

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно – фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Вплив шкідливих домішок та модифікування на комплекс властивостей та прогартовуваність середньовуглецевої сталі

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-212м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

МАРЧЕНКО Д.В
(прізвище та ініціали)

Керівник ШАЛОМЄЄВ В.А. д.т.н., проф.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
Кафедра Фізичного матеріалознавства
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)

МАРЧЕНКО Дмитро Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Вплив шкідливих домішок та модифікування на комплекс властивостей та прогартовуваність середньовуглецевої сталі

керівник проєкту (роботи) Шаломєєв Вадим Анатолійович професор каф.ФМ, д.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Строк подання студентом проєкту (роботи)

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) технологія модифікування середньо вуглецевих сплавів, хімічний склад сплавів, зразки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд; 2. Матеріали та методика досліджень. 3. Експериментальна частина 4. Економічна частина 5. Охорона праці в та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація :

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	<u>Шаломєєв В.А.</u>		
2	<u>Шаломєєв В.А.</u>		
3	<u>Шаломєєв В.А.</u>		
4	Круглікова В.В		
5	Нестеров О.В		
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	Економічна частина		
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		

Студент(ка)

(підпис)

Дмитро МАРЧЕНКО

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Вадим ШАЛОМЄЄВ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 70 с., 13 табл., 13 рис., 1 дод., 47 джерел

ШКІДЛИВІ ДОМІШКИ, МОДИФІКУВАННЯ,
СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВА СТАЛЬ, ДЕНДРИТИ, ФОСФОР, СІРКА,
ІНТЕРМЕТАЛІДНІ ВКЛЮЧЕННЯ ПРОГАРТОВУВАНІСТЬ, МІЦНІСТЬ.

Об'єкт дослідження – середньовуглецеві сталі та можливості усунення шкідливих домішок при їх виплавленні.

Мета роботи: встановлення оптимального методу модифікування розплаву за для зниження кількості шкідливих домішок в середньо вуглецевих сталях.

Розглянуті сучасні технології виготовлення середньовуглецевих сталей. Досліджено вплив шкідливих домішок, таких як фосфор та сірка, на структуру та властивості виливків. Проведено аналіз методів зменшення їх кількості. Запропоновано раціональний метод модифікування розплавів з середньовуглецевих сталей та експериментально підтвердження ефективність застосування алюмінію, ванадію та РЗМ в якості модифікаторів.

ЗМІСТ

.....	С.
Вступ.....	7
1 Літературний огляд	8
1.1 Вплив шкідливих домішок на структури і властивості сталей	8
1.2 Процес модифікування сталі та вплив неметалевих включень.....	11
1.4 Гранулярність структури і прогартовуваність сталі	18
1.4 Мета і завдання дослідження.....	21
2 Матеріали та методика досліджень	22
2.1 Методика виплавки та термічної обробки зразків.....	22
2.2 Дослідження механічних властивостей і зносостійкості.....	22
2.3 Металографічний і мікрофрактографічний аналізи	23
2.4 Дослідження розміру структурних елементів і показника прогартовуваності сталі.....	25
3 Експериментальна частина.....	27
3.1 Дослідження впливу сірки і фосфору на структуру та властивості виливків	27
3.2 Вплив модифікування.....	29
3.2.1 Вплив модифікаторів на властивості сталі.....	29
3.2.2 Мікрофрактографічний аналіз	36
3.2.3 Структурна гранулярність і показники прогартовуваності.....	39
3.3 Отримані результати.....	43
4 Економічна частина	44
4.1 Актуальність теми з позиції маркетингу	44
4.2 Послідовний аналіз	45
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	56
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	56
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	57

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	60
5.4 Заходи з пожежної безпеки	61
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	62
Висновки	65
Перелік посилань.....	66
Додаток.....	70

ВСТУП

Відновлення виробничих потужностей у поствоєнній Україні робить виклики для дослідників і розробників технологій металургійної та машинобудівної галузі. Ці завдання в переважній більшості стосуються підвищення надійності та довговічності технологічних складових машин і виробничого обладнання. Вихід з ладу окремих деталей і вузлів, що виникає раніше встановленого терміну зазвичай відбувається через зношення поверхні або пошкодження. Через це термін роботи обладнання в значній мірі знижується і як наслідок призводить до збільшення випуску запасних частин, зростання витрат на транспортування та значне зниження ефективності виробництва.

Як правило, термін служби машини або обладнання залежить від стійкості окремих відповідальних деталей, які піддаються інтенсивному зношенню під час експлуатації. Тому, щоб забезпечити надійне та економічне використання виробничих ресурсів, зокрема обладнання, важливо підвищити стійкість цих деталей.

В останні роки відчинянні науковці та виробничі спеціалісти дедалі більше уваги приділяють використанню високоміцних економнолегованих сталей для підвищення ефективності використання сталевих. Легування та модифікування сталі, а також вибір ефективних режимів термічної обробки, можуть значно змінити її властивості, зокрема стійкість до різних видів крихкого руйнування. Врахування взаємодії компонентів зі шкідливими домішками та газами при використанні матеріалів зі складною багатокомпонентною композицією легування та модифікування, стає запорукою виготовлення якісних металевих виробів.

Зважаючи на викладене вище, метою даної роботи є дослідження впливу шкідливих домішок на комплекс властивостей сталі та нейтралізація їхнього шкідливого впливу за рахунок комплексного модифікування.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Вплив шкідливих домішок на структури і властивості сталей

Надійність і довговічність литих деталей в значній мірі залежать від кількості шкідливих домішок в сплаві, до яких насамперед належать сірка, фосфор, гази оточуючого середовища (кисень, азот, водень) [1], заважаючи на це важливою задачею сучасної металургійної галузі сталевих виробництва є обмеження їхньої концентрації у сталі та зменшення їх шкідливого впливу.

Згідно з чинними стандартами в сталі звичайної якості вміст сірки і фосфору має не перевищувати 0,050 %, для якісної сталі не більше 0,030...0,035 %, а у сталей високоякісної групи не більше ніж 0,020...0,025 % кожної домішки окремо. Незважаючи на те, що вміст сірки та фосфору становить лише 0,020–0,025 відсотка, сталь не є надійним матеріалом для виготовлення відповідальних деталей. Тому такий грубий поділ якості не можна вважати достатнім. [2].

В літературі [3, 4, 5] наголошується, що при зниженні вмісту сірки у вуглецевих і легованих сталях від 0,05 до 0,01% ударна в'язкість збільшується в 2–3 рази. З одного боку, сірка має негативний вплив через неметалеві включення, які виділяються на межах литих кристалів, послаблюють металеві зв'язки та зменшують «живий перетин» металу під час руху магистральної тріщини. Сульфіди, які випадають під час процесу кристалізації на границях зерен мають особливо негативний вплив, а саме сприяють різкому зниженню пластичності сталі. [6]. З іншого боку, сірка зменшує пластичність металу через збільшення концентрації міжзеренних границях. [7].

В рідкому стані залізо здатне майже в повному обсязі розчиняти сірку. В твердому стані сіркова розчинність у залізі має дуже низькі показники (до 0,003 %). Сульфідні включення є основною формою сірки в твердій сталі, хоча деякі легувальні елементи можуть в певній мірі сприяти її розчинності. Такі сульфіди як FeS, MnS, CaS, CeS, в більшій мірі впливають на

процеси десульфурації. FeS – повністю розчиняється в залізі, MnS – має обмежену розчинність (близько 0,2 %), в той час як CaS і CeS майже не розчиняються. Тим не менш, всі вони з легкістю розчиняються у шлаках.

Серед усіх компонентів сталі сірка має найвищий ліквацийний коефіцієнт. Це призводить до значного забруднення сульфідами навіть за відносно низького вмісту сірки у великих злитках і виливках, в об'ємах з малою швидкістю кристалізації. В межах існування позитивної ліквації сульфідні включення мають найбільші розміри. Отже, при виробництві великогабаритних злитків і виливків, вміст сірки необхідно знижувати. [1].

Фосфор, як і сірка, належить до шкідливих домішок, які за рахунок своєї присутності в значно знижують комплекс властивостей сталі. За даними А.П. Гуляєва [8], зниження властивостей відбувається через присутність атомів фосфору в α - і γ -гратках заліза, оскільки він повністю розчинений у фериті в тих кількостях, у яких він присутній у сталі. Ю.А. Шульте [1] підкреслює, що збагачення елементарним фосфором границь зерен і утворення неметалевих включень фосфідної евтектики, які є концентраторами напруги, є двома факторами, які посилюють крихкий вплив фосфору. Окрім того фосфор в значній мірі зменшує енергію, яка необхідна для розвитку тріщин.

При вмісті фосфору 0,045 % у виробничих плавках сталі, енергія що необхідна для розвитку тріщин удвічі зменшується, у порівнянні з лабораторними безфосфористими ($\leq 0,005$ % фосфору) сталями [8]. Сталь, яка містить більшу кількість фосфору, має меншу здатність протистояти кристалічному руйнуванню. Зростання концентрації фосфору на один порядок відсотка значно підвищує здатність сталі до відпускнуї крихкості. [2]. З ростом відсотку вуглецю і компонентів легування таких як хром, марганець, кремній та ін., негативна дія фосфору пропорційно збільшується [2, 3, 7].

Кожен етап процесу сталеплавлення супроводжується реакціями, які протікають між рідкою сталлю і киснем. Як кількість, так і форма розчиненого кисню в рідкому металі постійно змінюються. Додатково кисень збагачує сталь під час процесу розливання.

За подвійною діаграмою розчинності кисню у залізі, ферум при температурі переходу в рідкий стан може розчиняти в собі до 0,016 % кисню. Подальше підвищення температури розплаву, який контактує із окислами, призводить до підвищення граничної розчинності кисню [4].

Здатність розчиняти кисень у заліза в твердому стані край низька. Вважається, що при температурах, які падають нижче 1000 °С кисень може бути присутнім тільки у вигляді включень – оксидів.

Зважаючи на це одним з головних операцій ливарного виробництва сталі є – розкислення. Даний процес пасивує кисень. Розкислення сталі алюмінієм сприяє досить низькому вмісту кисню в межах 0,003–0,005 %. У випадку використання алюмінію в якості розкислювача його доля на масу розплаву становить від 0,03 до 0,05 %.

Волога, яка потрапляє в сталеплавильні печі з повітрям і шлакоутворювальними матеріалами, є основним джерелом водню в сталі. Сталі рідко містять більше 0,00045 % водню ($5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$). У цьому випадку забезпечується досить щільна структура, яка не містить ситовидної пористості та газових раковин. [9].

Азот, вміст якого в електросталі становить 0,008-0,015 %, також є шкідливою домішкою металу. [10]. Значна ліквідація азоту в зливках є результатом значних змін у розчинності азоту як у рідкому, так і в твердому вигляді сталі.

Характер кристалізації і розміри виливку в значній мірі впливають на ступінь рівномірного розподілу азоту. В деяких випадках ступінь нерівномірного розподілу може сягати 150...250 % [11].

Основною причиною негативного впливу азоту на властивості сталі є зменшення його розчинності в залізі в процесі кристалізації, а саме під час того як γ -залізо перетворюється на α -залізо. В процесі кристалізації, розчинність азоту знижується більш ніж в три рази (від 0,040 до 0,013 %) [11]. Навіть при вмісті азоту в сталі 0,005-0,007 %, його відокремлення може призвести до підвищення напруженого стану кристалічної ґратки та старіння металу.

Алюміній, який також широко використовується як розкислювач, найчастіше використовується для зв'язування азоту в нітриди. [12]. Тим не менш, ударна в'язкість сталі, розкисленої алюмінієм, також може знижуватися. [13]. У металі з високим вмістом азоту та алюмінію виділяються локальні скупчення плівкоподібних нітридів алюмінію, що створює контрастні рельєфні «відколи». [13, 14]. Це призводить до мікроструктурних дефектів і зниження пластичності та в'язкості [15], знижує ймовірність утворення тріщин у виливках[16]. У сталеварному виробництві широко використовують нітридоутворювальні модифікатори, такі як V, Ti, Zr, рідкоземельні метали та інші, щоб зменшити негативний вплив плівкових нітридів алюмінію. Дисперсні включення нітридів і карбонітридів цих елементів виділяються в широкому температурно-часовому інтервалі стану металу. Ці включення мають високу когерентність з матрицею, що призводить до подрібнення структурних складових і підвищення характеристик пластичності.

1.2 Процес модифікування сталі та вплив неметалевих включень

Головною планочною характеристикою сталі є неметалеві включення. Властивості сталі значною мірою залежать від ступеня забрудненості включеннями, їхньої природи та способу розподілу [3, 17].

За своїм походженням неметалеві включення в сталях поділяються на дві категорії: ендогенні (утворюються в результаті реакцій металургійного переділу) і екзогенні (утворюються механічно).

До першої групи відносяться сполуки наступних типів: нітриди, оксиди та сульфіди. Вони утворюються під час плавки, розливання та кристалізації сталі. Ці включення присутні в литій сталі у глобулярному чи кристалоподібному стані. Якщо вони не відносяться до аморфного скла за

своїм типом, включення, що виділяються в твердому стані з рідкої сталі, мають кристалічну структуру, властиву цьому мінералогічному складу. Незалежно від того, чи є речовина цих включень кристалічною чи аморфною, ті ж неметалеві частинки, які утворюються у вигляді рідини і затвердівають пізніше за метал, що їх оточує, набувають кулястої форми (глобули).

Коли температура розплаву сталі знижується, розчинність кисню, сірки та азоту значно зменшується. Домішки виходять з металевого розчину і з'єднуються з іншими частинами сплаву, утворюючи неметалеві включення. В той час як розчинність цих елементів у рідкій сталі висока, і в процесі кристалізації суттєво падає, то неметалеві включення з'являються в уже відлитій сталі у формі евтектики вздовж меж первинних фаз.

Під час затвердіння сталі шкідливі домішки неперестанно збагачують рідинну фазу розчину, що призводить до міжевтектичної сегрегації включень. Послідовне безперервне осадження включень, що випадають у рідкій сталі, називається коагуляцією. Цей процес призводить до того, що розмір включень відповідно зростає разом із перерізом виливків.

