, але за відсутності наклепу значно поступається вибіленому чавуну [10]. Для отримання феритних високоміцних чавунів вміст марганцю рекомендується мати не більше 0,6%. Чим нижче вміст марганцю, тим вище пластичні властивості чавуну. Марганець дуже сильно гальмує другу стадію графітизації, робить структуру чавуну дрібнодисперсного. При вмісті марганцю від 0,8 до 1,35% формується стійка перлітна структура. На верхній межі концентрації досягається майже повна відсутність феритних оторочек у глобуля графіту. При збільшенні вмісту марганцю вище 1,8% у чавуні відбувається гальмування усадки і першої стадії графітизації, в структурі з'являються карбідні включення.

Збільшення вмісту марганцю до 5% практично не перешкоджає утворенню кулястого графіту [3].

Хром в даний час є основним легуючим елементом зносостійких чавунів і сплавів типу «Сормайт». Він стабілізує перліт, перешкоджає графітизації і є хорошим карбідоутворювачем [10, 22-28]. Зміст хрому в чавунах досягає 35%. Хром може частково заміщати атоми заліза в орторомбічні карбіди заліза або утворювати карбіди хрому, в яких частина атомів хрому заміщені залізом. Карбіди хрому мають значно більш високу твердість, ніж легований хромом цементит, і це позначається на зносостійкості і міцності чавунів [26]. Збільшення вмісту хрому у високоміцних чавунах призводить до утворення дуже стійких карбідів. Тому вміст хрому дещо зменшують порівняно з сірими чавунами. В аустенітних чавунах вміст хрому не перевищує 2,5%. На форму графіту хром впливає, починаючи з 0,05%, а при 0,1% графіт вже стає пластинчастим. Нікель і мідь в чавуні сприяють утворенню графіту. Вони стимулюють отримання більш дисперсних перлітних, а також мартенситних структур.

Нікель і мідь практично не розчиняються в цементиті і в карбідах хрому, не роблять істотного впливу на первинну структуру білих зносостійких чавунів. При вмісті 1,6% міді структура чавунів чисто перлітна. Легування зносостійких чавунів нікелем виконують завдяки особливостям затримувати розкладання аустеніту. У цьому відношенні він діє ефективніше марганцю. При вмісті в чавуні 4-5% нікелю його структура стає мартенситною. Подальше підвищення його кількості призводить до утворення залишкового аустеніту і зниження твердості чавуну [10]. У високоміцних чавунах при вмісті понад 2,5% міді спостерігається зміна форми графіту. Перехід графіту з кулястої форми в пластинчасту пов'язаний з виділенням фази, збагаченої міддю, причому пластинчастий графіт завжди знаходиться по сусідству з цією фазою. У присутності нікелю розчинність міді збільшується, і тим самим поліпшується форма графіту. Мідь сприяє першій стадії графітизації і гальмує другу, розширює перлітну область і

збільшує стійкість перліту при відпалі. Нікель так само, як і мідь, є перлітоутворюючим елементом, але в три рази слабкіше її [15,29-32].

Ванадій в чавуні перешкоджає графітизації, стабілізує карбіди і поглиблює відбілити. Крім того, збільшує інтервал дендритоутворення і покращує структуру чавуну. Він сприяє утворенню довгих дендритів, які переплітаються між собою. Такий вплив ванадію на структуру сприяє збільшенню ударної в'язкості і твердості [10]. Ванадій утворює карбід VC або V40C43 з гратками гранецентрованого куба. Карбіди ванадію мають високу мікротвердість і великий питомий об'ємом, що сприяє підвищенню зносостійкості. Ванадієві чавуни з аустенітною основою володіють високою для білих чавунів пластичністю, чим і визначається підвищений інтерес до сплавів цієї групи [31,33,34]. Ванадій сприяє утворенню цементиту і так само, як і хром, стабілізує його, пригнічуючи тим самим процес виділення графіту. У високоміцних чавунах вміст ванадію зазвичай не перевищує 0,2%. Зі збільшенням його змісту форма кулястого графіту погіршується. Повністю пластинчаста форма графіту стає при вмісті його в чавуні понад один відсоток. У разі легування білих високоміцних чавунів відбувається інверсія карбідної евтектики. Карбідна фаза утворює скелет навколо металевої матриці, що складається з аустеніту.

Молібден є хорошим карбідоутворюючим елементом. Він також, як хром і ванадій, перешкоджає графітизації. Молібден може утворити карбід Mo 42 0C з кубічною решіткою. При вмісті молібдену понад 20% в чавуні утворюється карбід (MoFe) 46 0C. При вмісті в чавунах близько 3% молібдену утворюється скелетна евтектика розеткового типу. Молібден, потрапляючи в аустеніт, затримує його розкладання і цим сприяє утворенню мартенситу. У невеликих кількостях (0,25 - 0,75%) молібден вводять для збільшення опору вибіленої поверхні тріщин, охрупчуванню і локальній корозії. Молібден зміцнює перлітну основу, збільшує твердість, міцність і в'язкість чавуну [10]. Зміст молібдену у високоміцних чавунах звичайно не перевищує 0,2%. У деяких випадках для отримання голчатих структур зміст

молібдену доводять до 1%. Молібден сприяє утворенню як перліту, так і цементиту. Форма кулястого графіту погіршується при вмісті його в чавуні понад 1,5% [35-37]. Вольфрам є карбідоутворюючим елементом. Він так само, як хром, ванадій і молібден, перешкоджає графітизації, але трохи слабше ванадію і хрому. При вмісті вольфраму до одного відсотка добре стабілізує перліт [27,28]. Церій може виступати як карбідоутворюючим, так і графітоутворюючим в залежності від його кількості в чавуні. Так, при вмісті його в чавуні від 0,008 до 5,0% збільшується кількість цементиту, і дещо підвищується в ньому твердість [10,16,38,39].

