

ЕЛЕКТРОШЛАКОВА ПЕРЕРОБКА СТРУЖКИ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ X18H10T

О.В. Веретільник, Ф.К. Біктагіров

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: biktagirov@paton.kiev.ua

Розроблено технологію рециклінгу небрикетованої стружки сталі X18H10T способом електрошлакової тигельної плавки. Переробку здійснено шляхом плавки стружки разом з витратним металевим електродом із брухту металу тієї ж марки. Показано, що за такої плавки метал рафінується від сторонніх домішок, має низький вміст сірки і газів, втрати на вигар не перевищують 2 мас. %, а його хімічний склад відповідає вимогам на сталь X18H10T. Механічні властивості металу плит товщиною 65...100 мм, отриманих електрошлаковою плавкою стружки і брухту нержавіючої сталі X18H10T, істотно перевершують вимоги технічних умов для литих товстостінних виробів. Бібліогр. 6, табл. 4, рис. 6.

Ключові слова: стружка, нержавіюча сталь, електрошлакова тигельна плавка, рафінування, якість

Вступ. У різних галузях промисловості широко застосовуються нержавіючі сталі, обсяг світового виробництва яких нині сягає понад 10 млн т на рік. Серед даного класу металів основну частку становлять хромонікелеві сталі, у тому числі стабілізовані титаном, серед яких найбільш поширеною є сталь марки X18H10T. При виготовленні з нержавіючої сталі різних виробів утворюється велика кількість відходів, що містять сумарно близько 30 % хрому та нікелю. Тому під час переробки таких відходів важливо мінімізувати безповоротні втрати металу з максимальним збереженням цінних легуючих елементів.

Якщо переробка відходів у вигляді кускового брухту не викликає труднощів, то переробка стружки пов'язана з її низькою насипною масою, малою товщиною та забрудненістю сторонніми домішками [1]. Тому для зменшення втрат на вигар і полегшення умов плавки у широко поширених у металургії дугових та індукційних печах стружку необхідно попередньо брикетувати, а це вимагає створення відповідного обладнання і додаткових трудо- та енерговитрат. У той же час, завдяки порівняно невеликій товщині стружки, одним з ефективних способів її переробки в небрикетованому вигляді може бути електрошлакова плавка, коли метал плавиться в товщі перегрітого рідкого шлаку [2, 3]. Серед різних видів реалізації процесу електрошлакової плавки стружки найбільш підходящим для цього є спосіб електрошлакової тигельної плавки (ЕШТП) [4, 5].

Методика експериментів. Для здійснення електрошлакового процесу та нагріву шлакової ванни до необхідних температур використовується спеціальний струмопідвод — витратний або невитратний електрод. Стосовно стружки з низь-

ковуглецевої нержавіючої сталі через небезпеку науглецювання металу використання для струмопідводу графітованих електродів є небажаним. Застосування металевих невитратних електродів тієї чи іншої конструкції пов'язане зі значними витратами тепла на їх охолодження (до 40 % від виділеного в шлаці). Крім того, такі електроди мають обмежену стійкість внаслідок розчинення зануреної в шлак їх частини (наконечника) і забруднення металу, що переплавляється, матеріалом, з якого виготовлений наконечник. Тому при переробці стружки нержавіючої сталі типу X18H10T способом ЕШТП виникає необхідність використання витратного металевого електрода, який може бути виготовлений з різного за розмірами кускового брухту тієї ж марки.

Для визначення можливостей ЕШТП нержавіючої стружки було проведено експериментальні плавки за схемою, показаною на рис. 1. Як плавильну ємність використовували керамічний тигель місткістю до 120 кг рідкого металу (рис. 2). Процес переробки стружки здійснювався наступним чином. За допомогою витратного електрода масою близько 60 кг, отриманого зварюванням кускових відходів (рис. 3), в тиглі наводили шлакову ванну з флюсу АН-295 з необхідними добавками і після повного розплавлення шлаку і досягнення необхідної температури шлаку в тигель періодично подавали стружку, котра плавилась у товщі шлакового розплаву. Після повного сплавлення витратного електрода накопичений в тиглі рідкий метал зливали разом зі шлаком в круглу виливницю або прямокутну форму для отримання зливків діаметром 200 мм або плоских заготовок у вигляді плит розмірами 360×400×65...100 мм (рис. 4).

