МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

Гаврилюк Кирило Олександрович

УДК 669.15`292-194: 669.054.8

МІКРОЛЕГУВАННЯ СТАЛІ ВАНАДІЄМ З ВИКОРИСТАННЯМ ВТОРИННИХ МАТЕРІАЛІВ

Спеціальність 8.090401 “Металургія чорних металів”

Автореферат

кваліфікаційної роботи магістра

Запоріжжя -2016

Робота рукопис.

Робота виконана на кафедрі металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

Кандидат технічних наук, доцент Воденнікова О.С.

Рецензент:

Начальник дільниці ЦТВС ПАТ “Запоріжсталь”
Штапура Є.В

Захист кваліфікаційної магістерської роботи відбудеться “12” січня 2016 р. в 9^{00} в аудиторі 225 на засіданні Державної екзаменаційної комісії в Запорізькій державній інженерній академії за адресою: 69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Перспективною технологією, що забезпечує зниження енерго- і матеріаломісткості виробництва, а також мінімальне забруднення навколишнього середовища, є технологія прямого легування сталі з оксидних матеріалів (руди, концентратів, шлаків та інших відходів виробництва, що містять легуючі елементи). В даний час серед проблем легування сталі, питання мікролегування займає особливе місце. Мікролегування часто супроводжується модифікуючою і рафінуючою дією на сталь, є могутнім чинником, який впливає на чистоту сталі, зміну умов кристалізації, будову прикордонних зон і об'єму зерна, отримання однорідної структури і так далі.

Останнім часом тенденція до винесення процесів рафінування і легування сталі за межі печі розповсюджується повсюдно. Напівпродукт, що виплавляється в печі, піддається доведенню на агрегатах позапічного рафінування вже знаходячись в ковші. Це дозволяє скоротити час знаходження сталі в печі, зменшує енерговитрати і витрату матеріалів. Аналіз багатьох досліджень показав на актуальність легування сталі на основі ванадію.

Мета роботи - дослідження процесу мікролегування сталі ванадієм шляхом використання вторинних матеріалів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні теоретичні та прикладні завдання:

- проаналізувати існуючі та обрати оптимальний спосіб легування сталі ванадієм;
- визначити оптимальну методику дослідження багатокомпонентних сумішей для легування сталі ванадієм і азотом;
- розрахувати склад та витрату відновників за різними складом багатокомпонентної суміші.

Об'єкт дослідження: багатокомпонентні суміші для легування сталі ванадієм і азотом; процес брикетування та окомкування.

Предмет дослідження: вплив різних технологічних чинників на міцність окатишів та процес брикетування.

Методи дослідження: дослідження хімічного складу багатокомпонентної суміші проводили за допомогою хімічного аналізу; визначення міцності здійснювалося на малих зразках відповідно до вимог чинних стандартів; обробка експериментальних даних проводилась з використанням персонального комп’ютера; стендові випробування.

Наукова новизна: методика експериментальних досліджень дозволить визначати найбільш оптимальних склад багатокомпонентної суміші для легування сталі ванадієм.

Практичне значення: результати дослідних випробувань можуть бути використані при мікролегуванні сталі ванадієм з використанням вторинних матеріалів в промислових умовах.

Апробація результатів магістерської роботи. Результаті досліджень,

включених в кваліфікаційну роботу магістра, пройшли апрабацію на: XX науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості.

Т І. (Запоріжжя, 2015 р.) і наукових семінарах кафедри металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії.

Публікації

Основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і 1 тези конференцій.

Структура і об'єм роботи

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 25 найменувань, викладена на 75 сторінках машинописного тексту, включаючи 6 рисунків, 21 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, показано наукову новизну роботи і практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі проведений аналітичний огляд питання мікролегування сталі, описаний механізм карбонітридного зміцнення шляхом скріплення азоту (залишкового або такого, що спеціально вводиться) такими елементами як титан, ванадій, ніобій. Карбонітриди ванадію в сталі обумовлюють її дисперсійне зміцнення, подрібнення зерна аустеніту і дійсного зерна сталі. Зернограничне і дисперсійне зміцнення сталі вносять основний внесок до зростання межі текучості ванадійвмісних сталей.