Бор є дуже сильним карбідоутворюючим елементом. В залежності від його концентрації в чавуні змінюються його структура та властивості. За даними багатьох дослідників встановлено, що при вмісті в чавуні не більше 0,01% бору відбіл збільшується, а вже при 0,05% зменшується. При вмісті в чавуні бору від 0,001 до 0,01% він сприяє графітизації. При вмісті бору в чавуні від 0,33% до 1,0% чавун стає повністю вибіленим [9,40,41].

Титан так само, як цирконій і кальцій, при малих концентраціях сприяє графітизації в чавуні, а при великих концентраціях перешкоджає їй. Щільність титану майже в два рази нижче, ніж у сталі. Він володіє високою хімічною стійкістю по відношенню до багатьох агресивних середовищ. Присутність його в чавуні сприяє подрібненню структури і збільшення кількості перліту. Максимум графітизації досягається при 0,08% титану, а понад 0,5% титан діє як антиграфітізатор. В умовах зварювання встановлено сприятливий вплив титану на графітизацію при вмісті його до 1%. Підвищений вміст титану сприяє стабілізації перліту. Титан не перешкоджає розкладанню цементиту при відпалі [28,42-44]. У чавуні титан є антиглобуляризатором графіту. У присутності титану вісмут, свинець, сурма, олово, алюміній і миш'як надають гальмівну дію на утворення кулястого графіту. А.А. Горшковим та іншими встановлено, що перші пластинки в чавуні утворюються вже при 0,02% титану, а при вмісті його близько 0,04% відбувається повне знищення кулястого графіту. Титан при взаємодії з

вуглецем утворює моно карбід титану TiC з широкою областю гомогенності. Карбід титану має дуже високу твердість, рівну за шкалою Мооса 9,5 і за Віккерсом 3200, і має велику електропровідність і теплопровідність. З азотом титан утворює моно нітрид TiN. Він містить в собі 22,6% азоту і має, як і карбід титану, високу температуру плавлення 2677 7 + 050K. Область гомогенності нітриду титану поширюється від 10 до 24%. Мікротвердість його дорівнює 21600 МПа. Карбід титану і азот мають повну взаємну розчинність. Хоча в рівноважному стані система TiC - TiN характеризується повною взаємною розчинністю, отримати такі сплави на практиці не завжди вдається. Карбонітриди титану в легованих сталях часто існують у вигляді двох фаз Ti (C, N) і Ti (N, C), що утворюють єдиний твердий розчин [45-47]. Теоретичні обґрунтування елементів показали, що для отримання металевого сплаву, стійкого до абразивного зношування, достатньо застосовувати систему легування C-Cr-Ti, що забезпечує утворення зносостійкої мартенситної структури з включеннями в неї карбідів титану.

Розробку складу сплаву здійснювали з використанням методу математичного планування експерименту. При виборі оптимального складу зносостійкого сплаву здійснювали повний факторний експеримент [48]

$$N = 2^3 \quad (1)$$

Як фактори X_1, X_2, X_3 вибрані вуглець, титан і хром - елементи, які найбільш ефективно впливають на підвищення зносостійкості сплавів. Як параметр оптимізації У обрана відносна зносостійкість при абразивному зношуванні ε. Як еталон використовували чавун найбільш стійкий в умовах абразивного зношування ЧХ28. Число дослідів, необхідних для реалізації всіх можливих поєднань рівнів факторів, визначали за формулою і було рівним 8.

За результатами проведених досліджень з урахуванням встановлених верхнього і нижнього рівнів варіювання елементів склали матрицю планування експерименту (табл. 1).

Коефіцієнти регресії математичної моделі (лінійного рівняння), що описує поверхню відгуку в локальній ділянці поблизу вибраного основного рівня, розраховували за відомими формулами [48]. В результаті розрахунку були отримані такі коефіцієнти регресії: X_0 = +0,9563; X_1 = +0,5500; X_2 = +0,6125; X_3 = +0,5313; X_1X_2 =- 0,0188; X_1X_3 = +0,0688; X_2X_3 = - 0,8500; $X_1X_2X_3$ = - 0,6250. Для виключення помилки була виконана рандомізація дослідів. Порядок проведення дослідів вибирали за таблицею випадкових чисел.

Після розрахунку коефіцієнтів регресії і перевірки їх статистичної значущості отримано рівняння регресії, яке описує локальну ділянку.

