

УДК 669.187.56

А.А. Гітуляр, аспірант

В.Р. Румянцев, доцент, к.т.н.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ, ЯКІ ОДЕРЖУЮТЬ ПІД ЧАС ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВЛЕННЯ

Запорізька державна інженерна академія

Рассмотрены и проанализированы различные методы улучшения качества нержавеющей стали в процессе их электрошлакового переплава. Указаны основные недостатки технологий получения указанных сталей, намечены пути оптимизации данных процессов.

Ключевые слова: нержавеющая сталь, электрошлаковый переплав, технологический процесс, методы улучшения качества стали, оптимальный состав флюсов

Розглянуто та проаналізовано різні методи поліпшення якості нержавіючих сталей у процесі електрошлакового переплавлення. Вказано головні недоліки технологій одержання зазначених сталей, намічено шляхи оптимізації цих процесів.

Ключові слова: нержавіюча сталь, електрошлакове переплавлення, технологічний процес, методи поліпшення якості сталі, оптимальний склад флюсів

There are considered and analyzed various methods of improving for the quality of stainless steels at electro-slag remelting. There are shown the main shortcomings of technologies for the production of mentioned steels, the ways for optimization of these processes are aimed.

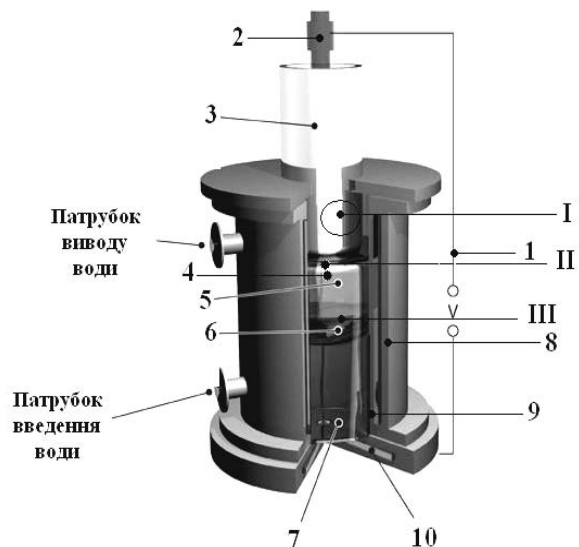
Keywords: stainless steel, electro-slag remelting, technological process, methods for improving of quality for the steel, the optimal composition of the fluxes

Металургійна галузь України є однією з провідних у країні. За обсягами виробництва сталі Україна займає восьме місце у світі та третє – в Європі. В зв'язку з цим вирішення проблеми поліпшення якості сталі, зниження енергоспоживання під час її одержання, впровадження новітніх металургійних технологій є першочерговим завданням розвитку металургії в країні [1].

Важливе місце серед існуючих способів одержання якісної сталі займає електрометалургія, зокрема метод електрошлакового переплавлення (ЕШП) [2], установку для реалізації якого наведено на рис. 1. Під час використання зазначеного методу є можливим одержання якісної легованої нержавіючої сталі.

До переваг зазначеного методу слід віднести [2,3]:

- однорідність структури зливка та його хімічного складу;
- відсутність шаруватості, усадкової раковини, пористості та зональної ліквіації;
- можливість регульованого зниження вмісту небажаних елементів;
- менші кількості і розміри неметалевих включень;
- загальне поліпшення пластичності, корозійної стійкості й ударної в'язкості;
- можливість збереження легуючих елементів від окиснення;



I-III - зони рафінування; 1 - трансформатор; 2 - електродотримач; 3 - електрод; 4 - краплі електродного металу; 5 - шлакова ванна; 6 - рідка металева ванна; 7 - зливоч; 8 - водоохолоджуваний кристалізатор; 9 - кірка твердого шлаку; 10 – водоохолоджуваний піддон

Рисунок 1 – Установка ЕШП та розміщення рафінувальних зон [2]

- значне поліпшення властивостей у поперечному напрямку зливка;
- поліпшення властивостей сталі за підвищеної температури;
- можливість корегування складу сталі шляхом використання відповідного флюсу;
- можливість управління напрямом і швид-

кістю твердіння металу;

- захист розплавленої сталі від атмосферного окиснення;

- високий вихід придатного металу [4,5].