Сторонні частинки, що замішалися в рідкий метал, належать до другої групи включень. Зазвичай це частинки вогнетривів, пічного шлаку або уламки виливниці, з якими рідкий метал контактував в процесі виходу з печі та під час розливання по формам. Ці, значні за розміром, включення інколи наявні у великих кількостях, що в свою чергу призводить до браку.

Ендогенні включення з'являються під час процесів розплавлення сталі, її остивання у розливному ковші, процесів власне розливання, твердіння виливків чи охолодження вже розливої сталі (вже в твердому стані).

В продовж виконання процесів плавлення вдається контролювати рівень розчиненого в сталі кисню на рівні 0,003...0,005 % завдяки технологіям розкислення. Зазвичай розкислювачем виступає алюміній який додається в проміжок часу який відповідає завершальному етапу плавки. При виконанні плавок без розкислення вміст сірки в порівнянні з вмістом кисню на порядок вищий.

Стехіометричний перерахунок фазового складу включень за вмістом кисню та сірки показує співвідношення оксидів на 10–20 відсотків і сульфідів на 80–90 відсотків. Здебільшого сірка видаляється з металу в шлак під час відновлювального періоду та під час випуску металу в ківш. Таким чином, для забезпечення високої якості електросталі необхідно вирішити проблеми шлакового режиму та розкислення.

Теоретичні та практичні проблеми модифікування сталей та сплавів обширно розглянуті в роботах Явойського В.І. [18], Шульте Ю.А. [4] та інших науковців.

Під час виробництва сталі, зазвичай, остаточне розкислення також виконує роль модифікуванням. Розкислювачі-модифікатори не тільки створюють центри кристалізації, але й значно змінюють поверхневу енергію розплаву. Розкислення сталі алюмінієм є прикладом ефективного застосування засад модифікування першого і другого роду.

Алюміній впливає на форму та розподіл оксидних, сульфідних і нітридних включень, що суттєво впливає на механічні властивості сталі. Алюміній впливає найбільше на сульфідні включення. К. Симс і Ф. Даль визначили вплив розміру присадки алюмінію на пластичність і в'язкість середньовуглецевої сталі з різним вмістом сірки, використовуючи дані великої кількості лабораторних і виробничих плавок.

Дослідження Мак Кведа та Ена, які дослідили вплив алюмінію на величину зерна аустеніту та розробили метод плавки на «дрібне зерно», повністю підтверджують класичні роботи Сімса і Даля. Технологія виробництва конструкційної дрібнозернистої сталі була прийнята як в Україні, так і в інших країнах. [3]. Сімс і Даль класифікують сульфідні включення в трьох типах залежно від вмісту алюмінію в сталі. У першому класі є дезорієнтовані округлі (до 0,01% Al); у другому класі є евтектичні, що виділяються на межах зерен від 0,01 до 0,02% Al; і в останньому класі є дезорієнтовані гострокутні (понад 0,02% Al). Багаторічні дослідження металознавців і металургів підтвердили справедливність цієї класифікації для

більшої частини марок литої сталі. Подальші дослідження показали, що фрактографічний аналіз зламів ударних зразків сталі з зазначеними типами включень повністю підтвердив їхню природу, форму та топографію розташування в металевій матриці. На рис. 1.1 показані мікрофрактограми зламів, які підтверджують переваги включень I типу, прийнятну структуру III типу та крихкі злами з включеннями II типу. [19].



а

б

в

Типи включень: а – I тип; б – II тип; в – III тип

Рисунок 1.1 – Неметалеві включення трьох типів в середньовуглецевій сталі. Електронно-скануючий мікроскоп ($\times 2000$) [19]

В останні роки було розпочато дослідження того, який вплив характер неметалевих включень має на руйнування литої сталі. Дослідження показали наступне – наявність включення III-типу спричиняє високе напруження, через накопичення дислокацій, біля їхніх гострих кутів, що в свою чергу призводить до мікротріщин. [20].

Згідно досліджень Вовчка І.П. [21...26] встановлено ролі неметалевих включень як основної причини початку процесу руйнування в конструкційних сталях, проаналізовано дослідження механізму окрихтіння сталі та оприлюднено дані що свідчать про розвиток скупчень дислокацій біля неметалевих включень. Дослідження показали, що неметалеві включення

відповідають утворення майже всіх мікротріщин, що виникають в процесі експлуатації. Інші дослідження показали, що на тип зародження тріщин впливають також фізичні властивості самих включень. [27]. Встановлено, що евтектичні включення II типу є найбільш шкідливими і сприяють руйнування сталі, тоді як глобулярні включення I типу є найбільш корисними і сприятливими для структури матеріалу виробу.

Процес кінцевого розкислення сталі алюмінієм, який широко використовується, досить хороший, але не ідеальний. Утворення гострокутних оксисульфідних включень, які служать концентраторами напружень і сприяють утворенню мікротріщин, які призводять до розриву металевої матриці. У литій сталі округлі включення (глобули) є найвигіднішою формою включень, оскільки вони мають здатність «знешкоджувати» мікротріщини. Глобуляризатори, комплексне модифікування елементів, можуть підвищити якість литої сталі. Коли справа доходить до цього, лужноземельні(ЛЗМ) та рідкоземельні(РЗМ) метали мають найбільшу здатність реагувати з киснем, сіркою, азотом та іншими речовинами. [3].

Технологія модифікування ЛЗМ і РЗМ здобула розповсюдження як у вітчизняному, так і закордонному виробництві. Питання глобулізації включень добре розглянуто у вітчизняній літературі. [3, 28, 29].

З лужноземельних елементів широкого застосування набув кальцій, який вирізняється найбільшою хімічною спорідненістю з киснем і сіркою. До того ж, кальцій, являє собою поверхнево-активний елемент, що здатен до адсорбції на межах зародків кристалів, і тим самим сприяє зменшенню розміру зерна сплаву.

Границя розчинності кальцію в рідкому залізі вкрай низька - близько 0,016%, даний показник певною мірою залежить від вмісту легуючих елементів. Окис кальцію - найміцніша сполука серед усіх, що можуть виникнути під час виплавки сталі, має температуру плавлення 2587 °С. Сульфід кальцію, також є вкрай міцною сполукою. Зважаючи на це кальцій спочатку зв'язує кисень у рідкій сталі, а потім вже утворює сполуку з сіркою.

Кальцій має більшу спорідненість до сірки, ніж марганець, тому в сталі утворюються комплексні округлі включення перетектичного типу – кальцій-марганцевих сульфідів, які розрізнено знаходяться в матриці металу та значно покращують її властивості. Багато дослідників погоджуються, що кальцій покращує мікроструктуру литої сталі. Модифікація кальцієм зменшує розмір зерна та зменшує рівень забрудненості його границь, запобігаючи утворенню структури типу відманшт. Крім того кальцій підвищує пластичність і опір окрихчуванню сталі, завдяки тому що неметалеві гострокутні включення перетворюються на глобулярні.

У роботі [30] вказується, що процес цілковитої сфериїдизації сульфідів у малолегованих розкислених сталях відбувається при наступному співвідношенні: $[Ca]:[S]=0,5...1,0$.

Як зазначають Я.Є. Гольдштейн і В.Г. Мізін [31], модифікація силікокальцієм підвищує комплекс фізичних і механічних властивостей, а також зменшує схильність до холодноламкості сталей в литому стані. Як вказується у роботі [29] при внесенні силікокальцію в склад хромових чи хромомолібденових сталей пластичні характеристики підвищилися на 20...35 %.

Застосування модифікації РЗМ стало результатом нових тенденцій у галузі покращення якості сталі. Від моменту введення до кристалізації ці метали добре взаємодіють зі шкідливими домішками в сталі, утворюючи в рідкому металі неметалеві комплекси, які частково впливають на поверхню розплаву. Крім того вони утворюють глобулярні сполуки з деякими домішками, які залишаються в середині розплаву. Спорідненість РЗМ до багатьох елементів, особливо до кисню та сірки, є найважливішою фізико-механічною характеристикою, яка визначає їхню поведінку в металевих розплавах. Причому спорідненість ЛЗМ і РЗМ до кисню на кілька порядків вища, ніж до сірки, що підвищує складність процес десульфурації за допомогою цих елементів [32]. Отже, щоб присадки модифікаторів, крім кисню, зв'язали і сірку, перед присадками ЩЗМ і РЗМ необхідно зменшити

концентрацію кисню звичайними методами розкислення до мінімально можливих значень.

Теорія та практика розкислення сталі з використанням РЗМ останнім часом отримали значний розвиток. Основні характеристики розкислення та десульфурації РЗМ були визначені [33, 34].

Узагальнені термодинамічні дані стандартної вільної енергії для утворення оксидів, сульфідів, карбідів і нітридів РЗМ показані на рис. 1.2, які демонструють черговість взаємодії компонентів і підтверджують утворення складних комплексних включень одночасно [35, 36].

Як зазначив Ю.А. Шульте [4], присадки РЗМ до сталі сприяють перетворенню гострокутних включень III типу в округлі оксисульфідів, що відповідають I типу. Рекомендується використовувати мінімальне співвідношення $(\text{Ce}):(\text{S}) = 1,5$ для модифікування. Для глибоко розкислених сталей автори [30] пропонують наступне співвідношення: $(\text{РЗМ}):(\text{S})=2,7...3,0$. У дослідженні [7] зазначено, що при малій концентрації сірки в металі введення РЗМ збільшує схильність сталі до повторного окиснення та збільшенню кількості багатофазних включень. Це може призводити до значного зниження властивостей в'язкості і пластичності.

Багато досліджень, присвячених питанню комплексного модифікування, науковці рекомендують використовувати комбінації модифікаторів для глобуляризації включень. У праці [37] запропонована комбінована присадка рідкоземельних металів і кальцію у відношенні 1:2. Інші дослідники [31] пропонують інше співвідношення 1:5. В.В. Луньов у своїй роботі [7] також стверджує, що лігатури РЗМ, які також містять ЛЗМ, можуть бути перспективними модифікаторами литих сталей. Таке модифікування підвищує рівень характеристик пластичності та в'язкості сталі. Крім того це дозволить зменшити рівень забруднення неметалічними включеннями і газами.

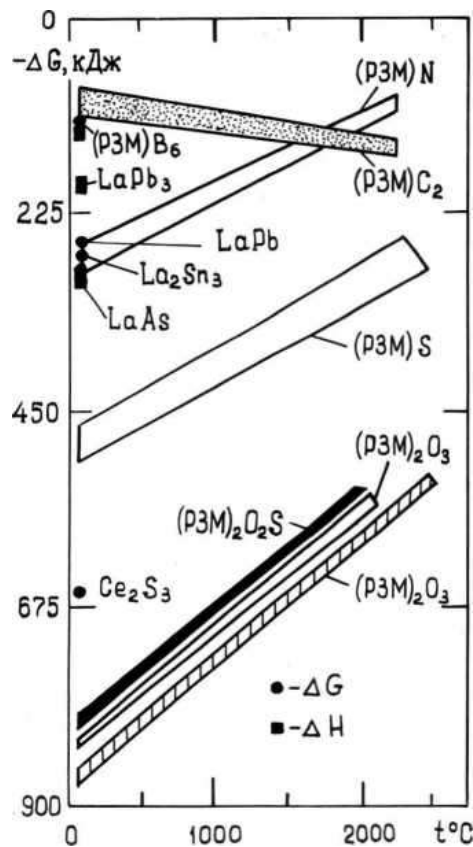


Рисунок 1.2 – Вільна енергія необхідна для утворення різноманітних сульфідів, нітридів, оксидів і карбідів з рідкоземельними металами [35]

Зважаючи на досліджені літературні джерела встановлено значну роль модифікування в процесі підвищення якості виробництва виливків, що в свою чергу забезпечує надійний спосіб отримання якісних виробів.

1.4 Гранулярність структури і прогартовуваність сталі

Після загартування розміри зерна сталі визначають її фізико-механічні властивості. Більша кількість зерна аустеніту під час цього етапу гартування забезпечує більшу стійкість сталі до розпаду під час гартування, а також глибшу прогартовуваність сталі. Модифіковані дрібнозернисті сталі не

перегрівають і прогартовуються на невеликій глибині. Загартування грубозернистих сталей вимагає нижчих температур.

Для більшості виливків стандарти та технічні умови вимагають дрібнозернисту структуру сталі, яку можна досягти шляхом присадження модифікаторів, таких як титан, алюміній, ванадій тощо. Алюміній, який є універсальним і дешевим, отримав найбільше розповсюдження. Раніше вважали, що ріст аустенітного зерна можна обмежувати дисперсними частинками корунду. Пізніше, що ріст зерен аустеніту обмежується сульфідами алюмінію. Нітриди алюмінію відіграють найбільшу роль у формуванні аустенітного зерна, згідно з останніми даними. [4].

Той факт, що зерна в модифікованій алюмінієм дрібнозернистій сталі ростуть за 1000 °С, свідчить про те, що при цій температурі дисперсні включення нітридів розчиняються в аустеніті. Встановлено, що нітриди алюмінію впливають на величину зерна аустеніту в хромомарганцевій сталі як кількісно, так і якісно.

Інші модифікатори мають значний вплив на розмір зерна аустеніту. Ванадій є одним із таких, він більше подрібнює зерно сталі, завдяки тому що виділяється з твердої сталі за значно нижчою температурою. [38, 39]. У Сплаві 15Г2АФ, при вмісті 0,038 % N, повне розчинення нітридів при вмісті 0,1 % V відбувалося при температурах 1050...1100 °С; при 0,19 % V - 1100...1150 °С; при 0,29 % V - 1200 °С. Наявність 0,06 % V в сталі 20Г2 створює можливість призупинити ріст аустенітного зерна в ході нагріву до 980 °С [40]. Дрібне аустенітне зерно сталі для зварюваних конструкцій, що містить 0,10 % C, 0,40 % Si, 1,25 % Mn і до 0,005 % Al, отримувалося при концентрації ванадію на рівні 0,04...0,06 % [41]. Для ресорно-пружинних сталей було виявлено, що вміст ванадію в десять разів більший, ніж азоту, сприяє зниженню схильності до росту аустенітних зерен під час нагрівання. У багатьох випадках для того, щоб карбонітриди могли ефективно впливати як на процес зміцнення, так і на подрібнення аустенітного зерна, в сталі повинні бути принаймні два нітриди, які не є подібними за розчинністю, наприклад нітрид алюмінію та карбонітрид

ванадію [42].