О.В.Веретільник — <https://orcid.org/0000-0002-1056-0277>, Ф.К. Біктагіров — <https://orcid.org/0000-0001-7843-4261>

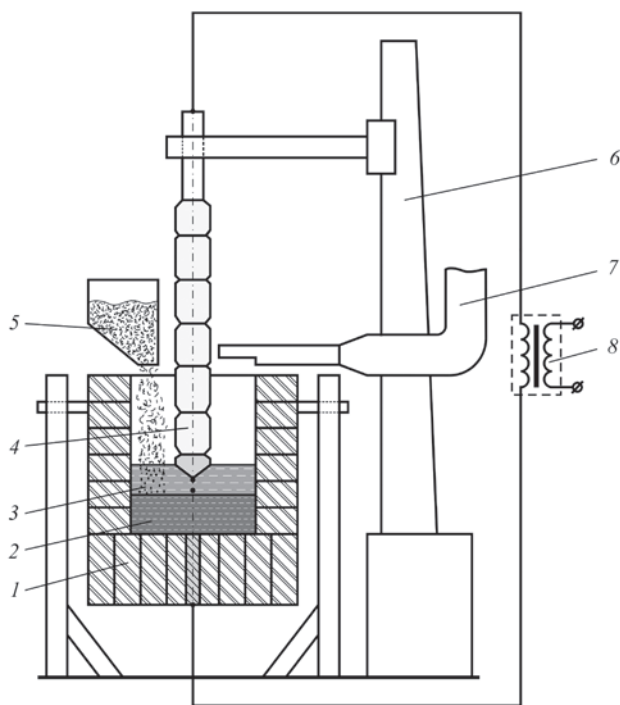


Рис. 1. Схема переробки нержавіючої стружки способом електрошлакової тигельної плавки: 1 — тигель; 2 — металева ванна; 3 — шлакова ванна; 4 — витратний металевий електрод; 5 — бункер із шихтою; 6 — направляюча колона з пересувним механізмом; 7 — патрубок системи газовідведення; 8 — джерело живлення

Результати та їх обговорення. Узагальнені результати витрат електроенергії (q) та продуктивності (P) під час проведення експериментів наведено у табл. 1.

Після уточнення параметрів технологічного процесу, таких як склад і температура шлаку, напруга на шлаковій ванні, струм плавки та ін., масова частка стружки складала близько 50 % від загальної маси металу, що переплавлявся. При цьому необхідно враховувати, що в



Рис. 2. Тигель ємністю 120 кг для проведення ЕШТП стружки

стартовий період при наведенні шлакової ванни стружка не подавалася для плавки. У цей період сплавляється приблизно 25...30 мас. % металевого електрода. Наприклад, у плавці 7 стружку почали подавати у піч, коли сплавилось 18,5 кг металевого електрода з вихідних 59,6 кг. Потім при плавці 41,1 кг електрода, що залишився, було переплавлено 60,2 кг стружки або близько 60 % від загальної кількості металу, що переплавлявся в період подачі стружки. Тобто можна збільшити ступінь використання стружки для переробки застосовуючи такі технологічні прийоми, як рідкий старт, або спочатку використовувати для наведення шлакової ванни невитратний електрод з подальшою його заміною на металевий, який переплавлятиметься.



