

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

Банашук Андрій Геннадійович

УДК 669.14.018.29: 669.187.56

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ
ТИПУ 15Х2Г2СВА ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВУ**

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 9⁰⁰ в аудиторії 225 на засіданні Державної екзаменаційної комісії в Запорізькій державній інженерній академії за адресою: 69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Одним з основних шляхів підвищення механічних і службових властивостей металу є підвищення загальної чистоти металу від шкідливих домішок, неметалічних включень і газів. Вирішальний вплив на якість готового листа, його технологічні і експлуатаційні властивості надають умови переділу.

Аналіз сучасного стану виробництва легованої сталі вказує на тенденцію проведення завершальних операцій розкислювання, остаточного рафінування і легування поза сталеплавильним агрегатом. У практиці сталеплавильного виробництва широке застосування отримали методи позапічної обробки рідкої сталі: обробка металу в ковші рідким синтетичним високоосновним глиноземистим шлаком, продування рідкої ванни інертними газами і порошкоподібними матеріалами, вакуумування стали в ковші або виливниці з одночасним продуванням аргоном, використання для легування рідкої лігатури та ін. Проте, не дивлячись на очевидні переваги вищезгаданих методів, застосовність звичайних злитків або навіть безперервнолитих заготовок, з характерною хімічною і фізичною неоднорідністю, для виготовлення з них високоякісного товстолистого прокату залишається проблематичною.

Найбільш ефективними способами підвищення якості конструкційних сталей, зокрема вживаних для виготовлення листів, є нові способи спеціальної електросталургії - електрошлаковий (ЕШП), вакуумно-дуговий (ВДП) і електронно-променевий (ЕПП) переплави.

Чистота металу рафінуючого переплаву за шкідливими домішками, газами і неметалічними включеннями і високої якості злитків переплавних процесів дозволяють отримувати цими способами високоякісні металургійні заготовки і забезпечувати високу надійність і працездатність виробів, що виготовляються з них.

Мета роботи - дослідження якості конструкційних сталей типу 15X2Г2СВА після електрошлакового переплаву.

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

- проаналізувати існуючі методи та способи поліпшення якості товстолистової сталі;
- визначити чинники, які впливають на якість сталі, визначити оптимальну методику та методи її дослідження;
- проаналізувати та порівняти якість конструкційної сталі марки 15X2Г2СВА після ЕШП, ВДП та ЕПП.

Об'єкт дослідження: великотоннажні листові злитки ЕШП та електроди, що витрачаються; процес рафінування сталі.

Предмет дослідження: закономірності процесів структуроутворення сталі марки 15X2Г2СВА після електрошлакового переплаву, вплив різних технологічних чинників електрошлакового переплаву на механічні властивості та забрудненість сталі.

Методи дослідження: дослідження хімічного складу сталі проводили за допомогою хімічного аналізу; визначення механічних властивостей сталі здійснювалося на малих зразках відповідно до вимог чинних стандартів, методами металографії; обробка експериментальних даних з використанням персонального комп'ютера.

Наукова новизна: методика експериментальних досліджень дозволить визначати найбільш якісну продукцію після різних видів рафінувального переплаву.

Практичне значення: результати дослідних випробувань можуть бути використані при виробництві конструкційних сталей типу 15Х2Г2СВА після електрошлакового переплаву в промислових умовах.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, включених в кваліфікаційну роботу магістра, пройшли апробацію на: ХХ науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Частина 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 46 найменувань, викладена на 98 сторінках машинописного тексту, включаючи 25 рисунків, 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі розглянуті основні види дефектів листової сталі та вказані причини їх виникнення.

В процесі розливання легованої сталі і кристалізації металу в звичайних чавунних виливницях з футерованими прибутковими надставками утворюються численні дефекти поверхні і макроструктури злитка. До дефектів, в першу чергу, можна віднести дендритну неоднорідність, зональну ліквіацію, підвищену забрудненість неметалічними включеннями і газами та інші.