Як було зазначено раніше, прогартовуваність тісно пов'язана з розміром (гранулярністю) зерна аустеніту. Однією з найважливіших технологічних характеристик сталі є прогартовуваність. Глибока прогартовуваність гарантує високі показники міцності, твердості, пластичності і ударної в'язкості виробу, що рівномірно розподілені за перерізом

Алюміній, який є основою для утворення включень типу Al_2O_3 та AlN , сприяє подрібненню сталі і за рахунок цього знижує показники прогартовуваність. В той же час алюміній, який виступає в якості легувального елементу у твердому розчині, збільшує рівень прогартовуваності сталі. В дослідженні [43] було визначено залежність концентрації азоту та можливістю впливу алюмінію на прогартовуваність. При частці азоту в межах 0,012...0,016 %, частка залишкового алюмінію має не бути більшою за 0,015 %, за для уникнення падіння рівня прогартовуваності.

У випадку гартування сталей, що містять ванадій з температур, що є нормальними, карбонітриди ванадію, здатні впливати на процеси утворення зародків і як наслідок зменшуючи рівень прогартовуваності. Якщо в такому випадку виконувати гартування з використанням завищених температур нагрівання, виникає ефект збільшення прогартовуваність. Дослідники [44] визначили, залежність в якій йдеться про те що при введенні 0,12 % V можна досягти значного підвищення рівня прогартовуваність сталі.

В літературних джерелах даних про вплив РЗМ і ЛЗМ на прогартовуваність і гранулярність сталі в достатній мірі не знайдено. Як вказано в роботі [45] використання РЗМ і ЦЗМ у якості модифікаторів сприяє зменшенню розмірів структурних складових виливків. Дослідники в роботі [46] стверджують, що під час силікокальцій як модифікатор сприяє зростанню прогартовуваність сталі, пояснюючи це тим що відбувається очищення межзеренних ділянок від шкідливих елементів. В праці [47] зазначається, роздільне і комбіноване модифікування РЗМ і ЛЗМ не впливає на прогартовуваність сталі в суттєвій мірі, а ділянки прогартовуваності майже не

відрізняються

1.4 Мета і завдання дослідження

Аналіз літературних даних показує, що основними шляхами підвищення надійності та довговічності роботи виливків, які працюють в умовах абразивного зношення, а також в умовах значних ударних навантажень є:

1. Зменшення вмісту шкідливих домішок у сталі та нейтралізація їх шкідливого впливу.
2. Застосування раціональних технологій модифікування алюмінієм, ванадієм, лігатурами РЗМ і ЛЗМ, що дають змогу одержати сприятливу форму неметалевих включень, яка забезпечує одночасно високу прогартуваність сталі та дрібне зерно.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика виплавки та термічної обробки зразків

Використовували для виплавки зразків індукційні печі з основним футеруванням ємністю 60 і 120 кг. Для плавки використовували свіжі шихтові матеріали. За для вимірювання температур у печах та розливних ковшах використовували термопари вольфрам-молібден.

За для вивчення впливу хімічного складу, кінцевого розкислення та модифікування на комплекс властивостей сталі застосовували пропорційне розливання. Даний метод може дати змогу встановити вплив фактору, що досліджується, не беручи до уваги вплив інших параметрів виробництва, завдяки тому що дослідження проводиться на відливках однакового вихідного складу.

Хімічний складу сталі спостерігався завдяки хімічним методам для вуглецю, сірки, фосфору та РЗМ і спектроскопічним методом для хрому, кремнію, марганцю, ванадію, алюмінію та кальцію.

Для дослідних відливок проводили термічну обробку в лабораторних електропечах і в камерних газових печах з автоматичними датчиками контролю температур.

2.2 Дослідження механічних властивостей і зносостійкості

Дослідження механічних властивостей сплавів може дати об'єктивну оцінку їх якості. В процесі аналізу отриманих даних по механічним властивостям можна встановити який вплив несуть певні технологічні параметри(хімічний склад, питома маса, гомогенність структури, природа неметалевих включень тощо).

Дослідження механічних властивостей сталі проводилося на зразках виготовлених методом литва (ДСТУ 8781:2018). Розривні випробування виконувалися на лабораторних розривних машинах типу УММ-50 і Р-10. Зразки для цього відливалися з дотриманням норм ГОСТ 1497-84. Випробування на ударну в'язкість проводили на зразках типу 1 у відповідності до ДСТУ 9454-78 на маятниковому копрі МК-30А. Вимірювання твердості проводили за методом Брінеля (вдавлюванням кульки діаметром 5 мм) відповідно до ДСТУ 9012-59 і за методом Роквелла - ДСТУ 9013-59 (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 мірофрактографічний аналізи

Однією з характеристик литої сталі, яка визначає її фізико-механічні характеристики, є кількісна оцінка металевих включень. В процесі дослідження суттєва увага приділялася встановленню взаємозв'язку між властивостями сталі та неметалевими включеннями.

Кількісну оцінку неметалевими включеннями в металі, їх геометричні параметри та характер розташування вивчали методами світлової мікроскопії (Neophot 32, OLYMPUS IX 70).

Неметалеві включення сталі варіантів, що досліджувалися оцінювали

методами якісного та кількісного аналізу. Для встановлення кількісної характеристики неметалевих включень і ступінь забрудненості металу використовувалися методи "Л" і "П" ГОСТ 1778-70.

У сталі, що була модифікована сфероїдизуючими елементами, встановлено наявність лише двох видів включень: гострокутні та комплексні глобулярні. Завдяки цьому в якості основного критерію оцінювання модифікування застосовували коефіцієнт глобуляризації (K_r), який в свою чергу є відношенням індексів забрудненості сферичними включеннями до загального об'єму включень:

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

Даний коефіцієнт з достатньою об'єктивністю встановлює ефективність використання даного типу модифікаторів.

Вивчення зламів, зафіксоване на електронномікроскопічних знімках, визначають не тільки вид зламу, а й достатньо точно встановлюють характер неметалевих включень, їхню геометрію та розподіл.

За допомогою електронної мікрофрактографії на електромікроскопі УЕМВ-100К встановлювали вплив модифікаторів на тип зламів виливків сталі та характер неметалевих включень. Зразки, що досліджувалися на ударостійкість, одразу після руйнування розміщали в робочій камері апарату для напилення. З використанням вакууму пр тиску $1 \cdot 10^{-7}$ Па на поверхню зламу виконували напилення вугільної плівки. Реплік відокремлювали за допомогою реакції в електроліті 10 % спиртового розчину азотної кислоти. Поміщені на мідні сітки об'єктотримача, промиті репліки досліджували в електромікроскопі з використанням збільшенням $\times 3800$.

Розподіл легувальних елементів і шкідливих домішок досліджували за перерізом дендритів і в міждендритних просторах за допомогою рентгенівського мікроаналізатора MAP-2. На напилювальній установці

«Tesla» електропровідний шар вуглецю покривав поверхню шліфа. Під час руху зразка під електронним мікроскопом інтенсивність випромінювання кожного елемента за перерізом міждендритного простору та дендрита оцінювали та порівнювали з інтенсивністю еталонного випромінювання.

2.4 Дослідження розміру структурних елементів і показника прогартуваності сталі

Механічні властивості сталей певною мірою визначаються розміром аустенітного зерна. Зважаючи на це контролювання гранулярністю структурних елементів сталі є актуальною задачею, що ставиться перед науковцями.

Наразі за для встановлення розмірних характеристик аустенітного зерна існує ДСТУ 5639-82. За ним оцінка виконується за десятибальною шкалою. Бал зерна аустеніту від 1 до 4 відповідає сталі з грубим (великим) зерном, а бал від 5 до 10 свідчить про дрібнозернисту структуру.

За для встановлення реального зерна, після виконання термічної обробки зразки вищавлювали в 4-х відсотковому розчині азотної кислоти етиловому спирті. За для виявлення аустенітного зерна проводили травлення міжзеренних ділянок при нагріванні до 900 °С впродовж двох годин з подальшим гартуванням (середовище гартування – вода). Аустенітне зерно проявляли травленням поверхні водним розчином 2 % мийної рідини з додаванням пікринової кислоти. Температура реактива для травлення становила 45...50 °С. Після того, як межі зерен були визначені, зразки досліджували при збільшенні $\times 100$. Величину зерна оцінювали за допомогою візуального порівняння зерен, які були видимі під мікроскопом, з еталонами, а також виміром за середньою умовною довжиною зерна або кількістю зерен на один міліметр квадратний. Розрахунок зерен здійснювали за допомогою

лінійного методу на металографічному мікроскопі МІМ-8. У той же спосіб вивчали дійсне зерно.

Один з найважливіших показників технологічності сталі є її прогартовуваність. Дана характеристика оцінює здатність до забезпечення в сталі структурної однорідності, яка в свою чергу є запорукою довготривалої експлуатації майбутніх деталей. Прогартовуваність досліджували методом торцевого гартування (ГОСТ 5657-69), що є одним з найпростіших способів встановлення даної характеристики.

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Для виробництва литих деталей гірничого обладнання під час видобутку залізної руди широко застосовують середньовуглецеву сталь 40ХЛ, що має задовільний рівень механічних властивостей і зносостійкості. Однак, під час експлуатації литих деталей з цієї сталі, часто відбуваються їхні поломки. Крім того, постійно зростаючі вимоги до збільшення продуктивності гірничого обладнання зумовлюють необхідність підвищення терміну служби деталей, що обумовлено їхньою зносостійкістю. Тому проводили дослідження з підвищення механічних властивостей і зносостійкості сталі 40ХЛ, що забезпечують надійну і довговічну роботу обладнання.

3.1 Дослідження впливу сірки і фосфору на структуру та властивості виливків

Найважливішим способів збільшення загального комплексу властивостей сталевих виливків є зменшення кількості шкідливих домішок таких як сірка і фосфор.

Встановлювали вплив концентрацій сірки, що зростали від 0,011 % до 0,032 % і фосфору від 0,014 % до 0,038 % на рівень механічних характеристик сталі 40ХЛ. Дослідні плавки проводили сплавлянням шихти і феросплавів з мінімальним вмістом сірки і фосфору.

Необхідну концентрацію сірки і фосфору було одержано завдяки додаванню у розливний ківш сірчистого заліза і ферофосфору відповідно. При дослідженні всі виплавки піддавали розкисленню надмірною кількістю алюмінію. Як результат у відливках утворювалися тільки три види включень, що в свою чергу дало змогу не брати до уваги вплив типу включень на рівень

показників механічних випробувань. Відлиті заготовки для дослідження механічних властивостей проходили наступну термічну обробку: нормалізація при $(880 \pm 10)^\circ\text{C}$ і відпуску від $(650 \pm 10)^\circ\text{C}$.

Далі (табл. 3.1) наведено результати досліджень механічних властивостей відливок з різною концентрацією сірки і фосфору. А також вказаний індекс забрудненості сталі.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості та ступінь чистоти сталі 40ХЛ з різним вмістом шкідливих домішок (сірки та фосфору)

Вміст елемента, %		Механічні властивості					Індекс забрудненості, 10^{-3}
S	P	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²	HB, МПа	
0,011	0,014	930	18,6	33,9	0,36	2670	1,35
0,011	0,038	966	17,0	29,2	0,28	2720	1,23
0,022	0,014	915	17,5	32,2	0,30	2660	2,89
0,022	0,038	996	15,8	27,0	0,17	2730	2,53
0,032	0,015	887	16,7	28,0	0,25	2650	3,56
0,032	0,038	1020	15,7	25,3	0,13	2740	3,57

За результатами досліджень механічних властивостей можна зробити висновок, що підвищення концентрації сірки сприяло зменшенню рівня пластичності і ударної в'язкості сплаву, при цьому міцність сталі не зазнала суттєвих змін. Встановлено що включення неметалевих компонентів були переважно оксисульфідами, сульфідами та оксидами з розмірних межал 2...16 мкм. Основну роль у встановленні кількості домішкових включень відіграла сірка, водночас рівень забрудненості оксидами майже не змінювався і залишався на мінімальному рівні.

Підвищення вмісту фосфору у визначених границях сприяло суттєвому зменшенню рівня ударної в'язкості, це можна пояснити збільшеною концентрацією фосфору по границях зерен.

Аналіз проведених досліджень дозволив встановити, що під час виробництва сталей для поліпшення їхньої якості більшу вагу необхідно приділяти процесам, що дадуть змогу зменшити концентрацію сірки та фосфору.

Встановлено, що для підвищення рівня механічних і експлуатаційних властивостей, необхідно розробити раціональний метод модифікування розплаву.

3.2 Вплив модифікування

У сучасному матеріалознавстві надзвичайно важливим завданням є контроль природи неметалевих включень і структури сплавів. Було досліджено вплив алюмінію, ванадію, кальцію, а також рідкоземельних металів на характер включень, структуру, прогартовуваність і властивості сталевих виливків.

3.2.1 Вплив модифікаторів на властивості сталі

З елементами, що містяться в сталі алюміній, ванадій, кальцій, а також РЗМ можуть вступати в фазові реакції утворюючи тверді розчини і хімічні з'єднання. Характер зв'язку даних фаз і їх розташування в структурі забезпечує певні властивості сталі.

Дослідні плавки проводилися в індукційній печі з основним футеруванням ємністю 120 кг. Умови порційного розливання рідкого металу використовувалися для вивчення впливу присадок алюмінію, ванадію, силікокальцію (СК) і силіцидів рідкоземельних металів (СР). Термообробку

литих зразків виконували аналогічну до пункту 3.1.

На рис. 3.1 показано як впливає збільшення концентрації алюмінію і ванадію на окремі властивості дослідного сплаву, з наступним вмістом компонентів: 0,45 % C; 1,10 % Cr; 0,90 % Si; 0,42 % Mn; 0,020 % S; 0,012 % P. Сталь яка не розкислювалася алюмінієм мала найбільші показники міцності та пластичності, для неї було типовим існування неметалевих включень І-го типу. Ванадію в значній мірі підвищував ударну в'язкість. При концентрації 0,04...0,05 % V було отримано максимальні показники КСЧ. Це пояснюється значним зменшенням розміру зерен, а також подрібненням дендритних осей (рис. 3.2). Зменшення рівню ударної в'язкості при подальшому зростанню кількості ванадію можна пояснити збільшенням дендритних осей.