Рис. 3. Зовнішній вигляд витратних електродів з нержавіючої сталі для проведення електрошлакової тигельної плавки



Рис. 4. Плоска заготовка та круглий зливок, отримані з лому нержавіючої сталі

Згідно з отриманими даними, при переробці в розглянутій електрошлаковій тигельній печі стружки нержавіючої сталі в кількості 49...51 % від загальної маси плавки питома витрата електроенергії (q) становить у середньому 0,54 кВт·год/кг, а продуктивність переплаву (P) — 148 кг/год. Аналіз різних способів переробки сталевих стружок показує, що при більш високій продуктивності витрата електроенергії при ЕШТП знаходиться на рівні аналогічного показника при індукційній тигельній плавці [6].

При ЕШТП плавка стружки відбувається у шарі шлаку без контакту з атмосферою. Тому втрати на вигар мінімальні і становлять 1...2 % за рахунок вигорання сторонніх домішок і залишків мастильно-охолоджувальної рідини. При електрошлаковій плавці відходів титановмісної нержавіючої сталі через обмінні реакції між металом і шлаком відбувається окислення титану. Для забезпечення у виплавленому металі необхідного вмісту титану необхідно або виключити його окислення, або компенсувати втрати. У проведених експериментальних плавках були досліджені різні технологічні прийоми, такі як коригування складу шлаку введенням оксиду титану, розкислення шлаку алюмінієм та долегування металу феротитаном або титановою стружкою.

Таблиця 2. Хімічний склад металу, мас. %

Заготовка	Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr	Ti	S	P	Cu
Зливков діаметром 200 мм, $h = 200$ мм	основа	0,085	0,61	1,03	11,2	16,9	1,21	0,005	0,034	0,24
Зливков діаметром 200 мм, $h = 400$ мм	—»—	0,073	0,60	1,09	10,1	17,3	0,79	0,005	0,035	0,23
Зливков діаметром 200 мм, $h = 425$ мм	—»—	0,074	0,52	1,38	11,5	17,4	0,93	0,004	0,032	0,34
Плита 1, 360×400×65	—»—	0,10	0,58	1,34	9,2	17,5	0,57	0,004	0,024	0,29
Плита 2, 360×400×100	—»—	0,09	0,53	0,90	10,1	17,5	0,65	0,004	0,023	0,20
Плита 3, 360×400×80	—»—	0,08	0,51	0,99	9,6	17,5	0,58	0,005	0,024	0,18
12X18H10T ДСТУ 12344:2005	—»—	до 0,12	до 0,8	до 2,0	9...11	17...19	0,5–0,7	до 0,02	до 0,035	до 0,3

Таблиця 1. Показники ЕШТП стружки нержавіючої сталі

Плавка	Маса металу, кг		q , кВт·год/кг	P , кг/год
	Електрод	Стружка		
1	52,1	10,6	0,81	115,3
2	69,5	18,5	0,78	121,5
3	62,3	59,4	0,54	149,6
4	58,6	60,1	0,56	152,1
5	61,0	62,2	0,52	155,5
6	57,5	55,8	0,58	141,0
7	59,6	60,2	0,55	145,4
8	60,3	59,3	0,53	145,0

Примітка. Питома витрата електроенергії розрахована без урахування втрат у короткій мережі та джерелі живлення.

У результаті була відпрацьована технологія і при отриманні придатних заготовок (плит) вміст титану, як і інших елементів, був в межах, що відповідають технічним умовам на нержавіючу сталь марки Х18Н10Т (табл. 2).

Привертає увагу низький вміст сірки (0,004...0,005 %) в металі електрошлакової виплавки (табл. 2), а також кисню і водню (табл. 3). Це є результатом рафінуючої та захисної дії шлаку.