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту

Найменування	Вільний член	C	Ti	Cr	CTi	CMn	TiMn	CTiMn	ε
Основний рівень		2,5	3,0	15,0	-	-	-	-	1,15
Інтервал варіювання		1,0	1,0	5,0					
Верхній рівень /+1/		3,5	4,0	20					
Нижній рівень/		1,5	2,0	10					
Код досвіду	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	У
1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,50
2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,45
3	+	-	+	-	-	+	-	+	1,20
4	+	+	+	-	+	-	-	-	1,25
5	+	-	-	+	+	-	-	+	0,70
6	+	+	-	+	-	+	-	-	1,10
7	+	-	+	+	-	-	+	-	1,15
8	+	+	+	+	+	+	+	+	1,30
	+0,9563	+0,55	+0,6125	+0,5313	-0,0188	+0,0688	-0,85	-0,625	7,65

поверхні відгуку:

$У = \varepsilon = 0,9563 + 0,5500X_1 + 0,6125X_2 + 0,5313X_3 - 0,0188X_{12} + 0,0688X_{13} - 0,085X_{23} - 0,625X_{123}$. (2)

Перевірка статистичної значущості показала, що всі коефіцієнти значимі. Тому рівняння можна записати у вигляді

$\varepsilon = 0,9563 + 0,5500C + 0,6125Ti + 0,5313Cr - 0,0188CTi + 0,0688Cr - 0,085TiCr - 0,625\ CTiCr$.

З рівняння (2) випливає, що зносостійкість сплаву при абразивному зношуванні зростає зі збільшенням концентрації титану, хрому і вуглецю. Для отримання сплаву з необхідним комплексом властивостей необхідно здійснити круте сходження з невідомої поверхні відгуку. При реалізації крутого сходження (табл. 2) на другому кроці (досвід 10) отримали найбільше значення зносостійкості - 1,35. Для порівняння, у сплавів 4 і 6, що володіють найвищою зносостійкістю з усіх сплавів матриці планування, вона становить відповідно 1,5 і 1,4. При подальшому просуванні по лінії крутого сходження досліди 11 і 12 зносостійкість знизилася до 1,47. Склад реалізованого досвід 10 наступний (мас.%): 3,7 вуглецю, 4,23 титану і 21 хрому, результати досвіду перевищили кращий досвід матриці планування.

Таблиця 2 – Розрахунок крутого сходження

Найменування	C	Ti	Cr	ε
Код	X_1	X_2	X_3	У
Опит8	3,5	4,0	20,0	1,3
Коефіцієнти, Bi	0,55	0,6125	0,5313	
Інтервал варіювання X	1,0	1,0	5,0	
B : X	0,55	0,6125	0,26565	
Крок	0,1	0,1143	0,5714	
Реалізований досвід 9	3,6	4,1143	20,5714	1,33
Реалізований досвід 10	3,7	4,2286	21,14278	1,35
Реалізований досвід 11	3,8	4,3489	21,7142	1,31
Реалізований досвід 12	3,9	4,4572	22,2856	1,28

2 Дослідження зносостійкого металу на стійкість до абразивного зношування

Подання про зносостійкість матеріалів стосовно до умов експлуатації деталі можна отримати тільки при випробуваннях, в яких забезпечено протікання реального процесу зношування. Цього можна досягти у двох випадках: при точному відтворенні всіх зовнішніх факторів, що характеризують роботу даної деталі, і при моделюванні процесу зношування. Всі випробування матеріалів на зношування зводяться до визначення величини їх зносу [49]..

Одним з найбільш часто застосовуваних методів визначення зносу деталей невеликої маси є зважування їх до і після випробування. Метод зважування нами був застосований при визначенні абразивного зношування зразків. Випробування проводили згідно Держстандарту 23.206-79 «Забезпечення зносостійкості виробів». Метод випробувань матеріалів на зносостійкість при терті про не жорстко закріплені абразивні частки проводили на установці тертя. У наших дослідженнях були прийняті наступні параметри випробування:

- розмір зразка, мм 7х7х25;
- швидкість обертання стираючої поверхні, рад/с 21,0;
- швидкість обертання зразків, рад/с 10,9;
- тиск зразка на абразивну шкурку, МПа 0,049;
- швидкість зношування, м/с 2,6;
- час випробування, с 120,0;
- шлях зношування, м 312,0;
- кратність одного експерименту 3,0.

Як абразивний матеріал застосовували абразивну шкурку С214А402НМА (ГОСТ 5009-82).

Зразки для дослідження стійкості до абразивного зношування вирізали із заготовок 0,1 ... 12. Як еталон був прийнятий метал, наплавлений сплавом

«Сормайт-1», розробленої для зміцнення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування [50].

Всі зразки вирізали з припуском 0,15 мм на сторону на електромеханічній пилці. Потім зразки шліфували до розміру 7х7х25 мм на плоскошліфувальному верстаті моделі ЗГ71М.

Після виготовлення та випробування зразки промивали і просушували. Як промивної рідини використовували технічний ацетон (ГОСТ 2768-79). Розкид по втраті маси становив близько 12-14%.

При випробуванні в трипозиційний утримувач щоразу встановлював один еталонний зразок і два досліджуваних. Втрату маси зразками визначали шляхом зважування їх до і після випробування на аналітичних вагах ВЛА-200М з точністю 7 ± 0.1 мг. За результатами зважування визначали середнє арифметичне значення втрати маси зразків. Згідно з вимогами стандарту (ГОСТ 23.208-79) кінцеві результати зносостійкості $К_и$ визначали за формулою

$$К_и = \bar{g}_э / \bar{g}_и \quad (3)$$

де $$\bar{g}_э = \sum_{i=1}^{n} g_{эi} / n; \ \bar{g}_и = \sum_{i=1}^{n} g_{иi} / m \quad (4)$$

$g_{эi}$, $g_{иi}$ – втрата маси еталонним і досліджуваним зразками за одне випробування, г; n, m - відповідно кількість випробуваних та досліджуваних зразків.