Легування ванадієм з використанням оксидів ванадію - найбільш прогресивний спосіб виробництва ванадієвих сталей. Оксиди ванадію при цьому в чистому вигляді або у якості сполучника складних з'єднань вводиться в плавильний агрегат. Цей спосіб отримав назву прямого легування сталі. Він дозволяє використовувати для легування сталі недефіцитні і дешеві матеріали.

Встановлено, що у якості ванадієвих легуючих матеріалів широко використовують:

- легуючі сплави – сплави заліза з ванадієм (феровanадій), які можуть додатково містити і інші легуючі елементи (лігатури). Вони повинні володіти невисокою температурою плавлення, мінімальним вмістом шкідливих і небажаних домішок;

- матеріали для прямого легування, що містять оксиди ванадію. В основному це проміжні продукти, що отримуються в процесі переробки ванадійвмісних руд на феровanадій (конвертерний шлак, металовідсів, а також металізовані окатиші). Основні вимоги до матеріалів – достатньо високий вміст ванадію, мінімальний вміст баластних оксидів і шкідливих домішок;

- ванадійвмісні шихтові матеріали – сталевий лом, скрап, природньо-легований ванадієм чавун. Основні вимоги - відсутність іржі, кольорових металів і мінімальний вміст шкідливих домішок.

Найбільш широко вживаним матеріалом для прямого легування є ванадієвий конвертерний шлак (35…40% $Fe_{заг.}$ (у оксидах), 13…25% TiO_2, 5…12% MnO, 13…24% V_2O_5, 0,5…1,5% CaO, 2…3% MgO, 2…3% Al_2O_3, до 0,1% P та S). Ванадієвий шлак утворюється при окислювальному продуванні ванадієвого чавуну в конвертерах. Постачається ванадієвий шлак відповідно до ТУ 14-11-178–79. За хімічним складом шлак в масі сухої речовини повинен відповідати певним вимогам (табл.1).

Таблиця 1 -

Хімічний склад ванадієвого шлаку, %

Шлак	V_2O_5	SiO_2	P	CaO	Метало-включення
	не менше				
ШВд1	16	20	0,07	1,3	15
ШВд2	16	20	0,08	3,0	17
ШВд3	13	26	0,08	1,5	17
ШВд4	13	26	0,12	не регламен-тується	17

Відома технологія виробництва і використання металізованних окатишів при виплавці ванадієвих сталей і чавунів. Перевагами металізованих окатишів (табл. 2) є низький вміст фосфору, сірки, практична відсутність домішок шкідливих кольорових металів (олова, миш'яка, свинця, сурми та інших), постійність хімічного складу. Застосування ванадієвих окатишів дозволяє здійснити легування сталі ванадієм; підвищити якість металу за рахунок застосування шихти з низьким вмістом шкідливих домішок; істотно понизити безповоротні втрати ванадію за рахунок виключення переділу ванадійвмісного концентрату за схемою чавун – ванадієвий шлак – феровanадій.

Таблиця 2 -

Хімічний і гранулометричний склад металізованих окатишів

Окатиші	Вміст компонентів, %				Фракції <5 мм, не більше	Ступінь металізації, %
	$Fe_{заг}$	$Fe_{мет}$	FeO	V_2O_5		
	не менше					
Не офлюсовані	80,0	70,0	14,0	0,65	10	80
Офлюсовані	75,0	61,0	20,0	0,65	10	80

До ванадійвмісних шихтових матеріалів для виплавки сталі, особливо одношлаковим процесом, слід віднести також і ванадієвий чавун. Він є одним з проміжним продуктом в технологічній схемі витягання ванадію і відрізняється низьким вмістом сірки, фосфору і кольорових металів (табл. 3, 4).

У второму розділі описані матеріали і методи досліджень, які застосовувалися в ході роботи.