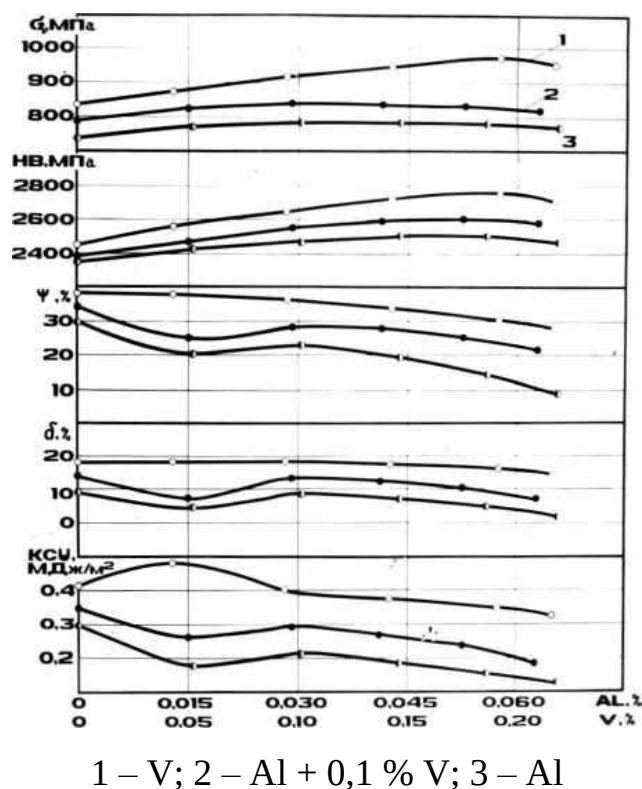
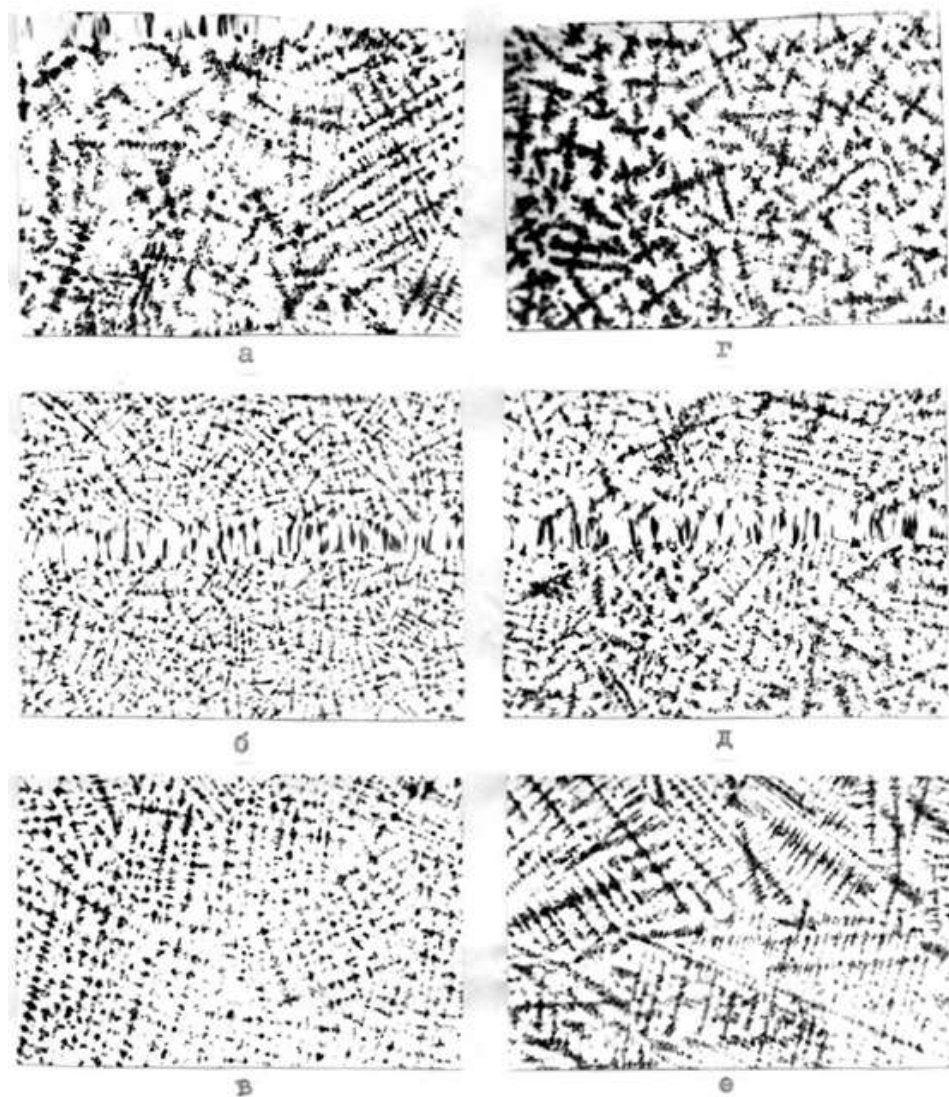


Рисунок 3.1 – Вплив присадок Al і V на властивості сталі 45ХЛ

Однією з важливих характеристик сталевих виливків, від якої значно залежить рівень механічних властивостей, є ступінь дендритної ліквідації.

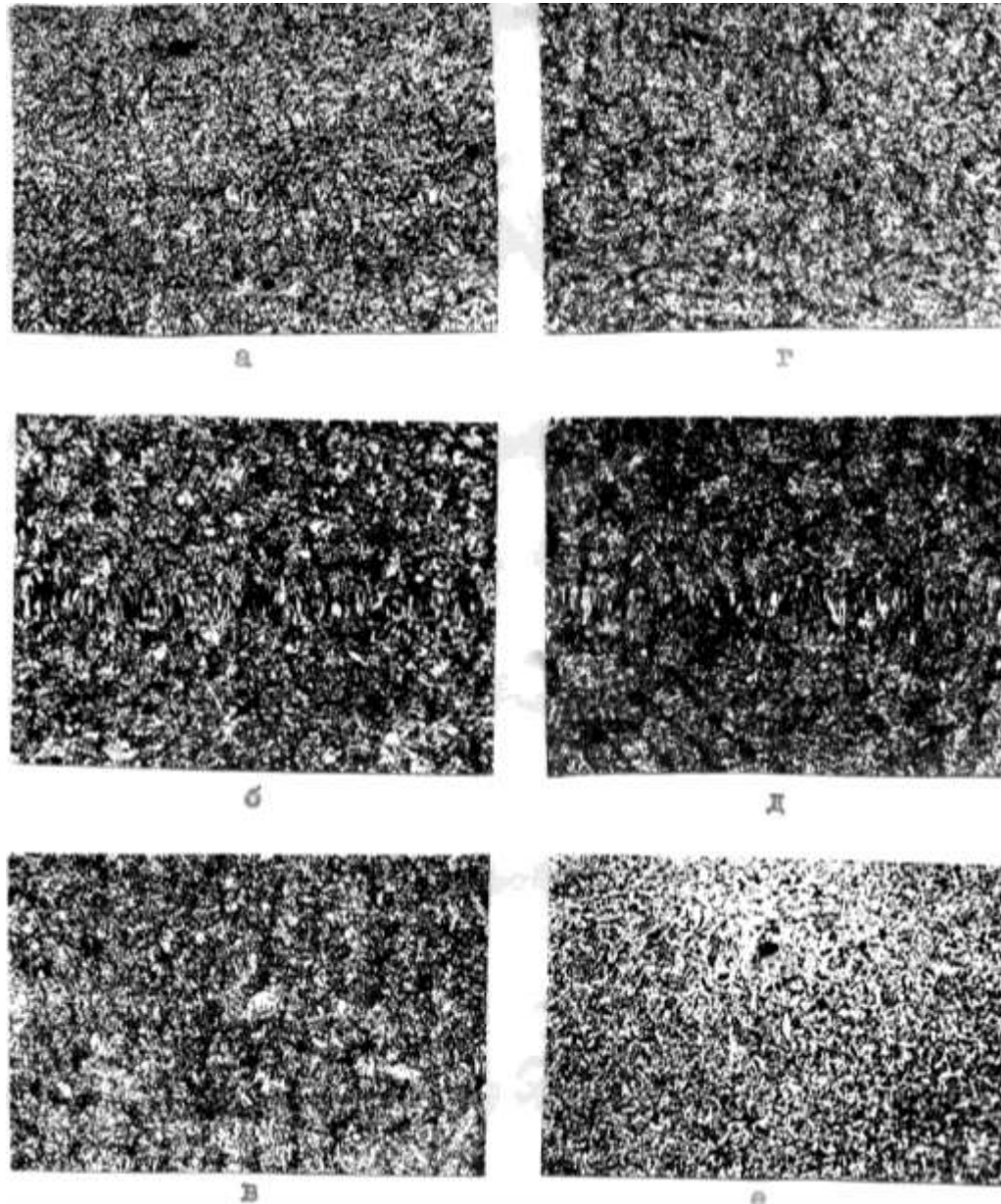


а – без ванадію; б – 0,04 % V; в – 0,09 % V; г – 0,14 % V; д – 0,18 % V;
е – 0,23 % V

Рисунок 3.2 – Вплив присадок V на розвиток дендритної структури сталі
($\times 20$)

З використанням технології рентгеноспектральної установки MAP-2 було виконано аналіз розподілу елементів, що входили до сталі, яка досліджувалась, (Mn, Si, Cr, S, P) в залежності від концентрації ванадію. За допомогою рентгеноспектрального аналізу встановлено, що концентрація кремній, марганець, хром, сірка, фосфор і ванадій підвищувалася в ділянках між осями дендритів. Підвищення кількості ванадію в сталі майже не несло впливу розподілу інших компонентів, однак вміст ванадію в ділянках між

осями та власне в самих дендритах збільшується. Це пояснює збільшення рівня міцносних властивостей сталі. Однак, подальше підвищення вмісту даного елементу ($\geq 0,18 \text{ \% V}$) провокує значне зменшення показників міцності. Поясненням цього явища є наявність фериту в структурі, що виникає через зменшення концентрації вуглецю в певних ділянках через утворення карбідів (рис. 3.3).



а – без ванадія; б – 0,04 % V ; в – 0,09 % V; г – 0,14 % V; д – 0,18 % V;
е – 0,23 % V

Рисунок 3.3 – Вплив ванадію на мікроструктурні складові сталі ($\times 100$)

У всьому досліджуваному інтервалі концентрацій алюмінію міцність і твердість сталі, як модифікованої ванадієм, так і без нього, практично не змінювалися. (рис. 3.1). Тим не менш, коли вміст алюмінію в сталі збільшувався, пластичні властивості металу погіршувалися.. Встановлено що критична концентрація алюмінію складає від 0,015 % до 0,018 % у сталі. При цьому існують включення II типу, що в свою чергу забезпечує значне зменшення характеристик пластичності. З ростом концентрації алюмінію (понад 0,05 %) спостерігалось зменшення рівня пластичності. Це пояснюється протіканням повторних процесів окислення і як наслідок зростання забрудненості металу неметалевими включеннями, які за геометрією схожі включення III типу. Не зважаючи на це, сталь яка була одночасно модифікована алюмінієм і ванадієм мала кращі фізико-механічні властивості.

Крім того було проведено дослідження модифікування сталі силіцидами РЗМ і силікокальцієм для локалізації шкідливих домішок і підвищення механічних рівня механічних характеристик. Загальний індекс забрудненості та коефіцієнт глобуляризації, який є відношенням індексів глобулярних включень до загального, використовувалися для оцінки ефективності модифікування.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості та ступінь забрудненості сталі 40ХЛ модифікованої кальцієм і РЗМ з різним вмістом сірки

Масова частка сірки, %	Присадки, %		Механічні властивості					Індекс забрудненості, 10^{-3}		Коефіцієнт глобуляризації
	СК	СР	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	KCU , МДж/м ²	J_Σ	$J_{ГЛ}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,011	—	—	930	750	18,6	33,9	0,46	1,58	0,53	0,34
	0,15	—	930	754	19,6	34,8	0,54	1,35	1,18	0,87
	—	0,15	940	761	20,1	38,7	0,40	1,77	1,70	0,96

Кінець таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,15	0,15	947	764	20,3	39,3	0,44	1,76	1,76	1,00
0,022	–	–	925	748	17,5	30,4	0,30	2,89	0,29	0,08
	0,15	–	938	747	18,7	32,5	0,39	2,50	1,90	0,76
	–	0,15	928	756	20,3	32,6	0,46	2,60	2,18	0,84
	0,15	0,15	937	761	22,4	37,0	0,51	2,22	2,00	0,90
0,032	–	–	927	739	16,7	28,0	0,25	4,04	0,06	0,01
	0,15	–	930	743	17,0	29,4	0,26	3,80	1,63	0,43
	–	0,15	935	750	17,4	32,6	0,27	3,86	2,08	0,54
	0,15	0,15	948	762	18,9	35,7	0,28	3,56	2,39	0,67
Примітка. 1 СК – силікокальцій (–25 % Са.).										
Примітка. 2 СР – силіцид РЗМ (–30 % РЗМ)										

З табл. 3.2 видно, що при вмісті сірки 0,011 % найбільш раціональним варіантом модифікування є використання силікокальцію. Додавання рідкоземельних металів до розплаву викликає зменшення ударної в'язкості через зростання забруднення оксидними включеннями і насичення границь зерен поверхнево-активним РЗМ.