Оскільки при дослідженні характеру кривих розвитку достатньою є надійність Р = 0,7, то, поставивши граничну помилку вимірювань, для кожного досліджуваного матеріалу випробування проводили тричі, що відповідало n = 3 і m = 6. В результаті проведених порівняльних випробувань встановлено, що з усіх зразків, які піддалися випробуванням, найменшу втрату маси мав зразок досвіду № 10. Відносна зносостійкість цієї наплавлення перевищує еталонну в 1,6 рази (табл. 3).

Таблиця 3 – Властивості зразків

Номер зразка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Відносна зносостійкість	1,15	0,50	0,45	1,20	1,25	0,70	1,10	1,15	1,30	1,35
Твердість, HRC	56,0	52,0	50,0	56,0	60,0	54,0	59,0	55,0	58,0	61,5

3. Дослідження структури і властивостей зносостійкого шару

Дослідження структури розробленого сплаву шляхом переплавки порошкового дроту в мідний водо охолоджуваний кокіль, проводили на оптичному мікроскопі «Neophot-2» при збільшенні зразків у 200 разів. Шліфи виготовляли на двошпиндельному шліфувальному верстаті «Неріс» [51]. Травлення мікрошліфів виконували в 4% розчині азотної кислоти в спирті. Мікроструктура металу наведена на рис.1-5. Нами визначено, що у всіх зразках від № 1 до № 8 істотного впливу вуглецю на стійкість нанесеного металу до абразивного зношування і на зміну в структурі наплавлення не виявлено. Так, в досвіді 3 та 4 кількість вуглецю різне і складає відповідно 1,5 і 3,5%, а відносна зносостійкість змінилася трохи і склала відповідно 1,2 і 1,25 рази, площа, займана карбідами заліза і мартенситу, залишилася однаковою, а площа, займана карбідами титану в зразку № 4 кілька більше (рис. 2).

Така ж незначна зміна стійкості до абразивного зношування і структурі спостерігається як в сплавах 1 і 2 так і в сплавах 7 і 8, незважаючи на різну кількість вуглецю в цих сплавах (рис. 1, 4). Вплив хрому так само, як і вуглецю, майже не позначається на стійкість нанесеного металу до абразивного зносу. Так, в сплавах N 1, 2, 3 та 4, де кількість хрому взято по нижньому рівню, стійкість нанесеного металу до абразивного зношування становить відповідно 0,5; 0,45, 1,2 і 1,25. Такий же розкид по стійкості до абразивного зношування відзначається і в сплавах 5, 6, 7 і 8, де зносостійкість зразків має значне коливання і становить 0,7, 1,1, 1,15 і 1,3 відповідно. Помітного впливу хрому на структуру наплавлень не виявлено (рис. 1). Найбільш істотний вплив на стійкість отриманого металу до

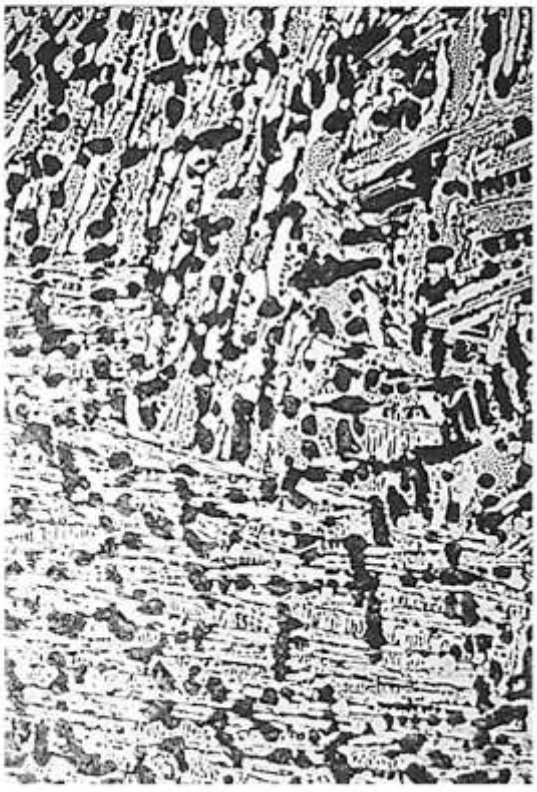
абразивного зношування надає титан. Структура металу в зразках 1, 2 і 5, що мають у своєму складі титану по нижньому рівню - 2,0%, в основному складається з мартенситу і цементиту. Карбіди титану знаходяться в дисперсному стані. Стійкість зразків 1, 2 та 5 до абразивного зношування є мінімальною і складає відповідно 0,5, 0,45 і 0,70 (табл. 3). Збільшення кількості титану в металі до верхнього рівня 4% в зразках 3, 4, 7 і 8 забезпечує максимальну стійкість до абразивного зношування і становить 1,2, 1,25, 1,15 і 1,30 відповідно.