У свою чергу, дефекти в металі злитка визначають якість катаної сталі і впливають на її фізико-механічні та службові властивості. Одним з методів оцінки якості металу є вивчення характеристик виду зламу. До найважливіших характеристик зламу відносять (рис.1, а-г) шиферність, розшарування, дрововидність, дендритність і флокени.



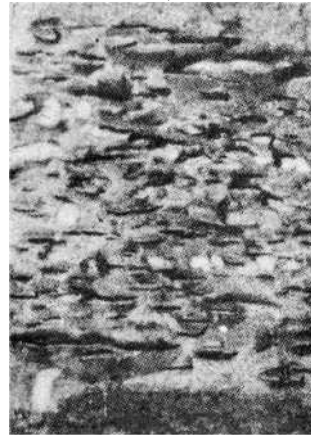
а)



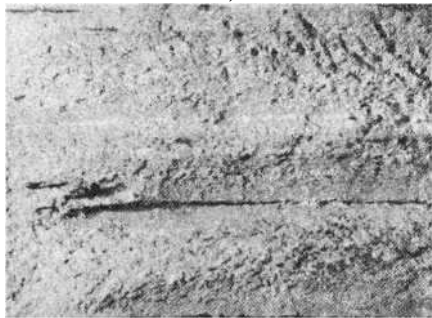
б)



в)



г)



д)

а - шиферний злам проби 50-мм листа (низ злитка); б - розшарування в зламі проби 50-мм листа (верх злитка); в - деревидність в зламі проби 50-мм листа; г - дендритність в зламі листа; д - флокени в зламі поперечної проби.

Рис. 1. Злам проби 50-мм листа:

Основну масу неметалічних включень в сталі складають оксидні і сульфідні включення. Вони зменшують суцільності сталі та утворюють місця з високою вірогідністю утворення мікротріщин. За відповідних умов ці мікротріщини можуть з'єднуватися і утворювати тріщини критичного розміру, що приводять до руйнування.

Рівень концентрації напруги в сталі, викликаний неметалічними включеннями, залежить від когезії неметалічних включень і основного металу; різниці у властивостях між неметалічними включеннями і основним металом

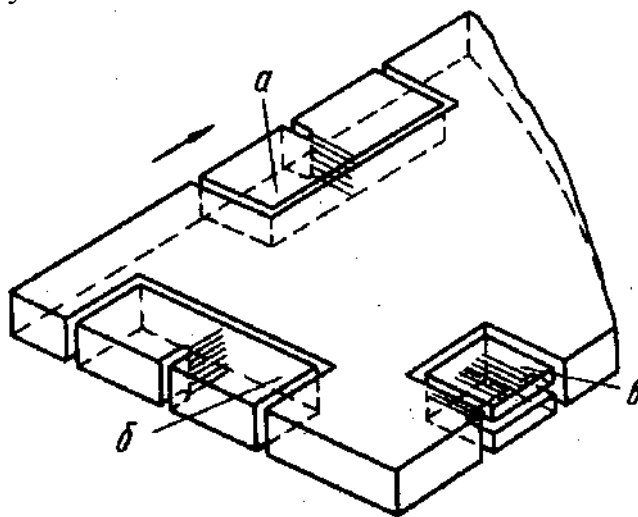
(по деформованості, коефіцієнту термічного розширення і так далі); форми, розмірів неметалічних включень і відстані між ними; кількості включень.

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

Для оцінки якості сталі при її виготовленні і особливо в стані постачання у вигляді листів застосовується метод випробування на злам.

На рис. 2. представлена схема вирізки з листів стандартних проб на злам, де стрілка вказує напрям плющення, а штрихуванням показано розташування надрізів в пробних брусках.

Найбільш оптимальне співвідношення довжини пробного бруска до його товщини складає близько 1,5...2,0 (це відношення дійсне для листів завтовшки більше 5 мм). Вирізку проб з листів і виготовлення надрізів проводять автогенним різанням. Для контрольних випробувань рекомендовано застосовувати тільки поперечні проби. Полумку проб слід здійснювати під пресом, а не під копром, оскільки при цьому неминуча висока швидкість деформації металу, сприяюча отриманню кристалічного зламу. Випробування на злам слід проводити при температурі проб і брусків в межах 15...25°C.