У якості основних відновників ванадію в промисловості використовують вуглець, кремній, алюміній та кальцій. Однак, як показують практичні данні, використання у якості відновника однієї речовини пов'язане з

Таблиця 3 -

Хімічний склад ванадієвого чавуну, %

	C	Si	Mn	V	Ti	Cr	S	P
Группа I	4,3…4,9	0,2…0,5	0,2…0,6	0,4…0,8	0,2…0,4	0,1...0,5	0,04	0,05
Группа II	4,3…4,9	0,2…0,5	0,61…1,0	0,4…0,8	0,2…0,4	0,51…0,9	0,04	0,05
Группа III	4,3…4,9	0,2…0,5	1,01…1,4	0,4…0,8	0,2…0,4	0,91…1,3	0,04	0,05

Таблиця 4 -

Середній хімічний склад ванадієвого чавуну, %

Виробник	C	V	Si	Mn	Ti	Cr	S	P
ЧУСМЗ	4,5	0,484	0,32	0,36	0,26	0,7	0,029	0,05
НТМК	4,5	0,463	0,20	0,31	0,23	0,7	0,027	0,03

певними труднощами. Тому перспективним представляється використання комплексу відновників. Комплексне використання відновників дозволяє уникнути труднощів зв'язаних при використанні одного відновника.

У якості шихтових матеріалів для приготування суміші використовується ванадієвий шлак виробництва НТМК, феросиліцій марки ФС-75, коксик, натрієва селітра, ціанамід кальцію, силікокальцій марки СК-30.

Першим етапом досліджень сумішей для легування сталі ванадієм і азотом був процес брикетування. Базовим складом брикетів була прийнята екзотермічна суміш - ванадійазотовмісна суміш з використанням у якості відновника кремнію і вуглецю та у якості азотовмісної речовини - натрієвої селітри і ціанаміду кальцію.

Шихтові матеріали заздалегідь розмелювалися до фракції 2 мм. У якості речовини, що пов'язує, виступав водний розчин сульфіт-спиртової барди (ССБ) при щільності розчину 1,18 г/см^3. Відробіток технології брикетування вівся в умовах ГП“УкрНДІспецсталь” на лабораторному брикет-пресі.

Для розробки технології брикетування сумішей досліджували зміну властивостей міцності брикетів залежно від питомого тиску пресування, кількості речовини, що пов'язує, і вологості. Шихту для брикетування перемішували в лабораторному змішувачі ємністю 30 см^3 з електричним обігрівом. Після підігріву шихти до температури 30 ^{0}С додавали в неї водний розчин ССБ, заздалегідь нагрітий до 60 ^{0}С. Шихта перемішувалася до досягнення вологості приблизно 6%, після чого вивантажувалася в ексикатор.

Брикети циліндрової форми (діаметр 40 мм, висота 20…25 мм) виготовляли на лабораторному гідравлічному брикет-пресі. Величина питомого тиску складала 300 і 400 кг/см^2, а кількість речовини, що пов'язує щільністю 1,18 г/см^3 – 10 і 12% від ваги шихти.

Випробуванням піддавали як сирі брикети, вологість яких змінювалася в межах від 3 до 5,2%, так і висушениі брикети при 120 ^{0}С із залишковою вологістю 0,2...1%.

Другим етапом досліджень сумішей для легування сталі ванадієм і

азотом був процес окомкування. В лабораторних умовах було вироблено три партії окатишів на основі ванадієвого шлаку з багатокомпонентних сумішей.

Подрібнені до фракції 2 мм компоненти шихти в заданій пропорції змішувалися в барабані-окомкователе. Усереднена шихта порціями подавалася на чашевий гранулятор, де зволожувалася розпорошеним водним розчином сульфіт-спиртової барди. Готові сирі окатиші відсівалися на ситі з діаметром отвору 10 мм і піддавалися або температурній сушці, або тривалому вилежуванні в критому приміщенні. Механічну міцність готового продукту визначали шляхом роздавлювання сирих окатишів різних фракцій після їх сушки і вилежуванні через 10, 20 і 30 діб на розривній машині МР-0,5-1.

У третьому розділі проаналізовані різні види відновників, приведені розрахунки відновників за чотирма варіантами.

Аналіз існуючих способів легування сталі ванадієм показав на доцільність напряму дослідження - легуванні сталі окускованими сумішами в ковші із застосуванням матеріалів, що містять пентоксид ванадію (ванадієвий шлак), а у якості азотоносія – недефіцитні азотовмісні матеріали (селітра, карбамід).