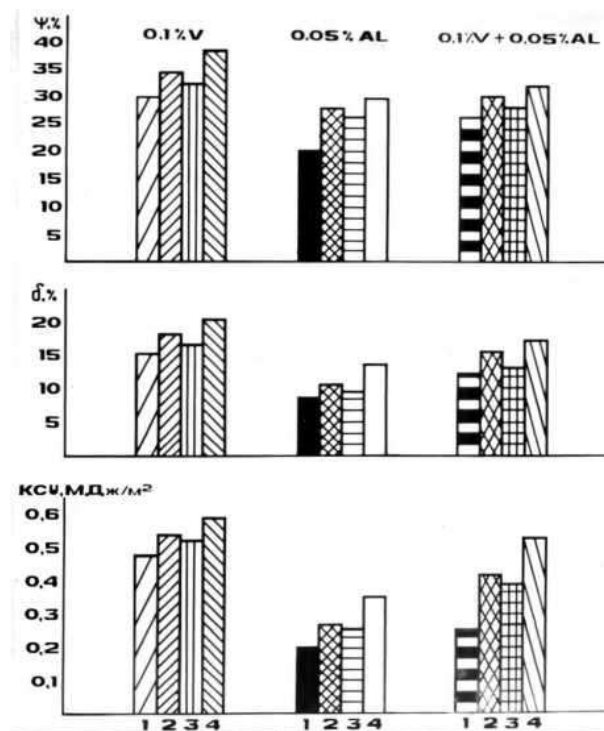
За концентрації сірки 0,022 % найвищий рівень міцності і пластичності спостерігався при одночасному модифікуванні рідкоземельними металами та силікокальцієм. Найбільший коефіцієнт глобуляризації спостерігався при використанні комбінованого модифікування. Зміна типу неметалевих включень і спосіб їх розподілу по межах зерен вказує на позитивний вплив використаних елементів-модифікаторів. По границях зерен, від загальної кількості залишалося близько 25% включень.

Визначено, що з зростанням концентрації сірки до 0,032 %, застосування тієї ж кількості модифікаторів, не дає в повній мірі того ж ефекту нейтралізації шкідливого впливу сірки (коефіцієнт глобуляризації при всіх варіантах не перевищив 0,67). Як результат можна зробити висновок, що при зростанні долі

сірки у розплаві виникає необхідність підвищення вмісту модифікаторів..

Вивчали вплив комплексного модифікування алюмінієм, ванадієм, кальцієм і рідкоземельними металами з метою додаткового підвищення рівня пластичних характеристик в сплаві.

На рис. 3.4 показано який вплив пластичні властивості та ударну в'язкість мають розглянуті вище модифікатори при роздільному і комбінованому використанні. У кожному випадку застосування силікокальцію та силіцидів РЗМ має позитивний ефект. Сталь, що не містить алюмінію, мала найкращі пластичні властивості та ударну в'язкість.



1 – без РЗМ и Ca; 3 – 0,15 % Ca;
 2 – 0,15 % РЗМ; 4 – 0,15 % РЗМ + 0,15 % Ca

Рисунок 3.4 – Вплив модифікування на пластичні властивості та ударну в'язкість досліджуваної сталі

За результатами аналізу проведених досліджень визначено, що для сталі 40ХЛ рекомендований вміст ванадію складає 0,04...0,1 %. В той же час,

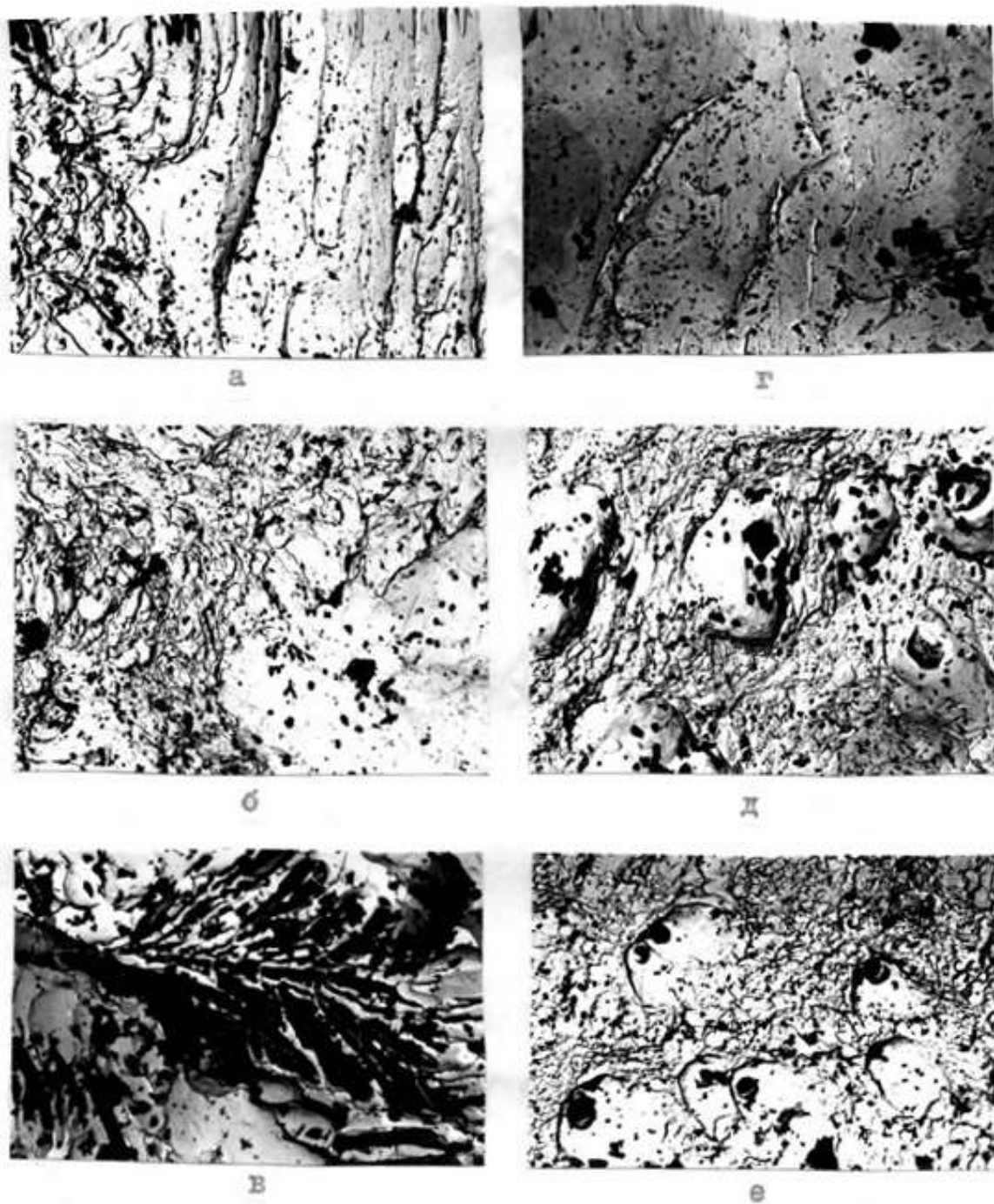
одночасне використання кальцію та рідкоземельних металів значно підвищує показники ударної в'язкості та пластичних характеристик.

3.2.2 Мікрофрактографічний аналіз

За допомогою електронно-мікроскопічного аналізу стає можливим отримання більше даних про вплив модифікування на характер утворення неметалевих включень і тип поверхні зламу.

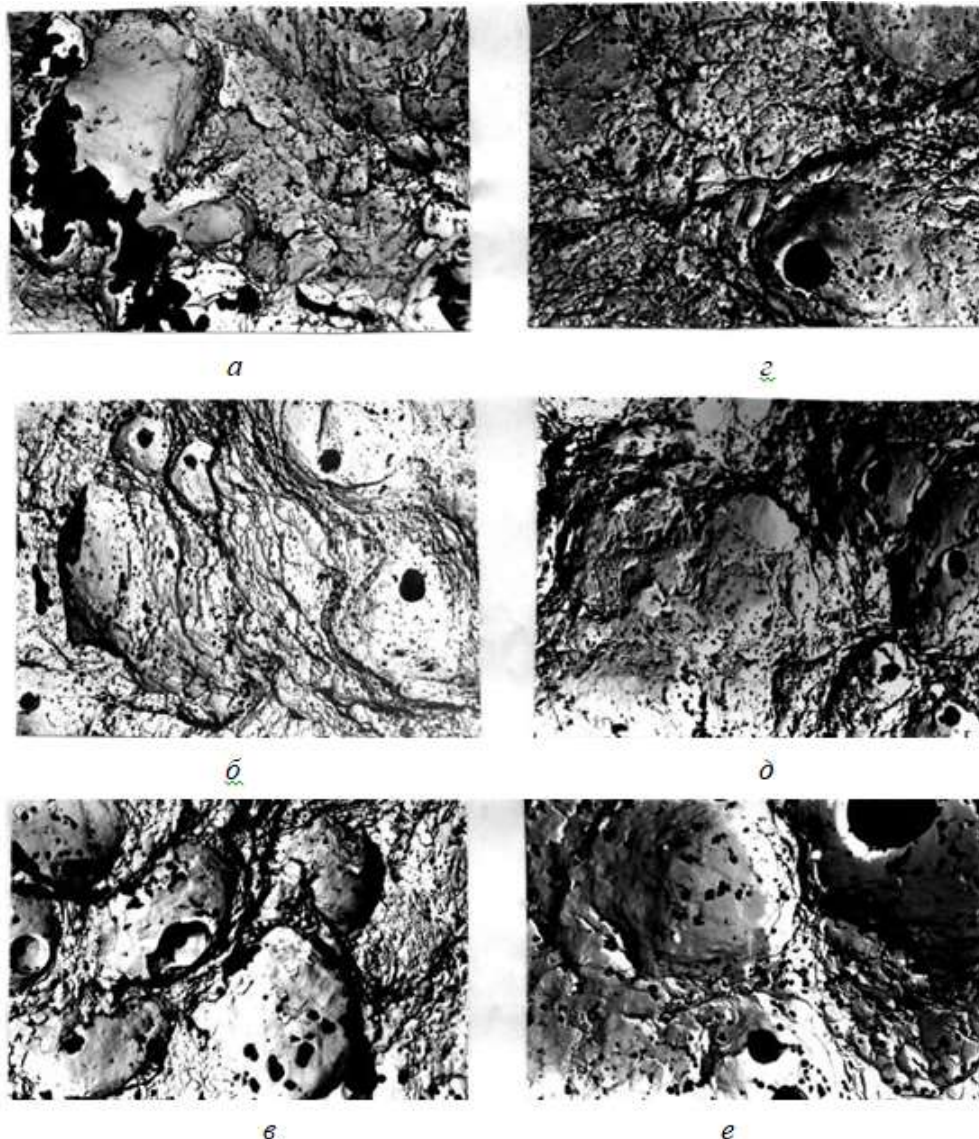
Таким чином, проведення мікрофрактографічного аналізу показав, що злам сталі, розкислений алюмінієм, містить нітриди алюмінію. Вони виділяються у твердій сталі у плівковій формі по межах зерен. Оскільки вони набувають криволінійної форми останніх, їх можна виявити лише за допомогою електронноскопічного аналізу поверхні зламу. Плівкові нітриди алюмінію не виявляються на полірованих шліфах за звичайних збільшень. Плівкові нітриди алюмінію сприяють утворенню тріщин, знижують рівень пластичних властивостей сталі.

Нітриди алюмінію були присутні в зламах металу вже при вмісті 0,012 % Al. Зі збільшенням вмісту алюмінію в сталі нітриди укрупнювалися та збільшувалися в кількості (рис. 3.5). Модифікація ванадієм сталі, що містить алюміній, дозволила видалити нітриди алюмінію лише до 0,035% Al. Нітриди алюмінію з'являються в плівках у мікрозламах, коли вміст алюмінію збільшується (рис. 3.6). Модифікування ванадієм у відповідних кількостях сталі, що не була розкислена алюмінієм, дозволило досягти в'язкого зламу без утворення значних структурних дефектів.



а – без модифікування; б – 0,03 % Al; в – 0,09 % Al;
 г – 0,06 % Al + 0,15 % РЗМ; д – 0,06 % Al + 0,15 % СК;
 е – 0,06 % Al + 0,15 % СК + 0,15 % РЗМ

Рисунок 3.5 - Мікрофрактограми зламів сталі 45ХЛ, що були модифіковані алюмінієм, силікокальцієм і РЗМ (х3800)



$a - 0,1 \% V + 0,06 \% Al$; $b - 0,1 \% V$; $c - 0,1 \% V + 0,06 \% Al + 0,15 \% CK$;
 $d - 0,1 \% V + 0,06 \% Al + 0,15 \% PЗМ$; $e - 0,1 \% V + 0,15 \% CK + 0,15 \% PЗМ$;
 $f - 0,1 \% V + 0,15 \% CK + 0,15 \% PЗМ$

Рисунок 3.6 – Мікрофрактограми зламів сталі 45X2СФЛ
 модифікованої ванадієм, алюмінієм, силікокальцієм і РЗМ (х3800)

У результаті модифікації сталі лігатурами, що містять кальцій і РЗМ, які мають більшу хімічну спорідненість до азоту, ніж алюміній, вдалося запобігти утворенню грубих плівкових включень нітридів алюмінію (рис. 3.5 і рис. 3.6). Сферичні включення, які утворилися, були комплексами взаємно розчинених утворень оксисульфонітридів. У цьому випадку мікрофрактограми зламів, які

були отримані при модифікуванні з різним вмістом РЗМ і силікокальцію, показали в'язкий злам із дрібними глобулярними включеннями, які були чітко виявлені всередині. На основі рівномірності розподілу структурних складових і дрібних глобулярних включень які спостерігалися, встановлено, що комплексне модифікування було найоптимальнішим варіантом.

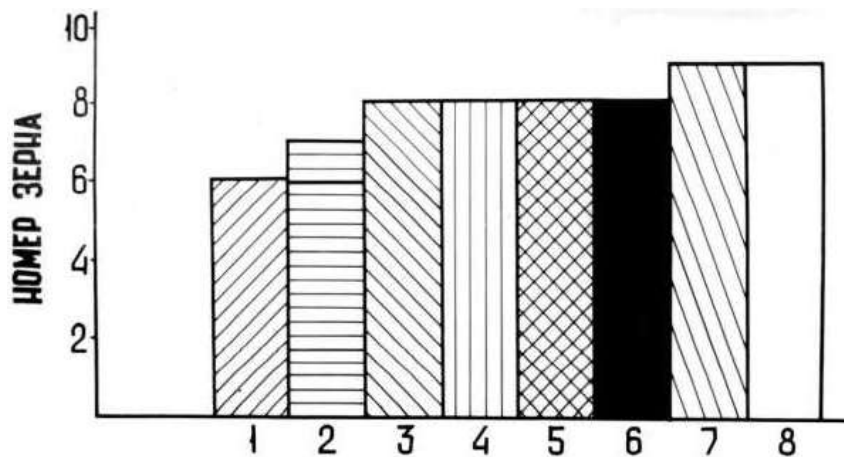
Встановлено що модифікація РЗМ і силікокальцієм сталі, при вмісті ванадію без алюмінію, також була ефективна. У цьому випадку характер зламу різко змінився, оскільки більша частина поверхні була покрита в'язкою складовою, а більша частина зерен демонструвала пластичну деформацію. Таким чином, в ході мікрофрактографічного дослідження поверхонь мікрозламів було підтверджено попередні висновки про те, що комплексне модифікування здатне в значній мірі підвищувати рівень механічних властивостей сталі.