а - подовжньо; б - поперечно;
в - вертикально (на "розщеплювання").

Рис. 2. Схема вирізки з листа стандартних проб на злам:

Аналіз особливостей ЕШП великолистових злитків показав, що найбільше розповсюдження набули печі типу У-436 та ЗШП20ВГ-И2 (табл.1).

Температура плавлення шлаків, вживаних при ЕШП конструкційних марок сталі, складає 1200...1450°C. Основою більшості шлакових композицій, вживаних в технології ЕШП є фтористий кальцій CaF_2 , для забезпечення необхідних технологічних і металургійних властивостей в шлак на основі фториду кальцію вводять високоміцні оксиди і інші добавки (Al_2O_3 , CaO , MgO , MgF_2 та ін.). Витрата шлаку при ЕШП великолистових злитків коливається в межах 40...50 кг/т сталі, зокрема 6...10 кг/т на утворення гарнісажу.

При ЕШП великолистових злитків застосовують переважно

багатоелектродні біфілярні схеми струмопідводу. Максимальні температури шлакової ванни (1655...1680⁰С) спостерігаються в зазорі між електродами.

Таблиця 1-

Сортамент великотоннажних листових злитків ЕШП і розміри електродів, що витрачаються

Тип печі ЕШП	Розміри електродів, що витрачаються, мм	Витрати електродів, шт.
У-436	140x880x4900	2
	140x1120x4830	2
	140x1230x4850	2
ЕШП-20ВГ	160x800x5100	2
	160x800x5300	2
	160x650x6100	4
	160x800x5100	4

При розробці технології переплаву сталі кожної конкретної марки в злиток певного перетину і висоти складають програму вимірювання електричних параметрів (сили струму і напруги) протягом плавки, що забезпечує отримання оптимального об'єму і форми металевої ванни в кожен момент плавки. Після наплавлення злитка заданої висоти і маси приступають до виведення усадкової раковини.

Для дослідження виробництва електрошлакової листової сталі використовували ковані та литі електроди, що витрачалися, відлиті в спеціальну виливницю. В результаті ЕШП отримані ковальські злитки масою 12 т, які на пресі кували на браму масою 9,2 т, а потім прокатували на листи завтовшки 80...115 мм, масою 6 т, тобто витратний коефіцієнт від злитка ЕШП до листа ЕШП складає приблизно 2,0.

Оцінку якості сталі після електрошлакового проводили на прикладі конструкційної сталі марки 15Х2Г2СВА. Початковий метал виплавляли в 100-т дуговій електропечі методом повного окислення із застосуванням газоподібного кисню і повним викачуванням окислювального шлаку. Рафінування металу здійснювалося під білим шлаком з попереднім розкислюванням в печі феромарганцем, феросиліцієм і алюмінієм (0,4 кг/т) і остаточним - в ковші алюмінієм в кількості 0,5 кг/т.

ЕШП проводили на установці Р-951 під флюсом АНФ-6 з розкислюванням шлаку по ходу переплавки порошком алюмінію в кількості 30 г через кожних 10 хв.

ВДП здійснювали на установці ДСВ-10Б при залишковому тиску в робочому просторі печі порядку 0,1 Н/м².

ЕПП здійснювали на установці У-254 при розрядці 0,01...0,001 Н/м. Швидкості переплавки у всіх випадках підтримувалися практично однаковими.

Переділ всіх злитків здійснювали по одній технологічній схемі з плющенням на листи завтовшки 40 мм.

Зразки металу для різної оцінки відбиралися як від злитків, так і від листів.

Макроструктуру злитків вивчали шляхом зняття сірчаних відбитків і

візуально на подовжніх осьових темплетях, вирізаних на відстані 20, 50 і 80% висот, після того, що труїть їх в соляній кислоті при температурі 50...60⁰С.