За допомогою методу ЕШП частіше виплавляють сталі, які леговані хромом. Зазначені сталі є найбільш економічними щодо легування тому їх застосовують у різних галузях техніки як циндро- та жаростійкий матеріал. Залежно від структури хромисті сталі поділяють на мартенситні, мартенситно-феритні та феритні.

Серед мартенситних сталей найбільше використання мають сталі марок 1X13 і 2X13, що слугують конструкційним матеріалом для виготовлення турбін, які працюють за значних навантажень і підвищеної температури [6].

Враховуючи наявність нержавіючих сталей актуальним представляється виконання аналізу сучасних методів їх одержання з метою виявлення шляхів поліпшення технологічного процесу.

Зараз застосовують нижченаведені технології поліпшення якості сталі, яку одержують методом ЕШП:

- використання електродів, яких обертають;
- оптимізація якісного та кількісного складу флюсів.

До першої групи відносять метод поліпшення якості сталі та підвищення теплової ефективності електрошлакового переплавлення шляхом дії швидкості обертання електрода, якого витрачають [7], на процеси плавлення, транспортування та кристалізації металу.

Метод засновано на використанні методики фізичного «холодного» моделювання процесу плавлення електрода в області дії відцентрових сил із дослідженням гідродинаміки течії металу на торці електрода. Процес краплеутворення та характер руху крапель металу в шлаковій ванні дозволяє за лабораторних і промислових умов вивчати дію швидкості обертання електрода, що витрачають, на технологічні та енергетичні характеристики ЕШП, а також якість відлитого та деформованого металу.

Виявлено [8], що за рахунок дії відцентрових сил на плівку рідкого металу, досягають його периферійного сходу з електрода, що оплавляється, та розосередження теплових центрів у шлаковій і металевій ваннах. Обертання електрода забезпечує одержання його плоского торця та значної рівномірності товщини рідкої металеві плівки щодо поверхні плавлення, а також ефективне рафінування металу, якого переплавляють, від неметалевих включень. Підтверджено, що технологія з обертанням електрода до-

зволяє змінювати форму фронту кристалізації та посилити осьову спрямованість кристалів у зливку. Відзначено підвищення однорідності фізико-механічних властивостей металу в поздовжньому та поперечному напрямках зливка та велика рівномірність його хімічного складу. Електрошлакове переплавлення з обертанням електрода, якого витрачають, призводить до збільшення продуктивності установки приблизно на 40 % та зниження витрат електроенергії до 30 % на плавлення. Плоский торець електрода, що плавиться, дозволяє понизити кількість робочого флюсу на 10...15 %.

Недоліком таких технологій є відносно швидкий вихід з ладу деталей тримача електрода, якого обертають.

До другої групи методів поліпшення якості нержавіючих сталей відносять застосування фтористих флюсів та оптимізації їх якісного та кількісного складу.

Найбільшого поширення набуло електрошлакове переплавлення з метою глибокої десульфурізації, рафінування металу від неметалевих включень та одержання щільної відливої структури. Для його досягання розроблено ряд флюсів на базі систем фториду кальцію з термодинамічно міцними оксидами кальцію, алюмінію та магнію. Такі флюси характеризуються значною рафінуючою здатністю та мають комплекс фізичних і фізико-хімічних властивостей, що забезпечують стійкий режим переплавлення [9].

Флюс АНФ-6, що складається з 30 % оксиду алюмінію (Al_2O_3) та 70 % фториду кальцію (CaF_2), застосовують під час переплавлення сталі багатьох марок. Проте під час переплавлення нержавіючих сталей під зазначеним флюсом через високий вміст у ньому оксиду алюмінію відбувається суттєве відновлення зазначеного металу, що призводить до створення у переплавленому металі ряду дефектів («відколи», «шиферний злам» та ін.) [10].

Під час виробництва зварювальних флюсів як компоненти використовують оксиди кальцію та магнію, а також магнезитовий порошок і плавиківий шпат [11].