3.2.3 Структурна гранулярність і показники прогартуваності

Діаметр зерна, який визначає прогартуваність сталі, має значний вплив на її комплекс властивостей. З огляду на те, що в галузі машинобудування значний об'єм литих виробів зношується на значну глибину в ході експлуатації, збільшення рівня прогартуваності сталі безпосередньо вплине на підвищення надійності та довговічності деталей що виготовляються литтям.

Зважаючи на це було досліджено вплив комплексного модифікування на гранулярність та прогартуваність сталі.

На рис. 3.7 і 3.8 зображено діаграми впливу модифікаторів при окремому та комбінованому застосуванні на розмір аустенітного зерна.

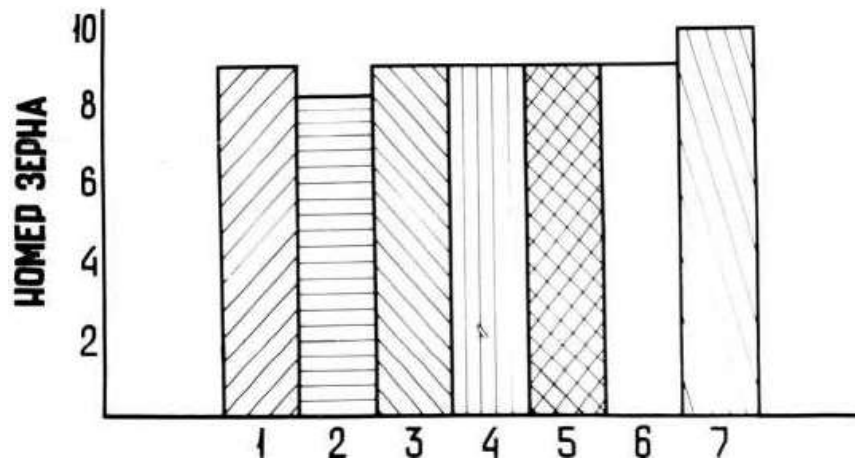


1 – без модифікування; 2 – 0,03 % Al; 3 – 0,06 % Al; 4 – 0,09 % Al; 5 – 0,04 % V; 6 – 0,1 % V; 7 – 0,04 % V + 0,06 % Al; 8 – 0,1 % V + 0,06 % Al

Рисунок 3.7 – Вплив вмісту алюмінію і ванадію на розмір аустенітного зерна

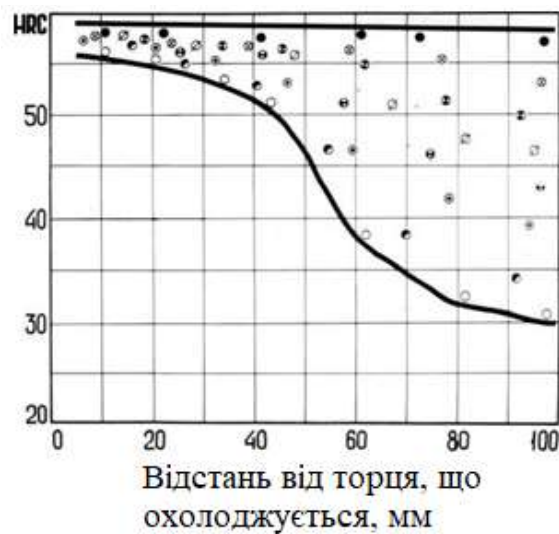
Додавання 0,012...0,06 % Al позитивно впливало на зменшення розміру зерна, при зростанні концентрації алюмінію в сталі вище вказаних розмір зерна не змінювався. Однак прогартовуваність сталі поступово зменшувалася з ростом долі алюмінію в сплаві (рис. 3.9). Дане явище пояснюється утворенням і ростом плівкових нітридів алюмінію, розташованих на межах зерен, які стримують розвиток процесів росту зерна, однак натомість зменшують теплопередачу від одного зерна до іншого. Подібні залежності встановлені і при модифікуванні алюмінієм сталі що містила ванадій. Не зважаючи на це при комбінованому модифікуванні алюмінієм та ванадієм розмір зерна ще більше зменшувався (рис. 3.7).

При вмісті ванадію 0,04 % в якості модифікатора відбувалося зменшення розміру зерна і падіння показника прогартовуваності. Підвищення вмісту вище 0,04 % V не зменшувало розміри зерна, однак рівень прогартовуваності в певній мірі зростав. Це пояснюється тим, що разом з модифікуючим впливом, ванадій виступає в якості мікролегувального елементу матриці металу, а це в свою чергу підвищує рівень прогартовуваності сталі.



1 – 0,06 % Al + 0,15 % P3M; 2 – 0,06 % Al + 0,15 % Ca; 3 – 0,06 % Al + 0,15 % P3M + 0,15 % Ca; 4 – 0,1 % V + 0,15 % P3M; 5 – 0,1 % V + 0,15 % Ca; 6 – 0,1 % V + 0,15 % P3M + 0,15 % Ca; 7 – 0,1 % V + 0,06 % Al + 0,15 % P3M + 0,15 % Ca

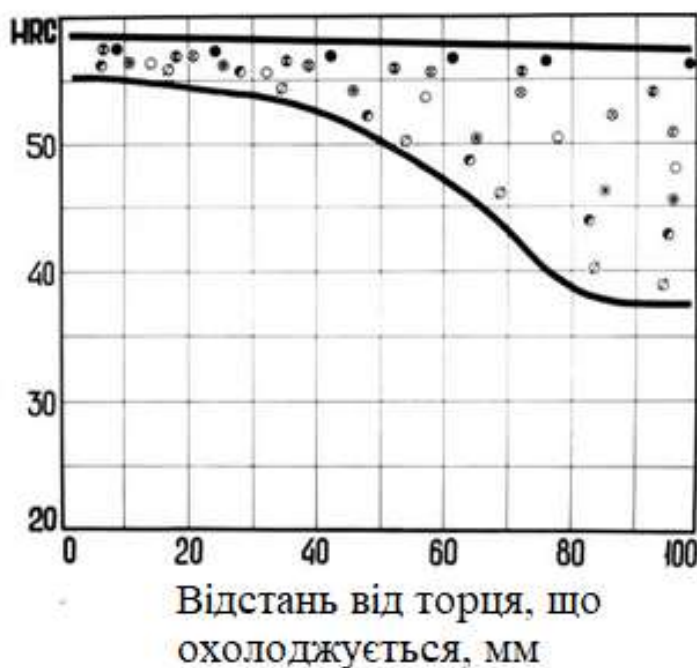
Рисунок 3.8 – Вплив комбінованого модифікування на розмір зерна аустеніту



1. $\otimes$ – без модифікування; 2. $\emptyset$ – 0,03 % Al; 3. $\odot$ – 0,06 % Al; 4. $\circ$ – 0,09 % Al; 5. $\blacktriangledown$ – 0,04 % V; 6. $\bullet$ – 0,1 % V; 7. $\bullet$ – 0,04 % V + 0,06 % Al; 8. $\oplus$ – 0,1 % V + 0,06 % Al

Рисунок 3.9 – Вплив вмісту Al і V на рівень прогартовувості сталі

Комбіноване модифікування рідкоземельними металами і силікокальцієм при поєднанні з алюмінієм і ванадієм привело до подрібнення зерна аустеніту. Поясненням цього явища може стати утворенням додаткових центрів кристалізації, тугоплавких оксисульфонітридних включень. У цьому випадку прогартовуваність сталі залишилася на базовому рівні. (рис. 3.10).



1 ⊗ – без модифіцирования; 2 ∅ – 0,03 % Al; 3 ⊙ – 0,06 % Al;
 4 ○ – 0,09 % Al; 5 ⊗ – 0,04 % V; 6 ● – 0,1 % V; 7 ⊗ – 0,04 % V +
 0,06 % Al; 8 ⊗ – 0,1 % V + 0,06 % Al

Рисунок 3.10 – Вплив вмісту Al і V на прогартовуваність сталі

Зважаючи на це, визначена доцільність є використання наступної композиції модифікування сталі до 0,1 % V у поєднанні з РЗМ і силікокальцієм. Дане поєднання дозволить подрібнити зерно і зберегти високі показники прогартовуваності.

3.3 Отримані результати

1. Досліджено, вплив вмісту сірки, фосфору та плівкових нітридів алюмінію на зниження пластичних властивостей та ударної в'язкості сталі. Встановлено, що основною причиною падіння рівня пластичних характеристик та КСУ є саме плівкові нітриди алюмінію. Визначено, що для повного компенсування зниження даних характеристик не достатньо модифікування ванадієм. Однак при додаванні силікокальцію та РЗМ з'являється можливість запобігання утворення нітридів алюмінію.

2. Досліджено вплив окремого та комбінованого модифікування алюмінієм, ванадієм, силікокальцієм і рідкоземельними металами подрібнення зерна аустеніту і показники прогартуваності сталі. Розроблено раціональну композицію комплексного модифікування, що забезпечує зменшення розміру зерна за умови отримання наскрізної прогартуваності.

3. Визначено, що додаткове модифікування литої сталі 0,04...0,1 % V; 0,15 % силікокальцію і 0,15 % РЗМ дає змогу отримати високий рівень всього комплексу властивостей сталі.

4. Застосування сталі 40ХЛ з низьким вмістом домішок і модифікованої розробленим комплексом елементів для виготовлення литих деталей машинобудівної промисловості дасть змогу значно підвищити їхні механічні властивості та зносостійкість і забезпечити підвищення тривалості роботи устаткування загалом.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Інтеграція України в європейський та світовий бізнес-простір вимагає адаптації вітчизняних реалій до правил господарювання та імплементації основоположних принципів діяльності в практику українського підприємництва. Добрі і стійкі відносини зі стейкхолдерами є основою сталого розвитку компаній. І якщо відносини з клієнтами українські компанії навчилися цінувати вже давно, то відносини зі стейкхолдерами в ширшому розумінні не сприймаються як такі, що вимагають окремої стратегії або окремого підходу. В той час як для провідних міжнародних компаній системний підхід до взаємодії зі стейкхолдерами є загальною практикою. Адже врахування впливу/інтересів стейкхолдерів при прийнятті рішень дозволяє компаніям отримати достовірну оцінку своєї діяльності та краще розуміти власні ризики й можливості.

Використання середньовуглецевих сталей у конструкціях, що вимагають більш високих температур або властивостей міцності призведе до розробки нових процесів механічної обробки металів. При цьому нові процеси мають бути економічними і високовиробничими. Основні напрямки майбутніх досліджень:

- регулювання критичних параметрів обробки під час лиття та кування з метою отримання оптимальної структури в існуючих сплавах, що призводить до підвищення механічних властивостей;
- розробка сплавів, що реалізують переваги нових та нестандартних процесів;
- розробка нових економічних високопродуктивних процесів для виготовлення виробів з середньовуглецевих сталей.

Рівень механічних властивостей, одержаних у середньовуглецевих сталей, залежить від структури, тобто від розміру зерна, морфології та розподілу елементів структур, розміру та розподіл по об'єму виливку інтерметалідних фаз або розташування дендритів першого та другого порядку. Встановлено певні залежності по кореляції механічних властивостей і мікроструктури сплавів виготовлених як методами лиття, так і деформування. Однак виробничі обмеження, складна форма та великі розміри деталей часто обмежують можливість отримання оптимальної структури у готових деталях шляхом термічної або механічної обробки. Механічні властивості зразків, вирізаних з готових деталей, часто не мають таких властивостей, які отримуються у спеціально виготовлених литих або деформованих зразків. Таким чином, значне збільшення рівня властивостей існуючих матеріалів може бути отримано шляхом поліпшення обробки розплаву середньовуглецевих сталей з метою отримання оптимальних мікроструктур.

4.2 Послідовний аналіз

В ході проведення дослідження економічної доцільності проведення дослідження впливу шкідливих домішок та модифікування середньовуглецевих сталей було проведено аналіз напрямків застосування технології підвищення якості виливків шляхом модифікування розплаву та вигоди для споживачів (табл. 4.1). Було створенно цілісне уявлення про особливості головної ідеї та можливі базові потенційні ринки збуту, в межах яких потрібно проводити роботу з пошуку групи потенційних клієнтів

Таблиця 4.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Використання методів модифікування розплавів з середньовуглецевих сталей за для зменшення впливу шкідливих домішок на структуру та властивості готових виробів	1. Машинобудування	Підвищення ресурсу та надійності
	2. Складні конструкції виробничого застосування	Строк експлуатації та підвищення міжремонтного ресурсу

Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	1 Підприємства машинобудування України 2 Підприємства машинобудування Європи
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Потрібні великі інвестиції
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	1. Обладнання, що буде використовуватися на виробництві має пройти сертифікацію. 2. Робочі місця мають відповідати вимогам техніки безпеки та охорони праці.

	3. Вироби мають відповідати висунутим вимогам.
--	--

Вивчені та визначені потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Високоякісні виливки з середньо вуглецевих сплавів	Підприємства машинобудування України та Європи	Робота в складно навантаженому стані, сталі параметри геометрії та розмірів	Надійність, ресурс

Виконаний аналіз SWOT- аналіз середовища реалізації інноваційного проект. Результати аналізу приведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
– відомий бренд – кваліфікований персонал – помірна цінова політика – клієнтська база	– текучість кадрів – спосібність до інновацій – повільний ріст прибутку – консерватизм системи управління

Кінець таблиці 5.4

Можливості:	Загрози:
– розвиток дилерської мережі – вихід на інші ринки – випуск нових моделей двигунів – відхід конкурентів з ринку	– поява нових конкурентів – зростання цін на сировину – цінова конкуренція – непомірна ціна нових технологій

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.5).