Дисперсність дендритної структури оцінювали методом січною на поперечних і подовжніх площинах зразків, вирізаних з подовжніх темплетів на середині висоти злитків. Щільність литого металу визначали методом гідростатичного зважування на 10 зразках від злитка.

Хімічний склад сталі в злитках переплавних процесів контролювали в пробах головного, середнього і донного поперечних макротемплетів на периферії, в центрі і на середині радіусу, а в початковому злитку - по ковшовій пробі.

Проби для визначення вмісту неметалічних включень способом металографії відбирали по осі, на периферії і по середині радіусу злитків переплавних процесів - по середині їх висоти, а в початковому злитку - також на підприбутковому горизонті і на відстані 230 мм від донної частини. Вміст неметалічних включень фізико-хімічним способом визначали в пробах металу по осі злитків по середині їх висоти.

Забрудненість сталі різних способів виробництва неметалічними включеннями оцінювали способами металографії і фізико-хімічного. При способі металографії підрахунок об'ємного відсотка включень робився за наслідками проглядання нетруєних шліфів на мікроскопі "Неофорт-2" при 400- кратному збільшенні по 600 полям зору. При фізико-хімічному способі число і склад включень визначали шляхом електролітичного розчинення зразків з подальшим хімічним аналізом виділеного осаду.

Проби для визначення вмісту неметалічних включень способом металографії відбирали по осі, на периферії і по середині радіусу злитків переплавних процесів - по середині їх висоти, а в початковому злитку - також на підприбутковому горизонті і на відстані 230 мм від донної частини. Вміст неметалічних включень фізико-хімічним способом визначали в пробах металу по осі злитків по середині їх висоти.

Проби з 40-мм листів для оцінки якості прокатоного металу (характеристики зламів) були узяті з верхньої і нижньої частин листів в межах середньої третини їх ширини.

У третьому розділі приведені основні конструкційні особливості установок і схеми ЕШП.

Техніко-економічні показники процесу ЕШП можна значно поліпшити при використанні однофазної двохелектродної біфілярної схеми (рис. 3), при якій в одному кристалізаторі переплавляють одночасно два електроди рівних перетинів, що витрачаються. Електроди сполучені послідовно і подаються в, шлакову ванну з однаковою швидкістю одним електродотримачем з двома ізольованими один від одного струмопідводами. Така схема ЕШП дозволяє забезпечити близьке і паралельне (біфілярне) розташування струмопідвода на всіх його ділянках, включаючи електроди, що витрачаються, що значно знижує індуктивний опір короткій мережі печі. Особливістю схеми рис. 3 є відсутність підведення струму до піддону і електричного зв'язку з ним злитка, що наплавляється. Біфілярна схема забезпечує вищу продуктивність процесу, чим звичайна однофазна схема.

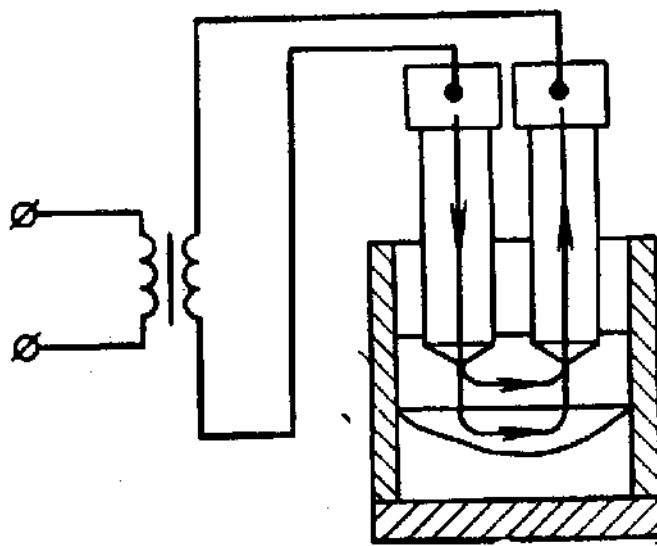


Рис. 3. Схема біфілярної установки ЕШП

Відомо, що до листових злитків зазвичай відносять злитки масою більше 10...14 т. Злитки листової сталі переплавляються переважно на однофазних біфілярних електрошлакових печах в стаціонарних кристалізаторах. Основні існуючі схеми струмопідводу можна розділити на 2х і 4х- електродні.