Є відомим зварювальний флюс АН-60, склад якого подано у табл. 1.

Таблиця 1 – Склад флюсу АН-60

Компонент	SiO_2	MnO	CaF_2	Al_2O_3	CaO	MgO
Вміст, %	42,5...46,5	36...41	5...8	до 5	3...10	0,5...3

Такий флюс характеризується низькою проникливістю для водню, а також комплексом фізичних і фізико-хімічних властивостей, що задо-

вольняють вимогам процесу електрошлакового переплавлення, проте значний вміст термодинамічно неміцного оксиду марганцю надає йому високої окиснювальної здатності, що робить неможливим його використання для переплавлення легованої сталі.

Окрім того, для одержання таких флюсів є потрібним плавиковий шпат – мінерал фториду кальцію, як і у флюсі для електрошлакового переплавлення [12], компоненти якого взято у наступному співвідношенні, ваг. %: 10...15 CaO ;

Таблиця 2 – Склад флюсу [13]

Компонент	MnO	CaF_2	CaO	Al_2O_3	SiO_2	MgO	TiO_2	Cr_2O_3
Вміст, %	36...41	30...50	12...18	12...18	5...9	3...7	3...7	3...5

Флюс такого складу має ті ж недоліки, що і вищезгаданий, хоча і має велику рафінуючу здатність.

Флюс АН-291 [4], склад якого наведено у табл. 3, характеризується значною адгезією до металу, внаслідок чого зливки мають погану поверхню. Тому зазначений флюс не отримав широкого поширення у практиці ЕШП.

Таблиця 3 – Склад флюсу [4]

Компонент	Al_2O_3	CaO	MgO	CaF_2
Вміст, %	30...45	20...28	17...25	10...20

Для електрошлакового переплавлення також використовують флюс АНФ-29 [14], склад якого подано у табл. 4.

Таблиця 4 – Склад флюсу [14]

Компонент	CaO	CaF_2	Al_2O_3	SiO_2
Вміст, %	35...42	30...40	12...18	12...18

Переплавлення сталі під наведеним флюсом дозволяє зменшити відновлення алюмінію, тобто знижує ураженість металу дефектами типу «відколи» та «шиферний злам», а також термічними тріщинами і т.д. Проте значний вміст оксиду кальцію призводить до надмірної гігроскопічності й ускладнює його зберігання, а також створює можливість підвищення вмісту водню у металі та появи дефектів типу «свищі» та «флокени» [15]. Окрім того, значний вміст зазначеного оксиду надає розплавленому флюсові високої електропровідності, тому процес переплавлення з ним характеризується значною витратою електроенергії.

Також використовують флюс, що складається з оксидів алюмінію (35...65 %), магнію (10...20 %) та фториду кальцію (25...55 %) [16]. Такий флюс застосовують для переплавлення сталі та сплавів із значним вмістом активних

10...15 MgO ; 2...7 діоксиду кремнію (SiO_2); решта – CaF_2 .

За вказаним вмістом фториду кальцію у флюсі та підвищеної рафінуючої здатності під час переплавлення з шлакового розплаву відбувається виділення до атмосфери фторидних сполучень, які негативно впливають на людський організм і живу природу.

Під час ЕШП використовують флюс [13], склад, якого наведено у табл. 2:

елементів, наприклад алюмінію, титану та ін.

Під час переплавлення з використанням такого флюсу досягають задовільних техніко-економічних показників. До його переваг слід віднести позбавлення від коштовних технологій підготовки кожного з компонентів флюсу, а також виключення необхідності у витратах, пов'язаних зі створенням умов транспортування та зберігання його окремо приготованих компонентів. Проте відбувається помітне відновлення алюмінію, що у ряді випадків спричинює зниження якості металу. Окрім того, не забезпечується потрібна якість поверхні зливок та процес супроводжується значними електровитратами.

Відомим є флюс, що використовують під час ЕШП сталей і сплавів [17], який містить склад, наведений у табл. 5.