Запропоновано використання чотирьох варіантів приготування комплексних багатокомпонентних сумішей:

1. Варіант 1 - ванадійвмісна суміш з використанням у якості відновника кремнію і вуглецю.
2. Варіант 2 - ванадійазотовмісна суміш з використанням у якості відновника кремнію, а азотовмісної речовини – натрієвої селітри;
3. Варіант 3 - ванадійазотовмісна суміш з використанням у якості відновника кремнію і вуглецю, а азотовмісної речовини натрієвої селітри і ціанаміду кальцію;
4. Варіант 4 - ванадійазотовмісна суміш з використанням у якості відновника вуглецю, кремнію і кальцію, а азотовмісної речовини – натрієвої селітри і ціанаміду кальцію.

У розрахунках прийнято, що у якості шихтових матеріалів для приготування суміші використовується ванадієвий шлак виробництва НТМК, феросиліцій марки ФС-75, коксик, натрієва селітра, ціанамід кальцію, силікокальцій марки СК-30 (табл. 1). При проведенні розрахунків сумішей враховували необхідність введення в сталь не менше 0,11% ванадію і 0,015% азоту. Хімічний склад елементів легуючих сумішей приведений в табл. 2.

Розрахунок відновника проводився на тонну сталі з урахуванням введення не менше 0,11% ванадію і не менше 0,015% азоту:

1. Розрахунок відновника за першим варіантом:

Відновлення відбувається за реакціями:

$$V_2O_5 + 5C = 2V + 5CO, \quad (1)$$

$$2V_2O_5 + 5Si = 4V + 5SiO_2. \quad (2)$$

Витрата відновника і легуючої суміші складе:

$$\sum m(кокс) = 0,0,619\ кг / т\ сталі,$$

$$\sum m(FeSi) = 1,6\ кг / т\ сталі,$$

$$\sum m(суміші) = 15,133\ кг / т\ сталі.$$

2. Розрахунок відновника за другим варіантом:
Відновлення відбувається за реакцією:

$$2V_2O_5 + 5Si = 4V + 5SiO_2, \quad (3)$$

а розкладання натрієвої селітри за реакцією:

$$4NaNO_3 + 5Si = 5SiO_2 + 2Na_2O + 2N_2. \quad (4)$$

Сумарна маса відновника і суміші складе:

$$\sum m(FeSi) = 2,611\ кг / т\ сталі,$$

$$\sum m(суміші) = 16,436\ кг / т\ сталі.$$

3. Розрахунок відновника за третім варіантом:

Для третього варіанту змішай кількість вуглецю і кремнію для відновлення ванадієвого шлаку складе таку ж кількість, як і в першому варіанті, а для ціанаміду кальцію і натрієвої селітри приймаємо, що співвідношення їх в суміші складе 1:1.

Загальна маса відновника і суміші за третім варіантом складе:

$$\sum m(кокс) = 0,669\ кг / т\ сталі,$$

$$\sum m(FeSi) = 1,753\ кг / т\ сталі,$$

$$\sum m(суміші) = 15,918\ кг / т\ сталі.$$

4. Розрахунок відновника за четвертим варіантом

Четвертий варіант припускає відновлення шлаку кремнієм і кальцієм, а введення азоту за рахунок нітрату натрію і ціанаміду кальцію. Передбачається, що вуглець, що вводиться, використовується для відновлення ціанаміду кальцію. Для спрощення розрахунку приймаємо, що силікокальцій містить 30%

кальцію і 70% кремнію.

Маса відновника і суміші за четвертим варіантом складе:

$$\sum m(кокс) = 0{,}05\ кг/т\ сталі,$$

$$\sum m(SiCa) = 2{,}509\ кг/т\ сталі,$$

$$\sum m(суміші) = 16{,}055\ кг/т\ сталі.$$

Огляд можливих способів відновлення ванадієвого шлаку різними відновниками (вуглецем, кремнієм, алюмінієм і кальцієм) показав необхідність використання не одного, а декількох відновників одночасно. Виконаний розрахунок складу сумішей показав, що легуючі суміші складаються з 70…80% ванадієвого шлаку, 12…18% відновника, 4…5% вапняку і 2…6% азотовмісної речовини. Витрата легуючої суміші коливається у вузьких межах від 16 до 18 кг/т сталі.

У четвертому розділі проведений аналіз експериментальних даних брикетування та окомкування сумішей для легування сталі ванадієм і азотом.