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
Придбання нових зразків	Зацікавлені у підвищеному ресурсі	10.000	Конкуренція зростає	Пов'язана з великими інвестиціями
Ремонт раніше придбаного	Зацікавлені у вдосконаленні матеріалів	100.000	Монополісти	Пов'язана з великими інвестиціями

Виконана ідентифікація стейкхолдерів, виконана їх пріорітезація та побудована Карта стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів. З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на Карті виокремлено три концентричних області, в яких

розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проекту за можливостями впливу на них ініціатора проекту. Область внутрішніх стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглих ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проекту (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 - Карта стейкхолдерів

Визначили витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника. Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які задіяні у проведенні досліджень (табл. 4.6).

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кіль- кість осіб	Поса- довий оклад, грн	Преміаль- ний відсоток до окладу, %	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Науковий керівник	1	11689	20	2337,8	14026,8	168321,6	37030,75
Старший науковий спів-робітник	2	10982	20	2196,4	13178,4	316281,6	69581,95
Молод-ший науковий спів-робітник	3	9633	20	1926,6	11559,6	416145,6	91552,03
Лаборант	5	6700	20	1340	8040	482400	106128,00
Разом	5	39004	-	7800,8	46804,8	1383148,8	304292,74

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 4.7)

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Папір	—	5 блоків	120	600
Ручка	—	30 одиниць	15	450
Олівець	—	30 одиниць	10	300
Зразки	150	150 одиниць	145	21750
Реактиви	—	5 одиниць	900	4500
Змінні лінзи	—	2 одиниць	3200	6400
Тара зразків	—	15 одиниць	50	750
Разом				34750

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	—	1500 кВт	2,64 грн/ кВт	3960
Водопостачання	—	15 м³	28,3 грн/м³	141,5
Теплопостачання	—	3,42 Гкал	1380 грн/Гкал	2760
Охоронна система	—	1	1500	1500
Утилізація реактивів	5 одиниць	5	200 грн	400
Разом				8665

Визначили річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації при терміні експлуатації у 5 років (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Кількість	Первісна вартість ОЗ	Вартість обладнання	Річні амортизаційні відрахування	Витрати на поточний ремонт у розмірі 2%
Метало-графічний мікроскоп	2	98 287	196574	27520,36	3931,48
Електронний мікроскоп	1	1357110	1357110	189995,4	27142,2
Прилад для контролю хімічного складу сплавів	1	941240	941240	131773,6	18824,8
Комп'ютер	8	26547	212376	29732,64	4247,52
Принтер	2	14521	29042	4065,88	580,84
Разом		2437705	2736342	383087,88	54726,84

Відображаємо кошторис витрат на основі даних ,вказаних в табл. 4.6-4.9. В табл. 4.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Таблиця 4.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати, грн
1	2
Фонд заробітної плати, рік	1383149
ЄСВ, рік	304293

Прожлвження таблиці 4.10

1	2
Матеріальні витрати, рік	34750
Вартість спожитих послуг, рік	8762
Амортизація обладнання, рік	383088
Поточний ремонт, рік	54727
Виробнича собівартість	2168768
Адміністративні витрати 50%	691574
Повна собівартість	2860342

Розрахунок економічного ефекту виконувався на основі того, що сплав 40ХЛ виготовлений з використанням модифікаторів має той же рівень властивостей, що і більш дорогий сплав – 50ХГЛ

Орієнтовна ціна основних шихтових матеріалів, що використовуються для виплавки сплавів 40ХЛ та 50ХГЛ.

Таблиця 5.11 – Орієнтовна ціна матеріалів для виготовлення сплаву 40ХЛ та 50ХГЛ

Легувальний елемент	Ціна, грн/кг	Вміст % 40ХЛ	Ціна 1 кг 40ХЛ	Вміст % 50ХГЛ	Ціна 1 кг 50ХГЛ
Залізо Fe	300	97,75	293,25	95,7	287,1
Вуглець С	800	0,4	3,2	0,6	4,8
Хром Cr	1800	0,8	14,4	2	36
Кремній Si	1300	0,3	3,9	0,6	7,8
Марганець Mn	1100	0,5	5,5	1,1	12,1
Ванадій V	3000	0,1	3	-	
Алюміній Al	600	0,1	0,6	-	
РЗМ	26000	0,05	13	-	
Разом	—	100%	336,85	100%	347,8

Розрахункова вартість одного кілограму (C_1) промислового серійного сплаву марки 50ХГЛ становить: $C_1 = 347,8$ гривень.

Розрахункова вартість одного кілограму (C_2) сплаву марки 40ХЛ виготовленого з використанням технології модифікування становить: $C_2 = 336,85$ гривень.

Зменшення собівартості (ΔC) сплаву 40ХЛ в порівнянні з вартістю сплаву 50ХГЛ становить:

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

$$\Delta C = (347,8 - 336,85) / 336,85 = 0,03, \text{ тобто } 3\%.$$

Вартість деталей складається з сумарної вартості сплаву, яка враховує: лиття по виплавлюваним моделям; технологічні операції по усуненні ливарних дефектів (пори, мікротріщини і ін.); термічну обробку; механічну обробку; контрольні операції та ін. При цьому, питома вага обробки (r) в ціні готової деталі становить:

$$r = 15\% \quad (5.2)$$

Таким чином, враховуючи зменшення вартості сплаву (ΔC), коефіцієнт зменшення вартості ($\kappa_{ЗВ}$) сплаву і його питому вагу (r) в готовій деталі, зменшення собівартості складає:

$$\Delta C = C_1 \cdot r \cdot \kappa_{ЗВ}; \quad (5.3)$$

$$\Delta C = C_1 \cdot 0,15 \cdot 1,03 = 0,155 C_1;$$

де C_1 – собівартість готової деталі зі сплаву 50ХГЛ.

Отже, собівартість (C_2) виробу, виготовленого зі сплаву 40ХЛ становить:

$$C_2 = C_1 + \Delta C; \quad (5.4)$$

$$C_2 = C_1 + 0,155 \cdot C_1 = (1 + 0,155) \cdot C_1 = 1,155 \cdot C_1; \quad (5.5)$$

$$C_1 = 1,155 \cdot C_2. \quad (5.6)$$

З розрахунків видно, що собівартість (C_2) одного виробу, виготовленого за модифікованою технологією сплаву 40ХЛ на 15,5% менше собівартості (C_1) виробу, виготовленого з промислового сплаву 50ХГЛ.

Вартість виготовлення одного кілограму сплаву за модифікованою технологією сплаву 40ХЛ, складає 336,85 гривень, відмінно від вартості виготовлення одного кілограму сплаву 50ХГЛ – 347,8 гривень.

Беручи до уваги, що сплав 40ХЛ відповідає технічним вимогам, що ставляться до сплаву 50ХГЛ, економічний ефект складає 15,5%.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даній дипломній роботі розглядається вплив шкідливих домішок та модифікування на комплекс властивостей та прогартовуваність середньовуглецевої сталі. В ході роботи використовується термічна піч, мікротвердомір, машина для випробування зразків на розтяг та мікроскопи.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

1. Незадовільна організація місця дослідника. Внаслідок не врахування величини ергономіки, зокрема нераціональне розташування обладнання і не використання засобів індивідуального захисту.

2. Можливість ураження електричним струмом при використанні енергоспоживаючого обладнання в приміщенні дослідницької лабораторії. Основною причиною є порушення правил з електробезпеки, зокрема допуск до виконання робіт осіб які не пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки або несправності енергоспоживального обладнання, що може призвести до електричних травм, або до летальних наслідків.

3. Небезпеки, які пов'язані з отриманням механічних травм при знаходженні в дослідницькій лабораторії.

Основними причинами можуть бути захаращеність робочої зони або непередбачений контакт з частинами обладнання які рухаються чи обертаються.

4. Можливість отримання термічних опіків при термічній обробці отриманих зразків. Внаслідок контакту нагрітих зразків або частин печі, а

також зовнішніх нагрітих поверхонь обладнань, невикористання індивідуальних захисних засобів;

5. Небезпеки, які пов'язані з отриманням механічних травм при підготовці для дослідження мікроструктури та випробуваннях на механічні властивості зразків, внаслідок роботи на несправному обладнанні або використанні неатестованого інструменту.

6. Негативний вплив електромагнітного випромінювання при дослідженні структури зразків з використанням РЕМ, що може бути пов'язано з незнанням або порушенням правил безпеки, які зазначені в технічній документації на це обладнання або несправність обладнання.

7. Небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів досліджень при використанні персонального комп'ютера, які пов'язані з низькою ергономічністю робочого місця та впливом електромагнітних випромінювань від обладнання.

8. Незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

1. Незадовільна організація робочого місця дослідника може бути пов'язана з недостатнім врахуванням вимог ергономіки, захаращеністю робочої зони та нераціональним розташуванням технологічного обладнання.

Робочі місця працівників лабораторії повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць», ГОСТ 12.2.032-84 «ССБТ. Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги».

Розташування тепловипромінюючого обладнання повинно виконуватися

з урахуванням потоків повітря при використанні природної або штучної загально обмінної вентиляції.

Кольорове рішення технологічного обладнання повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.4.026-76 «Кольори сигнальні та знаки безпеки».

2. основними заходами захисту від можливості ураження електричним струмом є:

Для забезпечення захисту від випадкового торкання до струмопровідних частин необхідно прийняти наступні заходи і засоби: захисне огороження; ізоляція струмопровідних частин; захисне відключення; блокування; знаки безпеки. Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при доторканні до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, застосовують захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалу системи захисних дротів, захисне відключення, ізоляцію не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою вище 24В, засоби індивідуального захисту, наприклад гумові коврики та інше. Всі металеві частини виробничого обладнання, якщо вони можуть опинитися під напругою вище 42В, мають бути заземленні згідно ПУЕ - 2001. Для цього їх оснащують легко оглядним пристроєм заземлення $R < 4 \text{ Ом}$ або з'єднують з нульовим дротом.

3. Основними заходами від механічного травмування є:

1. Дотримання чистоти та порядку на робочому місці;
2. Наявність попереджувальних знаків;
3. Проведення інструктажів, навчання, згідно НПАОП 0.00-4.12-05. Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

4. Для уникнення термічних опіків, внаслідок торкання нагрітих зразків і забезпечення нормальних умов праці дослідника використовують спеціальний одяг для захисту від підвищених температур типу БТ, ГОСТ 12.4.045-78, спеціальним шкіряним взуттям для захисту від підвищених

температур, ГОСТ 12.4032-77, спеціальними рукавицями типу Тр, ГОСТ 12.4.087-80.

5. 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.

6. Для запобігання негативного впливу ЕМП при роботі з мікроскопами потрібно дотримуватись певних заходів безпеки, а саме:

1. Екранування джерела електромагнітного випромінювання або об'єкту захисту.

2. Видалення джерел електромагнітного випромінювання з робочої зони згідно з ГОСТ 12.1.026-80.

3. Конструктивне вдосконалення обладнання з метою зниження рівней ЕМП, які використовуються, загальної потужності обладнання, яка споживається й випромінюється.

4. Обмеження часу перебування людей в зоні дії ЕМП.

7. Для зниження психофізичного навантаження, внаслідок роботи з ПК слід дотримуватися вимог до режиму праці та відпочинку при роботі на комп'ютері, які визначені залежно від виконуваної роботи у ДСанПіН 3.3.2.007-98. «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». У зв'язку з тим, що електромагнітне випромінювання від стінок монітора велике, тому монітор потрібно ставити під кутом, так щоб випромінювання поглиналося стінами. По можливості скорочувати час роботи за комп'ютером і робити перерви впродовж проведення дослідницьких робіт. Комп'ютер повинен бути заземлений. При наявності захисного екрану його теж потрібно заземлити, для

цього спеціально передбачений дріт, на кінці якого знаходиться металева прищіпка.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

8. На підставі ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» оптимальними параметрами для даної лабораторії будуть:

1. В холодний і перехідний період: температура 18 ... 20 °С, відносна вологість 60 ... 40 %, швидкість руху повітря 0,2 м/с;
2. В теплий період: температура 21 ... 23 °С, відносна вологість 60...40 %, швидкість руху повітря 0,3 м/с.

Відповідність цих параметрів мікроклімату досягається застосуванням припливно-витяжної вентиляції з зосередженою подачею підігрітого повітря (калорифен).

Найбільш ефективним засобом мінімізації вступу у повітря робочої зони шкідливих речовин (пилу) є механічна вентиляція місцевого типу - витяжних вентиляцій, які встановлюються на робочих місцях, де генеруються шкідливі речовини. Для цього потрібно обладнати робочу зону витяжною вентиляцією згідно ГОСТ 12.4.021- 75 «Системи вентиляції. Загальні вимоги».

Підтримку чистоти дослідницьких приміщень здійснюють відповідно з ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Для забезпечення належних умов у приміщенні лабораторії доцільно використовувати вологе прибирання два рази за робочу зміну;

9. При контролі виробничого освітлення слід керуватися вимогами СНиП П-4-79 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» з урахуванням характеру і точності зорової роботи.

При дослідженні зразків на розтяг розмір об'єкта > 10 мм, тому розряд зорової роботи призначається як VII. Для цього використовуються люмінісцентні лампи ЛБ, що встановлюються у світильник типу РСП.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно дотримуватися вимог СІП 2.01.02-85 «Протипожежні норми проектування будинків та споруд», а саме використовують наступні заходи:

1. Для запобігання пожежі від короткого замикання і перевантаження електроустановок, застосовують захисні пристрої, такі як плавкі запобіжники; автоматичні вимикачі, теплові реле;
2. Застосування вогневідсічних пристроїв на технологічних комунікаціях, в системах вентиляції, повітряною опалення і кондиціонування повітря;
3. Правильний монтаж і експлуатація електричних установок, їх своєчасний профілактичний ремонт;
4. Наявність систем захисту, блокування автоматики, мереж заземлення, попереджувальних плакатів і написів;
5. Протипожежний інструктаж і атестація обслуговуючого персоналу;
6. Застосування установок електричної пожежної сигналізації;
7. Наявність радіостанцій ультракороткого діапазону, для повідомлення про пожежу (ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. “Пожарная безопасность. Общие требования”);
8. Для швидкої ліквідації осередків загоряння в лабораторії передбачено пісок, ручний вогнегасник вуглекислого типу ВВК-45, що має ємність 5 літрів. Він призначений для гасіння різних речовин (крім здатних горіти без доступу

повітря), а також електроустановок під напругою до 10 кВ (СНІП 21-01-97 «Пожежна безпека будівель і споруд»)

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Метою проведення рятувальних та інших невідкладних робіт (Р і ІНР) в осередках масового ураження є рятування людей та надання медичної допомоги потерпілим, локалізація аварій та усунення пошкоджень, котрі перешкоджають проведенню рятувальних та відновлювальних робіт.