Однофазні біфілярні електрошлакові печі типу У-436 дозволяють виплавляти листові злитки тільки за схемою заповнення, тобто із застосуванням стаціонарного кристалізатора, що має висоту, достатню для отримання необхідного злитка, встановленого на нерухомому під час плавки піддоні, в якому переплавляються два рухомі електроди, що витрачаються. У зв'язку з цим на печах типу У-436 візок підйому кристалізатора, призначений тільки для роздягання злитка після плавки, не має власного приводу, а переміщується за допомогою накидних ланцюгів візкомелектродотримача.

У четвертому розділі проведено порівняння якості сталі різних способів виплавки.

Результати оцінки якості товстолистової сталі 15Х2Г2СВА свідчать про досягнення високого т рівня комплексу механічних властивостей та рівномірний розподіл його значень по висоті злитка (табл. 2). Слід зазначити високий рівень ударної в'язкості металу при потрібній температурі, що істотно перевищує (у 1,3...1,5 при $t=-40^{\circ}\text{C}$ і в 4.5 разів при $t=-70^{\circ}\text{C}$). Досягнутий також високий рівень ударної в'язкості після механічного старіння, що нерегламентується для даної марки сталі. За інших рівних умов цьому сприяє розкислювання шлакової ванни алюмінієм при ЕШП і забезпечення вертикальної хімічної однорідності злитків, зокрема за алюмінієм.

Дослідження якості листової сталі типу 15Х2Г2СВА після різних видів рафінуючого переплаву (ЕШП, ВДП та ЕПП) показали, що злитки всіх переплавних процесів мають вельми однорідну, щільну макроструктуру без яких-небудь слідів усадкових або ліквацийних дефектів. Дисперсність дендритної структури злитків була практично однаковою при всіх переплавках. Відстані між осями дендритів складали 0,37...0,39 мм. Щільність металу злитків переплавних процесів дорівнювала $(7,848...7,851) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, тоді як в початковому злитку вона складала в середньому $7,836 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

У злитку ЕДП спостерігалася типова для злитків, відлитих в звичайну виливницю, неоднорідність макроструктури. Відстань між осями дендритів складала 0,60 мм. Характерною для цього злитка була невідповідність напряму

зростання первинних кристалів і головних осей дендритів. На сірчаних відбитках виразно позначилися сліди звичайної для таких злитків зональної ліквіації.

Таблиця 2-

Механічні властивості товстолистого прокату із сталі 15X2Г2СВА після ЕШП

Товщина листа, мм	Рівень листа	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU _{-40,2} , МДж/м ²	KCU _{-70,2} , МДж/м ²	KCT, МДж/м ²
40	верх	492	628	32	70	1,58	1,48	1,63
	низ	490	619	31	68	1,55	1,44	1,60
50	верх	446	608	31	71	1,56	1,44	1,59
	низ	449	603	30	72	1,54	1,45	1,58
60	верх	451	589	28	70	1,32	1,13	1,37
	низ	443	580	28	70	1,31	1,12	1,39
33...50	вимоги	412	569	25	60	0,98	0,29	-
51...70	ТУ	392	540	25	60	0,98	0,29	-

Хімічний склад сталі в злитках переплавних процесів контролювали в пробах головного, середнього і донного поперечних макротемплетів на периферії, в центрі і на середині радіусу, а в початковому злитку - по ковшовій пробі. Вміст основних легуючих елементів в сталі в результаті різних видів рафінуючого перепау практично не змінився. Виняток становив лише елемент з високою пружністю пари - марганець, вміст якого при вакуумних перепавах знизився унаслідок випаровування на 0,32% при ВДП і на 0,67% при ЕПП. Можна відзначити також деяке зниження вмісту хрому при ЕПП (на 0,07%). Скільки-небудь помітній ліквіації хімічних елементів в злитках всіх способів перепавки не виявлено.