Базовим складом брикетів була прийнята екзотермічна суміш за варіантом 3 (табл. 5). Міцність брикетів (табл. 6) визначали шляхом положення навантажень на тому ж пресі.

З приведених даних табл. 7 видно, що підвищення витрати сульфіт-спиртової барди, питомого тиску пресування і сушка при 120 ^{0}С приводить до зміцнення брикетів. Висушені брикети всіх партій володіють високою міцністю, достатньою для їх транспортування таким чином, досліджені діапазони коливання параметрів технології виготовлення брикетів рекомендовані для брикетування сумішей на брикет-пресі.

Другим етапом досліджень сумішей для легування сталі ванадієм і азотом був процес окомкування. В лабораторних умовах було вироблено три партії окатишів на основі ванадієвого шлаку з багатокомпонентних сумішей, відповідних варіантам 1, 3 і 4.

В процесі окомкування вищезгаданих сумішей встановлено, що речовина, що пов'язує (сульфіт-спиртова барда), володіє підвищеною в'язкістю, нерівномірно розподіляється в масі шихти, а отримані гранули (окатиші) мають блиноутворну і елипсоутворну форму.

Лабораторні дослідження показали, що в'язкість речовини, що пов'язує, можливо знизити шляхом підвищення температури розчину. Зміна відносній в'язкості розчину (співвідношення води ССБ дорівнюю 2,2) від температури нагріву визначалася на в’язкозіметрі Оствальда-Пімневіча.

Таблиця 5 -

Склад сумішей для введення в сталь ванадію і ванадію спільно з азотом

Компонент	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
Ванадієвий шлак	$\frac{12{,}914}{78-80}$	$\frac{12{,}914}{72-73}$	$\frac{12{,}914}{74-76}$	$\frac{12{,}914}{76-77}$
Феросиліцій ФС-75	$\frac{1{,}92}{11-13}$	$\frac{3{,}133}{17-18}$	$\frac{2{,}104}{12-13}$	–
Коксик	$\frac{0{,}743}{4-5}$	–	$\frac{0{,}803}{4-5}$	$\frac{0{,}05}{\approx 1}$
Силікокальцій СК-30	–	–	–	$\frac{2{,}509}{14-16}$
Натрієва селітра	–	$\frac{0{,}911}{5-6}$	$\frac{0{,}291}{2-3}$	$\frac{0{,}291}{2-3}$
Ціанамід кальцію	–	–	$\frac{0{,}291}{2-3}$	$\frac{0{,}291}{2-3}$
Вапняк	$\frac{0{,}8}{4-5}$	$\frac{0{,}9}{5-6}$	$\frac{0{,}8}{4-5}$	$\frac{0{,}8}{4-5}$
Сумарна витрата	$\frac{16{,}377}{100}$	$\frac{17{,}858}{100}$	$\frac{17{,}203}{100}$	$\frac{16{,}855}{100}$

Примітка: чисельник – маса речовини в суміші, кг/т сталі,
знаменник – вміст речовини в суміші, %.

Таблиця 6 -

Хімічний склад елементів легуючих сумішей, %

Шихтові матеріали	Ванадієвий конвертерний шлак	Феросиліцій ФС-75	Силікокальцій СК-30
V_2O_5	15,2	-	-
TiO_2	4,1	-	-
SiO_2	18,0	-	-
CaO	3,2	-	-
MgO	1,5	-	-
Al_2O_3	1,3	-	-
Cr_2O_3	1,9	-	-
FeO	34,1	-	-
MnO	8,1	-	-
Al	-	0,5	2,0
Si	-	78,5	60,9
$Fe_{мет}$	8,5	20,5	5,5
C	-	-	0,5
P_2O_5	0,07	-	0,04

Таблиця 7 -

Результати випробувань виготовлених партій брикетів на міцність

Партія	Витрата ССБ, %	Питомий тиск пресування, кг/см^2	Міцність брикету, кг/брикет	
			сирого	висушеного при 120 ^{0}C
1	10	300	350…400	500…900
2	10	400	350…400	550…1000
3	12	300	350…400	850…1300
4	12	400	400…500	900…1400

З данних експериментальних досліджень, приведених на рис. 1, встановлено,що із збільшенням температури нагріву в'язкість розчину знижується, при цьому різке зниження в'язкості спостерігається при нагріві розчину до температури 60…90 ^{0}C. При підвищенні температури вище 90 ^{0}C зниження в'язкості розчину незначне. Тому надалі обробка шихт, що готуються, проводилася розпилюванням підігрітого (до температури 60…90 ^{0}C) розчину ССБ, що сприяло рівномірному розподілу речовини, що пов'язує, в масі шихти і, у свою чергу, забезпечувало отримання однорідних за великими гранулами кулястої форми.