При цьому встановлено, що кількість карбідів титану в наплавленні значно збільшується. Проведене круте сходження показало, що найбільшою стійкістю до абразивного зношування має метал, зразка № 10, що містить у своєму складі титан, вуглець і хром 4,23, 3,70 і 21,14 відповідно. Мікроструктура отриманого шару мартенситна з включеннями карбідів заліза і титану (рис. 5). Кількість карбідів титану за площею в цьому сплаві становить близько 16%. Мікротвердість карбідів заліза легованого хромом досягає H_{50} 1270 - 1360, карбідів титану H_{50} 2730 - 2850, а мартенситу H_{50} 832 - 850

а

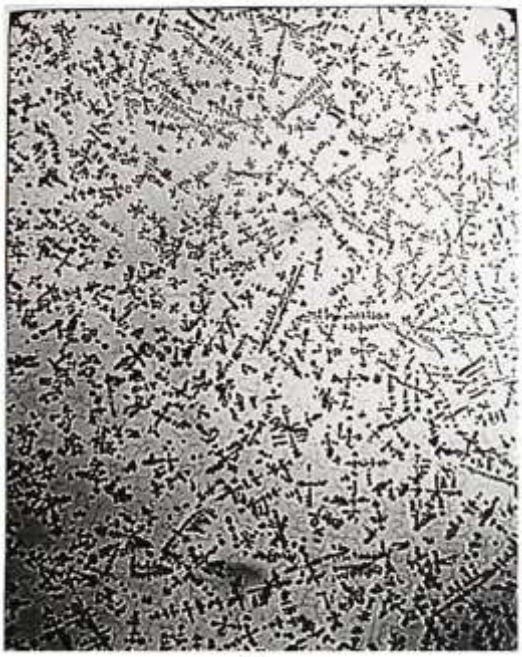
б

в



г

Рис. 1 Мікроструктура зносостійкого шару в досліді № 1 а, б і в досліді № 2 в, г; а, в- х100, б, г- х400.



а

б

в

г

Рис. 2 Мікроструктура зносостійкого шару в досліді № 3 а, б і в досліді №4 в, г; а, в – х100, б, г – х400.

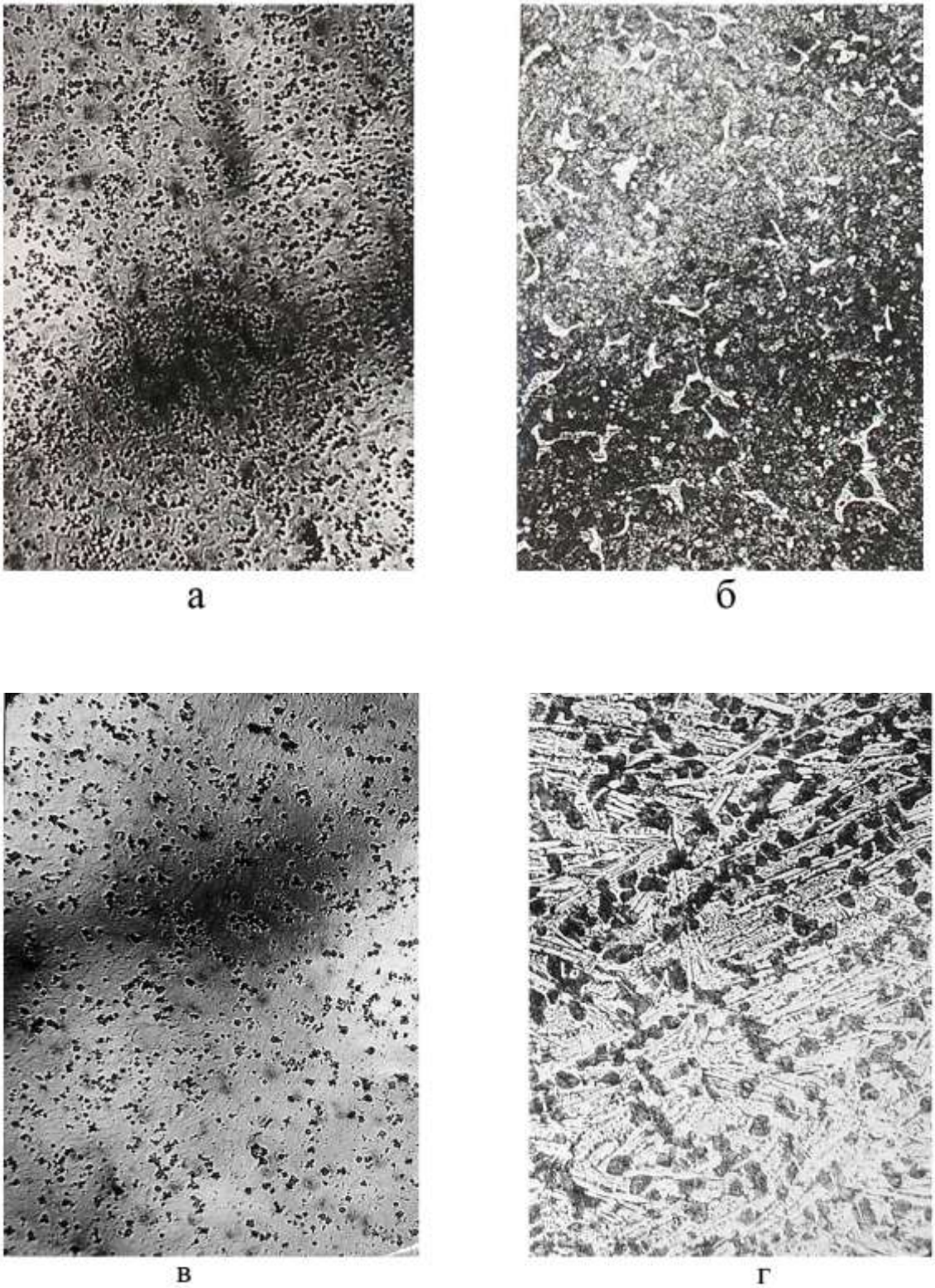


Рис. 3 Мікроструктура зносостійкого шару в досліді № 5 а, б і в досліді №6 в, г; а, в – х100, б, г – х400.