Результати визначення вмісту домішкових елементів в металі представлені в табл. 3. З табл. 3 видно, що ЕШП забезпечує надзвичайно ефективне рафінування сталі по сірці. Вміст її в металі в результаті ЕШП знижується в 2,5 рази. ВДП і ЕПП відносно десульфуратії металу є малоефективними процесами. Фосфор не віддається ні при одному з перепавальних процесів.

Домішки кольорових металів віддаються в значних кількостях тільки при вакуумних перепавах, причому найефективніше при ЕПП. ВДП забезпечує різке зниження вмісту в сталі тільки цинку та істотне - олова. Миш'як при всіх перепавальних процесах віддається в незначних кількостях.

Вміст газів в металі визначався в пробах від головного, середнього і донного макротемплетів. У злитках перепавальних процесів проби відбирали по осі злитка, а в початковому також з периферії і в осьовій площині злитка. Вміст кисню визначали методом вакуум-плавлення при температурі 1650 °С і тиску 0,001 Н/м², а азоту - хімічним методом (відгоном аміаку).

Таблиця 3 -

Вміст домішкових елементів сталі 15X2Г2СВА при різних способах виплавки, %

Спосіб виплавки	S	P	O	N	Zn	Sn	As	Sb	Cu
ЕДП	0,018	0,011	0,0090	0,0133	0,0027	0,0037	0,0093	0,0014	0,10
ЕШП	0,008	0,012	0,0041	0,0128	0,0025	0,0032	0,0085	0,0014	0,09
ВДП	0,015	0,011	0,0033	0,0100	0,0004	0,0025	0,0084	0,0013	0,10
ЕПП	0,013	0,011	0,0028	0,0070	0,0003	0,0015	0,0075	0,0006	0,04

Дослідження показали, що в злитках переплавних процесів розподіл газів рівномірний. У злитку початкового металу відмічений підвищений вміст кисню в периферійних ділянках підприбуткової зони (до 0,015 %) і знижене - в тих же ділянках донної частини (до 0,006%). Усереднені дані за вмістом газів в злитках різних способів виробництва приведені в табл. 3.

Методи визначення вмісту неметалічних включень способом металографії та фізико-хімічним способом показали, що всі види рафінуючого переплаву забезпечують ефективно рафінування сталі за киснем. Його вміст в металі в результаті ЕШП знизився більш ніж в два рази, а при вакуумних переплавках - втричі.

Відносно рафінування сталі за азотом найбільш ефективним виявився ЕПП, при якому вміст цього елемента в металі знизився удвічі. При ВДП азот віддалився приблизно на 30%; а при ЕШП його видалення практично не спостерігалось.

У злитках переплавних процесів розподіл неметалічних включень був достатньо рівномірним. У злитку початкового металу забрудненість металу сульфідами зростає від периферії до осі і від донної частини до прибуткової. Оксидами найбільшою мірою були забруднені осьові об'єми підприбуткової частини злитка. Усереднені дані по забрудненості металу злитків різних способів виробництва приведені в табл. 4.

Таблиця 4 -

Забрудненість неметалічними включеннями сталі 15X2Г2СВА при різних способах виплавки

Спосіб виплавки	Число включень				Склад включень % до осаду	
	% (об.)			% мас.		
	загальне	оксиди	сульфіди		шпінелі	силікати
ЕДП	0,0705	0,0087	0,0616	0,0081	59,2	40,8
ЕШП	0,0152	0,0037	0,0115	0,0021	83,4	16,6
ВДП	0,0385	0,0006	0,0380	0,0043	32,9	67,1
ЕПП	0,0076	0,0027	0,0049	0,0013	38,8	61,1

З табл. 4 видно, що всі види рафінуючого переплаву забезпечили різке зниження забрудненості сталі неметалічними включеннями. Загальний вміст включень [% (об.)] знизився при ЕПП майже на порядок, при ЕШП - в 5 разів і при