Рятувальні роботи включають:

1. Розвідку маршрутів висування формувань і об'єктів робіт;
2. Локалізацію і гасіння пожеж на маршрутах висування і на ділянках робіт;
3. Пошук потерпілих і витягування їх із пошкоджених та палаючих будинків, загазованих, затоплених, задимлених приміщень, із завалів;
4. Розкриття зруйнованих, пошкоджених, завалених споруд та рятування людей, котрі там перебувають;
5. Подавання повітря в завалені споруди з пошкодженою фільтровальною вентиляційною системою;
6. Надання першої медичної допомоги потерпілим та евакуація їх до лікарських установ;
7. Виведення (вивезення) населення з небезпечних зон у безпечні райони;
8. Санітарну обробку людей, ветеринарну обробку сільськогосподарських тварин, дезактивацію та дегазацію техніки, засобів захисту, одягу, продовольства, їжі, води, фуражу.

Інші невідкладні роботи включають:

1. Рокладання колонних шляхів та влаштування проїздів (проходів) у завалах та в зонах ураження;

2. Локалізацію аварій на газових, електричних мережах з метою забезпечення умов для проведення рятувальних робіт;

3. Укріплення чи руйнування конструкцій будинків та споруд, котрі загрожують обвалом та перешкоджають безпечному руху і проведенню рятувальних робіт;

4. Ремонт та відновлення пошкоджених і зруйнованих ліній зв'язку та комунально-енергетичних мереж з метою забезпечення рятувальних робіт та інших невідкладних робіт, а також захисних споруд для укриття людей у випадку повторних НС;

5. Пошук, знешкодження та знищення боєприпасів, що не розірвалися та інших вибухонебезпечних предметів.

Р та ІНР проводяться безпосередньо в осередках ураження за будь якої погоди до повного їх завершення.

Великий обсяг роботи в осередках ураження неможливо провести за короткий час без використання різноманітної техніки. Тільки широка механізація усіх видів робіт дає змогу своєчасно здійснити рятування потерпілих. Для проведення Р та ІНР можуть використовуватися всі типи будівельних та дорожніх машин, механізмів, техніки комунального господарства району, міста.

Залежно від виду виконуваних робіт вони поділяються на такі групи:

1. Машини і механізми для розкриття завалених сховищ та укриттів, розбирання та розчищення завалів, піднімання, переміщення і транспортування вантажів (екскаватори, трактори, бульдозери, крани, самоскиди з причепами, блоки, лебідки, домкрати);

2. Пневматичний інструмент (бурильні та відбійні молотки), які використовуються для формування отворів у кам'яних, цегляних і бетонних стінах, перекриттях завалених сховищ з метою подавання в них повітря або для виведення тих, хто переховується там;

3. Обладнання для різання металу (газорізи, бензорізи, автогени, електрозварювальні апарати);

4. Механізми для відкачування води (насоси, мотопомпи, поливальні машини та авторозливні станції);

5. Засоби, котрі забезпечують транспортування чи переправляння через водну перепону основних машин і обладнання (причіпи-важковози, тягачі-трейлери, баржі, пороми, понтони тощо);

6. Ремонтні та обслуговуючі засоби (ремонтні майстерні, станції обслуговування, бензо-водозаправники, освітлювальні станції тощо).

Поряд з ефективним використанням машин і механізмів успішне проведення Р та ІНР досягається:

1. Своєчасною організацією та безперервним проведенням розвідки, швидким виведенням формувань в осередки ураження для виконання завдань;

2. Знанням та дотриманням правил і заходів безпеки при проведенні робіт;

3. Завчасним вивченням командирами формувань особливостей ймовірних ділянок (об'єктів) робіт, характеру їх забудови, наявності комунально-енергетичних та технологічних мереж, місць зберігання СДОР, місць розташування та характеристик захисних споруд;

4. Чіткою організацією взаємодії сил і засобів, залучених до робіт та всебічним їх забезпеченням.

Таким чином основні заходи охорони праці є:

1. Підвищення продуктивності праці за рахунок правильного розташування обладнання;

2. Зниження ризику отримання травм та аварій у лабораторії при роботі з обладнанням;

3. Зниження хибних дій робітників за рахунок правильно спроектованої та розрахованої системи освітлення;

4. Зменшення витрати на ліквідацію наслідків нещасних випадків, аварій та техногенних катастроф.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що погіршення пластичності та ударної в'язкості сталі з низьким вмістом сірки та фосфору пов'язане із формуванням плівкових нітридів алюмінію на межах зерен. Використання ванадію для модифікації покращує лише частково, але додаткове застосування силікокальцію і РЗМ дозволяє уникнути утворення грубих плівкових включень нітриду алюмінію.

2. Досліджено вплив окремого та комбінованого використання алюмінію, ванадію, силікокальцію і РЗМ на розмір аустенітного зерна та прогартовуваність сталі. Запропонована раціональна технологія комплексної модифікації, яка забезпечує отримання дрібного зерна і однорідної прогартовуваності.

3. Підтверджено, що додаткова модифікація литої сталі вмістом 0,04-0,1% ванадію, 0,15% силікокальцію і 0,15% РЗМ значно підвищує фізико-механічні властивості матеріалу.

4. Використання сталі 40ХЛ з низьким вмістом домішок і модифікованої розробленим комплексом елементів для виготовлення литих деталей машинобудівної промисловості дозволить суттєво підвищити механічні характеристики та стійкість до зношування, забезпечуючи при цьому подовження терміну служби обладнання в цілому.

5. Проведено розрахунок економічного ефекту, що виникає при застосуванні запропонованого методу модифікування сплаву 40ХЛ. Даний ефект складає 15,5%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шульте Ю.А. Холодостійкі сталі – К.: Металургія, 1970.– 224 с.
2. А.П. Гуляев. Чиста сталь.– К.: Металлургия, 1975.– 184 с.
3. Шульте Ю.А. Виробництво виливків зі сталі.– Киев; Донецк: Вища школа, 1983.– 184 с.
4. Шульте Ю.А. Електрометалургія сталевого литва.– К.: Металлургия, 1979.– 224 с.
5. Шульте Ю.А. Прогрес в електрометалургії сталевого виробництва // Ливарне виробництво.– 1980.– № 11.– С. 1–3.
6. Baker T.I., Charles I.A. Morphology of manganese sulphide in steel //Journal of the Iron and Steel Institute.– 1972.–V. 2, № 9. –Р. 702–706.
7. Лунев В.В. Разработка теоретических основ и внедрение процессов внепечной обработки жидкой стали РЗМ и ЩЗМ с целью повышения механических и эксплуатационных свойств металла: Автореф: Дисс. доктора техн. наук.– Дніпро, 1984,– 40 с.
8. Гуляев А.П. Металловедение.– К.: Металлургия, 1986.–544 с.
9. Чуйко Н.М., Чуйко А.Н. Теория и технология электроплавки стали.– Киев; Донецк: Вища школа, 1983.–248 с.
10. Производство отливок для энергомашиностроения /Под ред. И. И. Примака и А.А. Бречко.– Л.: Машиностроение, 1976.– 256 с.
11. Включения и газы в сталях /Явойский В. И., Близнюков С.А., Вишкарёв А.Ф. и др. – К.: Металлургия, 1979.– 272 с.
12. Бернс Г. Нитрид алюминия в стали //Черные металлы. – 1978,– № 13.– С. 27–31.
13. Поволоцкий Д.Я. Алюминий в конструкционной стали.– К.: Металлургия, 1970.– 232 с.
14. Шульте Ю.А., Цивирко Э.И., Улитенко А.Н. Неметаллические включения и структура изломов конструкционных сталей //Современные

проблемы электрометаллургии стали: Труды Всесоюзной научно-технической конференции.– Челябинск, 1983.– С. 98–103.

15. В. И. Ворожинцев, И.П. Строков, Н.М. Сорокин. Влияние раскисления алюминия на качество мартеновской стали //Сталь.– № 1,– 1986.– С. 31.

16. Г.Б. Ширер, В.Н. Суровова, А.В. Гаврилова, А.Г. Иванов //Влияние раскисления и микролегирования конструкционных сталей на образование продольных трещин в электрошлаковых слитках: Физико-химические основы процессов выплавки сталей и сплавов: Тематический сб. науч. тр.– К, 1985.– С. 32.

17. Виноград М.И., Громова Г.П. Включения в легированных сталях и сплавах.– К.: Metallurgy, 1972.– 215 с.

18. Явойский В.И. Теория процессов производства стали.–2-е изд.– К.: Metallurgy, 1967.–792 с.

19. Wandby P. E. Rare earth additions to steel //International Metals Reviews. – 1978. – № 2. – P. 74–97.

20. Волчок И.П. Механизм разрушения литой стали перлитного класса. Литейное производство.– 1978.– № 12.– с. 6–8.

21. Волчок И.П. Неметаллические включения и разрушение литой стали. Дис. докт. техн. наук.– М.: МИСиС, 1979.– 217 с.

22. Волчок И.П., Шульте Ю.А., Пинчук Е.М. Неметаллические включения и разрушение литой стали //Известия АН СССР. Металлы.– 1970.– № 1.– С. 109–112.

23. Волчок И.П., Царев А.В., Руденко В.П. Повышение ударной прочности литой стали, модифицированной иттрием //Физико-химическая механика материалов. – 1974.– № 5.– С. 111–112.

24. Взаимодействие дислокаций с неметаллическими включениями в литой стали /Волчок И.П., Шульте Ю.А., Паскаль Ю.А., Царев А.В. //Известия АН СССР. Металлы.– 1975.– № 2.– С. 106–111.

25. Волчок И.П. Исследование процессов деформации и разрушения

литой стали //Физико-химическая механика материала, 1976.– № 2.– С. 88–91.

26. Волчок И.П., Ковчик С.Е., Зима М.П. Определение склонности литой стали к хрупкому разрушению //Физико-химическая механика материалов.– 1978.– № 1.– С. 44–49.

27. Влияние алюминия, редко- и щелочноземельных металлов на процесс разрушения деформированной стали /Азаров И.И., Лунев В.В., Шульте Ю.А. и др. //Известия АН СССР. Металлы.– 1984.– С. 154–156.

28. Крещакровский Н.С., Сидоренко М.Ф. Модифицирование стали – К.: Metallurgy.– 1970.– 296 с.

29. Ицкович Г.М. Раскисление стали и модифицирование неметаллических включений.– К.: Metallurgy, 1981.– 296 с.

30. Gatellier C. Maitrise de l'etatinclusionnaire au cours de l'elaboration de l'acier //Bull. Cercle etud metaux. 1983.– 15. № 2.– P. 1–8.

31. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Проблема модифицирования стали //Литье с применением инокуляров. – Киев, 1981.– С. 168–181.

32. Штейнметц Э., Отерс Ф. Metallurgical основы поведения серы в жидком чугуна и стали //Черные металлы.– 1977.– № 8.– С. 3–12.

33. Wilson W.G., Kay B.A., Vahed A. The use of thermodynamics and phase equilibria to predict the behavior of the rareearth-elements in steel //Journal of the Metals. – 1974. – № 5.– P. 14–23.

34. Lu W.K., Molean A. Thermodynamic behaviour of the rareearth-elements in molten steel //Tromnaking and steelmaking. –1974. –№ 4. – P. 228–233.

35. Wandby P.E. Rare-earth-additions of steel //International Metals Reviews. — 1978. – № 2.— P. 74–98.

36. Аверин В.В., Лопухов Г.А. Направление исследований в металлургии //Теория металлургических процессов. Т. 4. Серия – Итоги науки и техники. АН УССР.– 1978.– С. 6–99.

37. Гольдштейн М.И., Фарбер В.М. Дисперсионное упрочнение стали.– К.: Metallurgy, 1979.– 208 с.

38. Бабаскин Ю.З. Структура и свойства литой стали.– Киев: Наукова

думка, 1980.– 240 с.

39. Улитенко А.Н., Цивирко Э.И., Шульте Ю.А. Проблема получения мелкого аустенитного зерна в конструкционной электростали //Современные проблемы повышения качества стали.– Донецк, 1978.– С. 75–76.

40. Hetmanczyk M. Wpływ mikrodotatku wanadu na kinetykę wzrostu ziarna austenitu stali 18G2A //Wiad. hutn. – 1972. – 28, № 7–8.– P. 257–277.

41. Günther E. Böhner S. Zum Einfluß kleiner Vanadin- und Stickstoffzusätze auf mechanischen Eigenschaften eines Baustahls vom Ziehstyp St. 52 //Freiberg, Forschungs. – 1978. – В, № 202. – P. 127–136.

42. Гольдштейн М.И. Карбонитридное упрочнение низколегированных сталей //Металловедение и термическая обработка металлов. – 1979.– № 7.– С. 2–5.

43. Гольдштейн Я.Е., Спиркина Г.В., Долинин Д.П. Инструментальные и подшипниковые стали: Сборник. – К.: Металлургия, 1973.– № 1.– С. 101–111.

44. Исхаков С. С. Влияние легирующих элементов на свойства кремнемарганцовистой стали //Металловедение и термическая обработка металлов.– 1969.– № 7.– С. 37–43.

45. Адамчук С.И. Жаропрочная модифицированная сталь для деталей агломерационных машин. Дисс. канд. техн. наук, Запорожье, 1986.– 168 с.

46. Егоров А.В. Исследование и разработка сталей типа «хромансиль» для деталей горных и шахтных машин. Дисс. канд. техн. наук, Запорожье, 1983.– 225 с.

47. Черепинский Л.Б. Разработка и внедрение хромкремнистой экономнолегированной стали для отливок горного оборудования. Дисс. канд. техн. наук, Запорожье, 1985.– 161 с.

ДОДАТОК