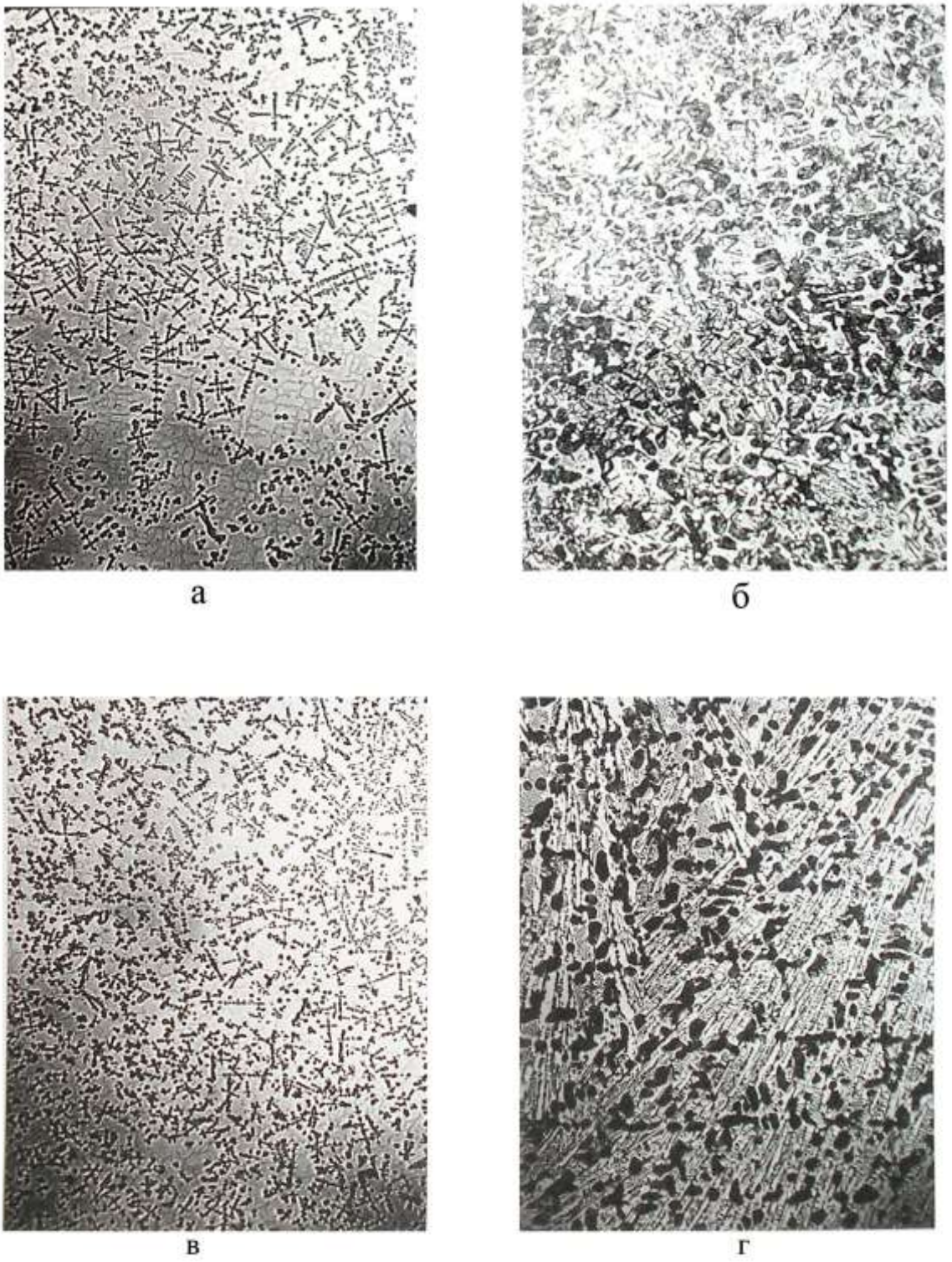


Рис. 4 Мікроструктура зносостійкого шару в досліді № 7 а, б і в досліді №8 в, г; а, в – х100, б, г – х400.