ВДП - більш ніж удвічі. За ступенем очищення металу від оксидів переплавні процеси в порядку зменшення ефективності розташовуються в наступній послідовності: ВДП, ЕПП, ЕШП. При цьому звертає на себе увагу виключно низький вміст оксидів в металі ВДП, яке було підтверджено і повторними визначеннями. Враховуючи, що вміст кисню в металі всіх переплавних процесів має досить близькі значення, можна припустити, що фактичний вміст оксидів в металі ВДП вище зафіксованого. Ймовірно, частина оксидних включень знаходиться тут в дрібнодисперсному стані у складі сульфідної фази, якій в металі ВДП в 8 разів більше, ніж в ЕПП, і в 3,5 рази, чим в ЕШП.

Найбільш низький вміст сульфідів був зафіксований в металі ЕПП і ЕШП. Висока ефективність ЕШП відносно рафінування сталі за сульфідними включеннями досить добре відома. Що ж до ЕПП, то тут необхідно відзначити невідповідність між зафіксованою ефективністю рафінування сталі за сіркою і сульфідним включенням. Так, при зниженні вмісту сірки з 0,018% всього лише до 0,013% об'ємний відсоток сульфідів зменшився в результаті ЕПП більш ніж в 10 разів. Ймовірно, це значною мірою пов'язано з тим, що в металі ЕПП сульфідні включення присутні в надзвичайно дрібнодисперсному стані і майже не фіксуються. Такі включення, розміром менше 1 мкм і що важко піддаються підрахунку, були виявлені при збільшенні в 1000 разів.

Окрім зниження загального вмісту неметалічних включень в сталі в результаті різних видів рафінування переплаву змінюються їх розміри, форма, склад. Як правило, в початковому металі спостерігаються комплексні оксиди і окисульфідні включення складного складу розміром до 50 мкм і більше, зазвичай розташовані у вигляді достатніх крупних скупчень, а також евтектичні виділення сульфідів. У металі різних видів рафінування переплаву включення є відособленими виділеннями оксидів і одиничними виділеннями сульфідів, розміри яких зазвичай не перевищують 5 мкм.

Істотні зміни відбуваються в результаті переплаву у складі оксидів. В процесі ЕШП найповніше віддаляються силікатні включення і їх частка в загальній кількості оксидів різко знижується. Основним типом включень в металі ЕШП є найбільш глиноземисті включення, що важко видаляються. В результаті вакуумних переплавок найістотніше знижується вміст включень шинельної групи. Силікати при цих переплавках віддаляються менш успішно, і частка їх в загальній кількості включень зростає.

Таким чином, дослідження сталі в литому стані показало високу чистоту переплавленого металу за шкідливими домішками, газами і неметалічними включеннями і високу якість злитків переплавних процесів. Ці обставини зумовили високий рівень та ізотропію механічних властивостей металу.

Переходячи до оцінки якості прокатоного металу, перш за все слід привести характеристики зламів. У табл. 5 приведені механічні властивості 40-мм листів різних способів виробництва. Проби для визначення механічних властивостей відбиралися від верхньої і нижньої частин листа з середньої третини по ширині. Оскільки механічні властивості металу порівнюваних проб опинилися на одному рівні, в табл. 5 приведені тільки дані по пластичності і ударній в'язкості, які

змінювалися в широких межах.

Видно, що в результаті рафінування при різних видах переплаву рівень пластичності і ударної в'язкості металу істотно підвищився. Показники пластичності в подовжньому напрямі підвищилися більш ніж на 10%, в поперечному - на 20%, а у вертикальному подовженні збільшилися в 6 разів, а звуження поперечного перетину в середньому в 15 разів. Метал практично став ізотропним.