Таблиця 5 – Склад флюсу [17]

Компонент	CaF_2	MgO	Al_2O_3
Вміст, %	40...60	20...45	10...25

У початковому стані флюс запропонованого складу може бути виконаним у вигляді продукту, переплавленого та подрібненого або гранульованого у рідкому стані до фракції 0,2...10 мм, відповідно до вимог технологічних умов на флюси ЕШП ТУ 14-1-165-72.

Зазначений флюс забезпечує вищу продуктивність і нижчу витрату електроенергії. Проте стан поверхні зливок, одержаних переплавленням з використанням такого флюсу погіршується із зростанням вмісту глинозему, а також збільшенням концентрації оксиду магнію та діоксиду кремнію.

Відомий флюс [18], що містить оксиди кальцію, кремнію, алюмінію та магнію, а також фторид кальцію, де деякі компоненти, зокрема оксиди кальцію, кремнію, алюмінію і частково ок-

сиду магнію, введено у вигляді регенованого доменного шлаку в межах 75...80 %. Його склад подано у табл. 6.

Таблиця 6 – Склад флюсу [18]

Компонент	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3
Вміст, %	30...38	30...36	до 30	6...10

Слід зазначити, що у деяких випадках може виявитися необхідність у дуже ретельному контролі вмісту окремих елементів, який існуючі методи не дозволяють якісно забезпечити. Тому необхідно вдосконалювати існуючі технології одержання якісних нержавіючих сталей методом ЕШП.

На наш погляд, представляється перспективною розробка технології поліпшення механічних властивостей нержавіючих сталей з використанням лужноземельних металів [19]. Такі методи різнобічно впливають на якість зазначених сталей, а саме на механічні властивості, особливо у поперечному щодо волокна напрямку, що сприяє суттєвому зниженню анізотропії властивостей. Завдяки даним методам поліпшення нержавіючої сталі в ЕШП було виявлено, що за-

значена сталь має щільність більшу, ніж у сталі, що виплавляють у звичайній дуговій печі. Поверхня зливка після застосування ЕШП є абсолютно рівною та не потребує механічної обробки перед куванням.

Висновки. Під час аналізу існуючих методів поліпшення якості нержавіючих сталей, одержаних методом електрошлакового переплавлення, встановлено:

1. Відомі методи поліпшення якості сталей мають ряд суттєвих недоліків, зокрема відносно швидкий вихід з ладу обладнання тримачів електродів, що обертаються; а також відсутність можливості ретельного контролю вмісту окремих елементів флюсів.

2. Вищезазначені методи, на нашу думку, потребують подальшого дослідження, коригування та модернізації. Було запропоновано дослідити коригування вмісту складових даного флюсу шляхом додавання лужноземельних металів та спостереження змінювань у технологічному процесі електрошлакового переплавлення у бік покращення даної марки сталі.