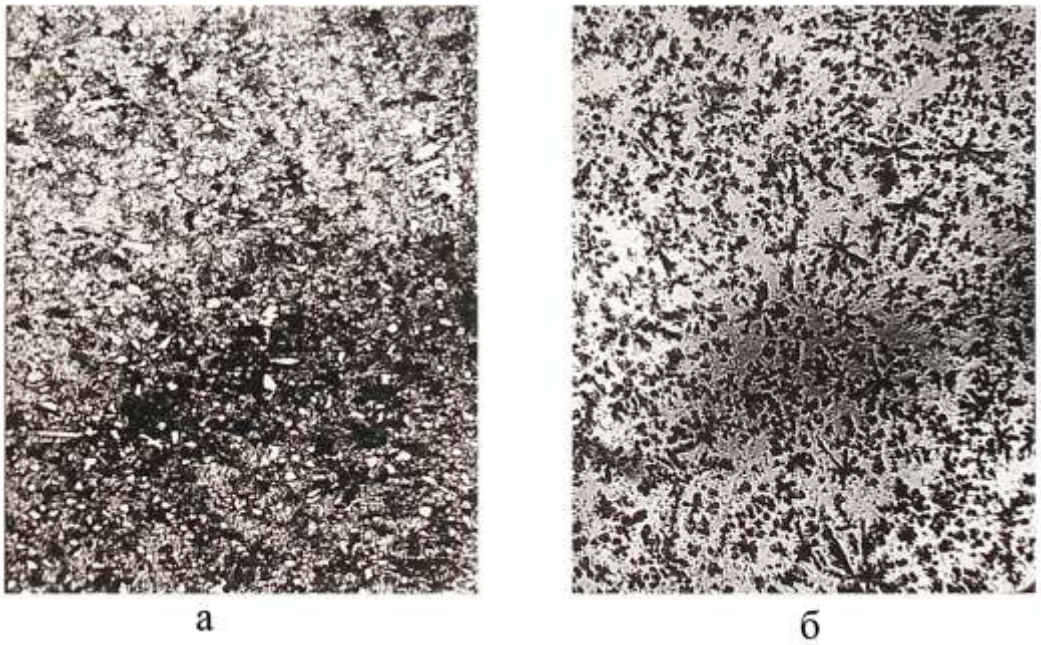


Рис. 5 Мікроструктура зносостійкого шару в досліді № 10 а – х200, б – х400.

На підставі проведеної розробки і дослідження зносостійкого сплаву встановлено, що на його стійкість до абразивного зношування істотно впливають вуглець, титан і хром. Найвищу стійкість до абразивного зношування має досвід № 10 і становить в 1,34 рази вище, ніж зносостійкого сплаву ЧХ28.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках.- М.- Л.: Машиностроение, 1966. - 252 с.

2. Гаврилюк И.В. Формирование структуры чугуна при плавлениии кристаллизации// Литейное производство. - 1998.- N6.- С. 6-8.

3. Ланда А.Ф. Основы получения чугуна повышенного качества. -М.: Машгиз, 1960. - 238 с.

4. Влияние легирующих элементов на стабилизацию графита в чугуне/Jnoyama Naoya, Kawase Kinya, Yomamato Satoru, Kawano Yuta-ka/Umono = J.Jap. Found – rumen Sos.-1990,- 62, N7.- С.510 -516.

5. Александров Н.Н., Мильман Б.С., Капустина Л.С. Влияние графитизирующего модифицирования на процесс кристаллизации пластинчатого графита в чугуне //Литейное производство.- 1986. - N12.-С.2 - 4.

6. Регрессионный анализ структуры и свойств серого чугуна с высоким углеродным эквиалентом /Fan Zhikang, Wang Jiaxin, Huaug Huisong, Liu Jincheng//Чжуц 30 = Foundry.- 1991.- N12.- С.9-13.

7. Кульбовский И. К. Механизм влияния элементов на графитизацию и отбел чугуна //Литейное производство.- 1993. - N7.- С.3 - 5.

8. Сидоренко Р.А. Механизм формообразования графита в чугуне // Процессы литья. - 1993. - N1.- С.27-29.

9. Елистратов П.С. Сварочные свойства чугуна. - М.: Машгиз, 1959. - 147 с.

10. Ксендзык Г.В. Применение износостойких чугунов для наплавки стальных деталей. - Киев: Техника, 1968. - 80 с.

11. Волеовичер Л.С., Клецкин Б.Э. Влияние кремния на свойства чугуна близкого к эвтектическому //Литейное производство. - 1990. - N 12. - С. 21-22.

12. Морозова Л.М. Высокопрочный чугун для деталей арматуры // Литейное производство. - 1998. - N12. - С. 21 - 25.

13. Эффективность графитизирования модифицированных чугунов/ Д.Н. Худокормов,С.Н. Леках, Н.И. Бестужев и др. // Литейное производство. - 1986. - N4. - С. 3-4.

14. Choi Dap Chun, Kakihara Shinichi, Odi Keisaki. Влияние марганца на структуру высокопрочного чугуна при изотермической закалке // Имоно = J.Jap.Foundrumen's Sos. - 1991. - 63, - N2. - С.136-142.

15. Романів О.Н. Раздельное и комплексное влияние марганца и никеля на поверхностную прочность высокомарганцевых чугунов // Зб. наукових праць СУДУ. - Луганск: Машинобудування.-1998.- С.132-135.

16. Ткачук И.В., Дубовой В.С. Распределение модифицирующих и примесных элементов в чугуне с вермикулярным графитом в процессе эвтектической кристаллизации // Процессы литья.-1998.-N2.-С.37-41.

17. Воеводина М.А., Тен Э.Б. Влияние исходного содержания серы на загрязненность отливок с шаровидным графитом неметаллическими включениями // Известия вузов. Черная металлургия. - 1996. N8.- С. 52 - 53.

18. Таран Ю.Н., Черновол А.В., Куперина В.В. О влиянии примесных элементов кислородной группы (S,O) на формообразования графита в особо чистых Fe-C-Si сплавах // Процессы литья. - 1994. - С.30 -41.

19. Козлов Л.Я. Перспективы увеличения производительности отливок из высокопрочного чугуна // Литейное производство. - 1998. - N12. - С. 5 - 7.