З плит, отриманих при переробці брухту та стружки нержавіючої сталі, після стандартної термічної обробки було відібрано зразки для механічних випробувань. Як видно з наведених у табл. 4 даних,

Таблиця 3. Вміст газів у металі зразків, ppm

Плавка Елемент	1	2	3	4	5	6	7	8
Кисень	43,0	39,0	33,0	48,0	32,0	33,0	36,0	44,0
Водень	3,5	2,9	3,9	4,1	4,2	3,0	4,2	4,0

Таблиця 4. Механічні властивості металу

Плита	$T_{\text{випр.}}, ^\circ\text{C}$	Границя плинності ($\sigma_{0,2}$), МПа	Тимчасовий опір розриву (σ_b), МПа	Відносне подов- ження (δ), %	Відносне звуження (ψ), %	Ударна в'язкість (KCU), кДж/см ²
1	20	230...232	528...542	61...63	69...70	181...842
2	—»—	231...239	517...527	61...71	71...73	176...197
3	—»—	236...249	551...597	63...64	69...77	261...273
ТУ на поковки з корозійно- стійких сталей і сплавів	—»—	196	510	38	52	—
ДСТУ 8781:2018 Виливки зі сталі	—»—	—»—	441	25	32	60



Рис. 5. Ніж для зняття грата

за всіма показниками механічні властивості металу суттєво перевищують вимоги для литих виробів товщиною до 100 мм (ДСТУ 8781:2018) та знаходяться на рівні вимог, що висуваються до товстостінних поковок. Це свідчить про високу якість металу ЕШТП, що досягається як за рахунок його рафінування, так і за рахунок утеплення верхньої частини заготовки шлаком і створення умов затвердіння, які багато в чому виключають утворення в литій заготовці дефектів усадкового і ліквідаційного походження.

З дослідно-промислової партії плоских литих заготовок сталі Х18Н10Т, отриманих при електрошлаковій переробці стружки, виготовлені ножі (рис. 5) для зняття грата при контактнo-стиковому зварюванні рейок (рис. 6). Ножі були поставлені на рейкозварювальні машини К922, К930 та К950 виробництва ДП ІЦЗТ «НТК ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ».

Виконані дослідження показують, що технологія переплаву стружки нержавіючої сталі в



Рис. 6. Вид грата після контактнo-стикового зварювання рейок електрошлаковій тигельній печі є економічно доцільною, особливо для отримання нестандартних литих заготовок високої якості. Підприємства, що спеціалізуються на виготовленні виробів з нержавіючої сталі, можуть використовувати спосіб ЕШТП для переробки стружки, що утворюється, з поверненням отриманого металу в основне виробництво.

Висновки

1. Розроблено технологію рециклінгу небрикето-ваної стружки нержавіючої сталі Х18Н10Т спосо-бом комбінованої плавки з витратним металевим електродом в електрошлаковій тигельній печі.
2. При плавці в тигельній печі (120 кг) кіль-кість перероблюваної стружки становить 50 % від загальної маси металу, що переплавляється. Середня питома витрата електроенергії становить

0,54 кВт·год/кг, а продуктивність переплаву — 148 кг/год, втрати на вигар менше 2 %.

3. Виплавлена з відходів сталь X18N10T має низький вміст сірки та газів, а її хімічний склад відповідає вимогам на метал даної марки.

4. Механічні властивості металу литих плит товщиною до 100 мм, отриманих електрошлаковою плавкою стружки та брухту нержавіючої сталі X18N10T, суттєво перевищують вимоги технічних умов для товстостінних литих виробів.

Список літератури

1. Терлецкий С.В. (2005) О некоторых проблемах переработки стружки в современных дуговых печах. *Литье и металлургия*, **3**, 76–78.
2. Жеребцов С.Н. (2012) Применение технологии электрошлакового переплава стружки высоколегированных сталей и сплавов для получения мерной заготовки. *Электрометаллургия*, **4**, 32–34.
3. V.V. Satya Prasad, A. Sambasiva Rao, U. Prakash et al. (1996) Recycling of superalloy scrap through electro slag remelting. *ISIJ Inter.*, **1**, 1459–1464.
4. Веретільник О.В., Біктагіров Ф.К., Шаповалов В.О. та ін. (2020) Технології переробки металевої стружки. *Сучасна електрометалургія*, **2**, 31–38. DOI: <https://doi.org/10.37434/sem2020.01.06>
5. Biktagirov F.K., Veretilnyk O.V., Shapovalov V.O. et al. (2023) Electroslag processing of high-temperature alloy

shavings. *AIST Transact.*, **20(9)**, 200–203. DOI: <https://doi.org/10.33313/TR/0923>.