Бібліографічний список

1. **Крещановский, Н. С.** Модифицирование стали [Текст] / Н. С. Крещановский, М. Ф. Сидоренко. – М. : Металлургия, 1970. – 296 с. – Библиогр. : с. 286-296. – 2450 экз.
2. **Патон, Б. Е.** Электрошлаковый металл [Текст] / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар. – Киев : Наукова думка, 1981. – 680 с. – Библиогр. : с. 674-679. – 5400 экз.
3. **Латаш, Ю. В.** Электрошлаковый переплав [Текст] / Ю. В. Латаш, Б. И. Медовар. – М. : Металлургия, 1970. – 239 с. – Библиогр. : с. 231-237. – 2700 экз.
4. **Клюев, М. М.** Металлургия электрошлакового переплава [Текст] / М. М. Клюев, А. Ф. Каблуковский. – М. : Металлургия, 1969. – 256 с. – Библиогр. : с. 251-256. – 2500 экз.
5. **Медовар, Б. И.** Электрошлаковые печи [Текст] / Б. И. Медовар, Л. М. Ступак, Г. А. Бойко / под ред. Б. Е. Патона и Б. И. Медовара. – Киев : Наукова думка, 1976. – 414 с. – Библиография в конце каждого раздела. – 3700 экз.
6. **Глебов, А. Г.** Электрошлаковый переплав [Текст] / А. Г. Глебов, Е. И. Мошкевич. – 2 изд., переработ. и доп. – М. : Металлургия, 1985. – 342 с. – Библиогр. : с. 339. – 3070 экз.
7. **Казачков, А. А.** Электрошлаковый переплав [Текст] / А. А. Казачков, А. Д. Чепурной. – Ч. 1. – Мариуполь : Изд-во ПрГТУ, 1995. – 322 с. – Библиография в конце каждого раздела. – 300 экз.
8. **Чуманов, И. В.** Повышение тепловой эффективности электрошлакового переплава и качества металла путем воздействия на процессы плавления, транспортировки и кристаллизации вращением расходуемого электрода [Текст] : дис. д-ра техн. наук: 05.16.02 / Чуманов Илья Валерьевич. – Челябинск, 2002. – 345 с.
9. **Поволоцкий, Д. Я.** Электрометаллургия стали и ферросплавов [Текст]: учебник / Д. Я. Поволоцкий, В. Е. Рошин, М. А. Рысс и др.. – 2 изд., переработ. и доп. – М. : Металлургия, 1984. – 568 с. – Библиогр.: с. 567-568. – 5400 экз.
10. **ГОСТ 9087-81.** Флюсы сварочные плавные. Технические условия. – Изд-во стандартов, 1981. – 9 с.
11. **Гасик, М. И.** Теория и технология производства ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев, Б. И. Емлин. – М. : Металлургия, 1988. – 783 с. – Библиогр. : с. 774-778. – 4250 экз. – ISBN 5-229-00418-5.
12. **А. с. 258332 СССР, МПК С 22 В 9/10, С 21 С 5/56, С 21 С 5/52.** Флюс для электрошлакового переплава. 1979.
13. **А. с. 1765191 СССР, МПК С 21 С 5/54.** Флюс для электрошлакового переплава / В. И. Анисимов, А. И. Манаков, В. А. Рыбинцев, О. С. Карпов. – № 4767467/03. заявл. 11.12.89; опубл. 21.09.1992. Бюл. 36. 1992.
14. **Медовар, Б. И.** Электрошлаковый переплав [Текст] / Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш. – Киев. : Наукова думка, 1965. – 80 с. – 2300 экз.

15. **Морозов, А. Н.** Водовод и азот в стали [Текст] / А. Н. Морозов. – М. : Л. – Металлургия, 1968. – 283 с. – Библиогр. : с. 278-282. – 3500 экз.
16. **Дакуорт, У.** Электрошлаковый переплав [Текст] / У. Дакуорт, Д. Хойл. ; пер. с англ. А. Б. Парцевского. – М. : Металлургия, 1973. – 191 с. – Библиография в конце каждой главы. – 2700 экз.
17. **Пат. 1026443 Российская Федерация, МПК С 21 С 5/54.** Флюс для электрошлакового переплава / Д. Я. Поволоцкий, В. Е. Рошин, Л. Т. Королев, И. В. Никитина, И. Е. Косматенко, А. М. Рогов, А. Ф. Мирошкин, В. И. Сулацков ; заявители и патентообладатели Челябинский политехнический институт, Пермский машиностроительный завод. – №2868856/02. – Заявл. 14.01.1980 ; опубл. 24.03.1982.
18. **Пат. 2148089 Российская Федерация, МПК С 21 С 5/54, С 21 С 5/06, С 22 В 9/10.** Флюс для электрошлакового переплава / В. М. Колокольцев, В. П. Анцупов, А. А. Морозов, К. Н. Вдовин, в. П. Чернов, С. К. Носов ; патентообладатель В. М. Колокольцев. – № 98117046/02. – Заявл. 16.09.1998 ; опубл. 27.04.2000.
19. **Румянцев, В. Р.** Улучшение качества нержавеющей стали 2Х13 путем использования щелочноземельных металлов при электрошлаковом переплаве [Текст] / В. Р. Румянцев, А. А. Гутиляр // Матеріали ХХІ наук.-техн. конф. ЗДІА «Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості». – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2016. – Т. I. – С. 26.

Стаття надійшла до редакції 30.03.2016 р.
Рецензент, проф. С.А. Гаврилко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>