20. Жуков А.А., Шилина Е.Л. О влиянии фосфора на содержание углерода в эвтектическом чугуне // Литейное производство. - 1986.- N3. - С.3 - 4.

21. Влияние фосфора и термодеформационного цикла сварки на структуру и свойства серого чугуна ЭШП / Г.М. Крошина, В.Г.Васильев, Д.П. Новикова и др.//Автоматическая сварка.-1996.-N1.-С.10-17.

22. Серый чугун / Shi Ruihe, Shen Jiayou, Lin Fan, Zeng Nian- bo // Чжуц - 30 Foundry. - 1991. - N11. - С.28 - 31.

23. Li Yuggung, Wang Cirong, Gin Zhaofeng. Исследование структуры высокохромистых чугунов// Jinshu Xuebao = Akta Met.Sin.- 1992. - 28,N6. - S. A255 - A261.

24. Zou Guniping. Исследование применение чугунов, легированных хромом //Шуйни = Cement.- 1989. - N4. - С. 11 - 16.

25. Иванова Е.О., Рожкова Е.В. Мартенситные чугуны с повышенной износостойкостью, коррозионной стойкостью // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1990. - N12. - С. 31 - 33.

26. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства.- М.: Металлургия, 1983. - 176 с.

27. Влияние металлических основ на износостойкость хромистых чугунов / Е.В. Рожкова, О.М. Романов, Л.Я. Козлов и др. // Металловедение и термическая обработка металлов.-1986.- N6.- С.30-32.

28. Corsetti Carlo, Saechi Giusppe. Contributo allo studio del rame nella ghise // Fonderia ital.- 1962. - No.3. - P.83 - 88.

29. Грецкий Ю.Я., Метлицкий В.А., Федосенко В.В. Структура наплавленного чугуна легированного никелем //Автоматическая свара. 1987. - N4. - С. 71-72.

30. Низколегированный хромомедистый чугун для отливок базовых деталей станков / Кобелев Н.И., Козлов А.В., Гринберг Б.М. и др. // Литейное производство. - 1993. - N2. - С.5 - 6.

31. Каубрак Е.В., Чуркин В.С. Особенности влияния меди на структурообразования в чугуне // Литейное производство. - 1993. - N7. - С. 9 - 11.

32. Овчинников В.И., Тютин Д.В., Зволинский А.С. Влияние меди на структуру и свойства высокопрочного чугуна // Литейное производство. - 1992. - N1. - С. 10 - 11.

33. Сильман Г.И. Диаграмма состояния Fe-C-V-Si и сплавы на ее основе ч.III. Ванадиевые чугуны с шаровидным графитом // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1996. - N8. - С.39-42.

34. Структура и свойства белых чугунов / Я. Е. Гольденштейн, Н.С. Хисматулина, В.А. Гольденштейн и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1986. - N8. - С.39 - 42.

35. Снаговский Л.М., Строменко О.А. Формирование структуры высокомолибденовых чугунов //Сб. Проблемы металлургического производства.- К.: - 1990. - Вып.101. - С.56 - 60. 36. Куриан Й., Бидлень Ю. Микроструктура азотированного леги- рованного чугуна с шаровидным графитом // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1987. - N5. - С.56 - 57.

37. Иваненко С.М., Александров Б.И. Влияние легирующих элементов на свойства высокохромистого чугуна. // Литейное производство. - 1991. - N7. - С.13 - 15.

38. Погребняк Г.Д., Кузина М.Г. Термофиксация чугунных поршневых колец // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1987. - N6. - С. 6 - 7.

39. Parent S., Mile, Decrop M., Margerie I.C. Le titane dans les fohtes // 38 Congr. fonderie. - Paris.- 1965. - P.119-131.

40. Износостойкий бористый чугун для барабанов бортовых фрикционов / А.С. Росляков, В.П. Митрович, Н.Ф. Желтова и др. // Литейное производство. - 1993. - N1. - С.3 - 4.

41. Sy A.Graphitising effeck of titanium Foundry. 1964. - No.2. - P.43 - 47.

42. Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла. - М.: Машиностроение, 1969.- 188 с.

43. Матвеева М.О., Шаповалова О.М. Комплексное влияние титана, азота и хрома на структуру и свойства валковых чугунов // Теория и практика металлургии. - 1999. - N4. - С. 13 - 16.

44. Корнилов И.И. Титан. Источники, составы, свойства, металлохимия и применение. - М.: Наука, 1975. - 308 с.

45. Савицкий Е.М., Бурханов Г.С. Металловедение сплавов тугоплавких и редких металлов. - М.: Наука, 1971. - 354 с.

46. Хансен М. Структура бинарных сплавов. Т.2. ГОНТИ, 1941. - 716 с.

47. Гольдшмидт Х.Дж. Сплавы внедрения. Вып. 1. Пер. с англ. - М.: Мир, 1971. - 464 с.

48.Адлер Ю.П., Макарова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М. : Наука, 1971. -279 с.
49.Тенембаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. – М. : Машиностроение, 1975. -271 с.
50.Хрущев М.М., Беркович Е.С. Определение износа деталей машин методом искусственных баз. – М.: АНСССР, 1959. -218 с.
51. ГОСТ 11930.0-79 – ГОСТ 11930.12-79. Материалы наплавочные. Методы анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1986. -63 с.