6. Біктагіров Ф.К., Веретільник О.В., Шаповалов В.О. та ін. (2021) Порівняльні показники різних способів переробки стружки високолегированих сталей і сплавів. *Сучасна електрометалургія*, **4**, 11–15. DOI: <https://doi.org/10.37434/sem2021.04.01>

References

1. Terletsy, S.V. (2005) About some problems of shavings processing in modern arc furnaces. *Litio i Metallurgiya*, **3**, 76–78 [in Russian].
2. Zherebtsov, S.N. (2012) Application of the electroslag shavings remelting technology of high-alloy steels and alloys to produce dimensional workpieces. *Elektrometallurgiya*, **4**, 32–34 [in Russian].
3. Satya Prasad, V.V., Sambasiva Rao, A., Prakash, U. et al. (1996) Recycling of superalloy scrap through electro slag remelting. *ISIJ Inter.*, **1**, 1459–1464.
4. Veretilnyk, O.V., Biktagirov, F.K., Shapovalov, V.O. et al. (2020) Metal shaving processing technologies. *Suchasna Elektrometal.*, **2**, 31–38 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.37434/sem2020.01.06>
5. Biktagirov, F.K., Veretilnyk, O.V., Shapovalov, V.O. et al. (2023) Electroslag processing of high-temperature alloy shavings. *AIST Transact.*, **20(9)**, 200–203. DOI: <https://doi.org/10.33313/TR/0923>
6. Biktagirov, F.K., Veretilnyk, O.V., Shapovalov, V.O. et al. (2021) Comparative indicators of various methods of shavings processing of high-alloy steels and alloys. *Suchasna Elektrometal.*, **4**, 11–15 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.37434/sem2021.04.01>

ELECTROSLAG PROCESSING OF Kh18N10T STAINLESS STEEL SHAVINGS

O.V. Veretilnyk, F.K. Biktagirov

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: biktagirov@paton.kiev.ua

The technology of recycling non-briquetted shavings of Kh18N10T steel by the method of electroslag crucible melting has been developed. Processing was carried out by joint melting of shavings with a consumable metal electrode from scrap metal of the same grade. It is shown that during such melting the metal is refined from extraneous impurities, has a low content of sulfur and gases, metal burning losses do not exceed 2 wt.%, and its chemical composition meets the requirements for Kh18N10T steel. Mechanical properties of metal plates with a thickness of 65...100 mm, obtained by electroslag melting of shavings and scrap of Kh18N10T stainless steel, significantly exceed the requirements of the technical conditions for cast thick-walled products. 6 Ref., 4 Tabl., 6 Fig.

Keywords: shavings, stainless steel, electroslag crucible melting, refining, quality

Отримано 05.03.2024

Отримано у переглянутому вигляді 21.06.2024

Прийнято 11.09.2024



Учені знайшли спосіб з'єднати метал і дерево без клею

Дослідники з технічного університету Граца розробили інноваційний метод з'єднання деревини з металами і полімерами без використання клею або гвинтів, застосовуючи технології 3D-друку та ультразвукового зварювання.

Другий метод використовує ультразвукове зварювання, за якого високочастотна вібрація викликає тертя і тепло, плавлячи поверхню полімеру, який потім проникає в пори деревини. Це дає змогу створити стабільне з'єднання, що ґрунтується на механічному зчепленні та адгезії.

<https://techno.nv.ua/ukr/innovations/ucheni-znayshli-sposib-z-yednati-metal-i-derevo-bez-kleyu-50446673.html>