Таблиця 5 -

Механічні властивості 40-мм листів із сталі 15X2Г2СВА різних способів виплавки

Спосіб виплавки	Подовжні			Поперечні			Вертикальні	
	δ_5 , %	ψ , %	a_n , МДж/м ²	δ_5 , %	ψ , %	a_n , МДж/м ²	δ_5 , %	ψ , %
ЕДП	17,7	63,5	1,14	16,4	55,9	0,74	2,8	5,2
ЕШП	19,7	70,6	2,07	19,7	71,1	2,02	18,1	68,4
ВДП	19,4	70,2	2,05	19,2	70,9	1,98	17,9	67,9
ЕПП	20,1	71,2	2,16	20,8	71,8	2,11	18,7	69,5

Дослідження опірності сталі розповсюдженню тріщини проводили на поперечних ударних зразках типу Менаже з гострим надрізом та ініційованою тріщиною. Проби відбирали з середньої третини від головної частини листів. Від кожного листа випробовували по п'ять зразків. Випробування проводили в умовах динамічного вигину.

Робота руйнування зразків з тріщиною для початкового металу складала в середньому 0,34, для ЕШП 1,09; для ВДП 0,87 і для ЕПП 1,11 МДж/м². Таким чином, при ЕШП і ЕПП опірність сталі розповсюдженню тріщини підвищилася втричі, а при ВДП - більш ніж в два рази. Ймовірно, нижче значення роботи руйнування зразків з тріщиною для сталі ВДП пов'язане з підвищеним вмістом сульфідів в металі в порівнянні з іншими видами переплаву.

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

Найбільш шкідливим і небезпечним фактором при виконання даної роботи є електросталеплавильний цех. Тому в даному розділі розглядається захист від шкідливих і небезпечних чинників електросталеплавильного цеху (шуму, вібрації, підвищеної температури повітря, підвищеного рівня тепловиділення та ін.), зокрема, робота сталевара біля однофазної біфілярної електрошлакової печі типу У-436.

Висновки

1. Проаналізовано сучасний стан існуючих методів та способів поліпшення якості товстолистової сталі та визначені основні чинники, які впливають на якість сталі. Показано, що до основних дефектів листової сталі відносять (характеристики зламу) шиферність, розшарування, древовидність, дендридність і флокени.

2. Встановлено, що механічні властивості сталі 15X2Г2СВА після ЕШП

значно покращилися: ударна в'язкості металу збільшилася в 1,3...1,5 разів при $t = -40^{\circ}\text{C}$ та в 4...5 разів при $t = -70^{\circ}\text{C}$. Аналіз механічних властивостей листів із сталі 15Х2Г2СВА різних способів виплавки (ЕДП, ЕШП, ВДП, ЕПП) показав, що показники пластичності в подовжньому напрямі підвищилися більш ніж на 10%, в поперечному - на 20%, а у вертикальному подовженні збільшилися в 6 разів, а звуження поперечного перетину в середньому в 15 разів.

3. Дослідження вмісту домішкових елементів сталі 15Х2Г2СВА при різних способах виплавки показало, що в злитках переplавних процесів розподіл газів рівномірний. У злитку початкового металу відмічений підвищений вміст кисню в периферійних ділянках підприбуткової зони (до 0,015 %) і знижене - в тих же ділянках донної частини (до 0,006%).

4. Дослідження забрудненості неметалічними включеннями сталі 15Х2Г2СВА при різних способах виплавки показали, що найбільш низький вміст сульфідів був зафіксований в металі ЕПП та ЕШП: при зниженні вмісту сірки з 0,018% (при ЕШП) до 0,013% (при ЕПП) об'ємний відсоток сульфідів в результаті ЕПП зменшився більш ніж в 12 разів.

Список опублікованих магістрантом робіт

1. Банашук А.Г. Дослідження якості сталі марки 15Х2Г2СВА при різних способах виплавки / А.Г. Банашук, О.С. Воденнікова О.С. // Збірник наукових праць магістрантів кафедри МЧМ. Випуск 11. - Запоріжжя: ЗДІА, 2015.- С. 3035.

2. Банашук А.Г. Вдосконалення виробництва феросиліцію марки ФС-45 у закритих довідних печах / А.Г.Банашук, О.С.Воденнікова // Матеріали ХХ науково-технічна конференція студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Т I. /Запоріжжя: ЗДІА, 2015.- С. 3