Параметри раціональної технології окомкування приведені в табл. 8.

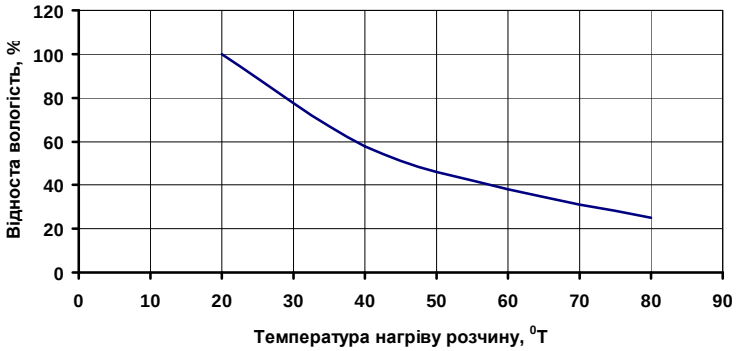


Рис. 1. Залежність відносної в'язкості розчину ССБ від температури

Таблиця 8 -

Параметри технології виробництва окатишів

Параметр	Суміш варіанту 1	Суміш варіанту 2	Суміш варіанту 3
Число оборотів чаші гранулятора, об./хв.	13…14	10…11	13…14
Кут нахилу чаші, град.	42	40	40
Вологість шихти, %	10..11	8…9	8…9
Витрата речовини, що пов'язує, %	10	10	10
Температура розчину речовини, що пов'язує, ^{0}C	60…90	60…90	60..90

При дотриманні даних умов технології можливо отримувати окатиші рівного гранулометричного складу (табл. 9).

Таблиця 9 -

Гранулометричний склад окатишів, %

Розмір фракції, мм	Суміш варіанту 1	Суміш варіанту 2	Суміш варіанту 3
>20	38,3	40,2	37,1
20…15	52,0	53,0	51,9
15…10	9,7	6,8	11,0

Характеристики міцності окатишів приведена в табл. 10. Відмічено, що найміцніші окатиші виходять з суміші першого варіанту; окатиші з інших сумішей менш міцні (більш ніж в 2 рази). Встановлено, що максимальна міцність брикетів при зберіганні на повітрі в критому приміщенні досягається через десять діб.

Окатиші з суміші першого варіанту легко піддаються температурній сушці в стаціонарному шарі. Оптимальний час сушки при температурі 200… 250 ^{0}С складає 1,5 год.

Із збільшенням часу сушки міцність окатишів знижується (кг/окатиш):

Час сушки, година	окатиші фракції, мм	
	> 20	20…15
1	56,3	64,6
1,5	68,7	63,1
2,0	40,2	40,0

Тривале висушування окатишів з суміші 1-го варіанту на повітрі в критому приміщенні також підвищує їх міцність (табл. 9).

Для інших сумішей (3-го і 4-го варіантів), до складу яких входить селітра, температурна сушка неприйнятна: при температурах до 160 ^{0}С окатиші не досягають достатньої міцності (табл. 10), а підвищення температури більше 160 ^{0}С приводить до їх самозагорання.

Міцність окатишів на основі ванадієвого шлаку мало залежить від їх фракції (табл. 10), особливо для суміші варіанту 1. Це пояснюється тим, що на крупних окатишах (фракція >20 мм) в процесі сушки з'являються макротріщини.

Дослідне випробування сумішей для легування сталі проводили в лабораторних умовах в ГП “УкрНДІспецсталь”. Сталь виплавляли в дугових сталеплавильных електропечах типу ДСП-3,2 і ДСП-1,5. Дослідження проводили на мало- і средньовуглецевій сталі із звичайним і підвищеним вмістом марганцю. Метал легували в печі феромарганцем, металевим марганцем і у ряді випадків 45…65% феросиліцієм; у ківш вводили феросиліцій, брикети або окатиші. На всіх плавках, вироблених в лабораторних умовах, в ківш додатково вводили алюміній.

Випуск плавок з електропечі проводився без затримки (або попереднього видалення) шлаку. Феросиліцій, брикети або окатиші вводили під струмінь металу на початку випуску плавки.

У п'ятому розділі приведені основи охорони праці та техногенна безпека.

Дана робота виконувалася в лабораторних умовах. Аналіз потенційно

небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії показав, що на людину негативно впливають: шум, що перевищує допустимі норми; підвищенна температура повітря; підвищенний рівень тепловиділення; небезпека ураження електричним струмом; надмірна запиленність і загазованність повітря та ін.

Таблиця 10 -

Залежність механічної міцності окатишів від тривалості зберігання

Варіант суміші	Температура сушки, ^{0}C	Фракція окатишів, мм	Тривалість зберігання, доба	Міцність на стиснення, кг/окатиш
1	200…250	20…15	1	63,1
			10	63,8
			20	69,0
			30	64,7
		> 20	1	68,7
			10	65,5
			20	71,0
			30	70,0
	–	20…15	1	8,9
			10	80,7
			20	77,5
			30	75,0
		>20	1	12,8
			10	93,8
			20	86,6
			30	84,3
2	–	15…10	1	4,3
			10	16,0
			20	20,2
			30	19,0
		20…15	1	3,2
			10	21,5
			20	21,3
			30	20,5
		> 20	1	2,1
			10	34,8
			20	30,2
			30	30,4
4	до 160	15…10	1	21,5
			10	22,0
			20	19,0
			30	20,0
		20…15	1	26,0
			10	25,0
			20	23,5
			30	24,0
		> 20	1	31,3
			10	33,0
			20	32,4
			30	33,3

Висновки

1. Проаналізовано сучасний стан існуючих та обраний оптимальний спосіб легування сталі ванадієм. Показано доцільність легування сталі окускованими сумішами в ковші із застосуванням матеріалів, що містять пентоксид ванадію (ванадієвий шлак), а у якості азотоносія – недефіцитні азотовмісні матеріали (селітра, карбамід). Запропоновано використання чотирьох варіантів приготування комплексних багатокомпонентних сумішей:

- ванадійвмісна суміш з використанням у якості відновника кремнію і вуглецю;
- ванадійазотовмісна суміш з використанням у якості відновника кремнію, а азотовмісної речовини – натрієвої селітри;
- ванадійазотовмісна суміш з використанням у якості відновника кремнію і вуглецю, а азотовмісної речовини натрієвої селітри і ціанаміду кальцію;
- ванадійазотовмісна суміш з використанням у якості відновника вуглецю, кремнію і кальцію, а азотовмісної речовини – натрієвої селітри і ціанаміду кальцію.

2. Встановлено, що підвищення витрати сульфіт-спиртової барди (з 10 до 12%), питомого тиску пресування (з 300 до 400 кг/см^2) і сушка при 120 ^{0}С приводить до зміцнення брикетів в 1,4 рази, при чому встановлено, що із збільшенням температури нагріву в'язкість ССБ знижується, особливо при нагріві розчину до температури 60…90 ^{0}С.

3. Показано, що найміцніші окатиші виходять з ванадійвмісної суміші з використанням у якості відновника кремнію і вуглецю; окатиші з інших сумішей менш міцні (більш ніж в 2 рази). Встановлено, що максимальна міцність брикетів при зберіганні на повітрі в критому приміщенні досягається через десять діб.

Список опублікованих магістрантом робіт

1. Гаврилюк К.О. Дослідження мікролегування сталі багатокомпонентною сумішшю на основі ванадію / К.О. Гаврилюк, О.С. Воденнікова // Збірник наукових праць магістрантів кафедри МЧМ. Випуск 11. – Запоріжжя: ЗДІА, 2015.- С. 36-41.

2. Гаврилюк К. О Аналіз внутрішньо агрегатної обробки металу в аргоні у двованному сталеплавильному агрегаті/ К.О. Гаврилюк, Б.П. Середа // Метали XX науково-технічна конференція студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Т І. – Запоріжжя: ЗДІА, 2015.- С. 4