

масштабного фактору, що проявляється в утворенні різних неоднорідностей, недосконалостей кристалічної будови, ліквідації тощо, що приводять до значного зниження механічних властивостей. Зі збільшенням товщини виливка показники міцності знижуються, а при товщині від 25 мм до 45 мм стабілізуються та майже не відрізняються. Відносно видовження в міру зростання ступеня феритизування металевої основи спочатку збільшується, досягаючи максимуму, і далі у виливках товщиною 30 та 45 мм знижується. Зазначений характер зміни механічних властивостей високоміцного чавуну пояснюється наступним чином. Початково, коли з підвищенням товщини стінки виливка підвищується частка фериту, а форма вкраплень графіту відрізняється незначно, зміна механічних властивостей визначається співвідношенням структурних складових (фериту та перліту) в металевій основі. При подальшому збільшенні товщини стінки виливка сповільнюється феритизування матриці, посилюється вплив масштабного фактору і одночасно проявляється вплив зниження ступеню сфероїдизування графіту.

Таким чином, встановлено, що найбільш раціональні можливості високоміцного чавуну, як конструкційного матеріалу, реалізуються у виливках з товщиною стінок від 10 мм до 30 мм, при кристалізації яких формується однорідна структура з високим ступенем сфероїдизування графітових вкраплень, що забезпечує оптимальне співвідношення показників міцності σ_B та пластичності δ .

**Веретільник О.В., Біктагіров Ф.К., Шаповалов В.О., Гнатушенко О.В.,
Ігнатов А.П., Барабаш В.В.**

(ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ)

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЛАВКИ ДЛЯ
ПЕРЕРОБКИ СТРУЖКИ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ**

E-mail: VeretilnykOlexandr@gmail.com

Відходи найпоширеніших конструкційних металів, якими є сталь та сплави на залізній та нікелевій основі, у вигляді шматкового брухту практично повністю та досить ефективно переробляються шляхом переплаву в електродугових (ДСП)

або індукційних тигельних печах (ІТП). Переробка дрібного брухту у вигляді стружки ускладнюється через її малу насипну щільність, наявність на поверхні оксидної плівки та залишків мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), а також підвищену забрудненість сторонніми домішками [1].

Для переплаву традиційними методами стружку необхідно брикетувати з метою полегшення транспортування, завантаження в плавильну піч та здійснення процесу плавки. З точки зору ресурсозбереження особливий інтерес викликає стружка, яка містить у своєму складі дорогі легуючі елементи – хром, нікель, вольфрам, молібден та інші. Однак стружка високолегованих сталей та сплавів через високу міцність і пружність важко піддається холодному пресуванню. Отримання з неї міцних брикетів потребує нагрівання до пластичного стану, що пов'язано зі створенням відповідного обладнання та додатковими енергетичними витратами. Крім того, навіть при плавці брикетованої стружки в індукційній печі обмежені можливості рафінування металу, а при електродуговій плавці відбуваються значні втрати на вигар легуючих елементів. У зв'язку з вище зазначеним ведуться розробки інших, більш ефективних, ніж плавка в ДСП та ІТП, способів і технологій переробки подібних некомпактних (дискретних) металевих відходів.

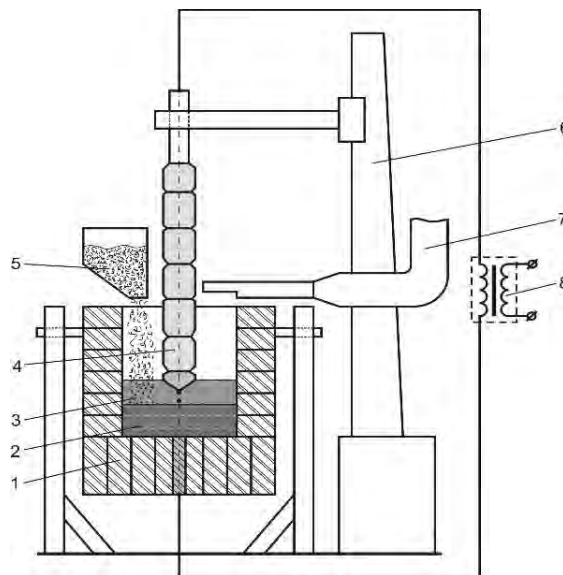
Однією з таких, як свідчить аналіз публікацій щодо даного питання, є електрошлаковий переплав небрикетованої металевої стружки [2-4]. Зважаючи на те, що стружка має незначну товщину, вона швидко плавиться при попаданні в рідкий шлак, що має температуру на 100-150 °С вище за температуру плавлення металу.

Із різновиду електрошлакових технологій для переплаву стружки найбільш прийнятною є електрошлакова тигельна плавка (ЕШТП) [5]. В цьому випадку електрошлаковий процес здійснюється в футерованій вогнетривкою цеглою плавильній ємності (тиглі), де в товщі шлаку відбувається плавлення металу і накопичення його в рідкому вигляді на дні тигля. Після закінчення процесу плавки метал разом зі шлаком зливається в ту чи іншу форму з отриманням зливка або литої заготовки необхідної конфігурації. Перевагою ЕШТП, крім

рафінування стружки шлаком від забруднюючих її небажаних домішок, є можливість активного проведення окислювально-відновних процесів для отримання металу необхідного хімічного складу.

З метою уточнення можливостей та техніко-економічних показників були проведені дослідні плавки з переробки стружки наведеним вище способом. У дослідженнях використовувалася стружка жароміцних сплавів на нікелевій основі ХН70ВМТЮФ (ЭИ 617) та ХН75МБТЮ (ЭИ 602) та нержавіючої сталі Х18Н10Т, що містять у своєму складі в значній кількості нікель та хром, а також вольфрам, молібден, ніобій, ванадій та титан.

Через низький вміст у цих металах вуглецю виключається використання графітованих електродів у якості струмопідвідних елементів до шлакової ванни. Тому при переробці стружки вказаних сплавів використовувалися витратні металеві електроди отримані зварюванням різних за розмірами шматків відповідного металу та подальшою їх плавкою в електрошлаковій тигельній печі одночасно зі стружкою тієї ж марки. Схематично цей процес показаний на рис. 1.



1 – тигель; 2 – рідкий метал; 3 – шлакова ванна; 4 – витратний металевий електрод; 5 – металева стружка; 6 – колона з механізмом переміщення електроду; 7 – газовідвід; 8 – джерело живлення

Рис. 1. Схема електрошлакової тигельної плавки стружки

Дослідні плавки проводили в тиглі перетином 230x230 мм, розрахованому на накопичення до 120 кг рідкого металу. Спочатку за допомогою витратного електроду з флюсу АН-295 наводилася шлакова ванна висотою 50-60 мм та нагрівалась до необхідної температури. Потім в тигель періодично подавалася стружка. Після повного розплавлення витратного електроду накопичений в тиглі рідкий метал разом зі шлаком зливався у виливницю або прямокутну форму з отриманням круглих злитків діаметром 200 мм або плоских заготовок у вигляді плит розмірами 360x400x65...100 мм.

Відповідно до отриманих результатів за наведеною схемою плавки кількість стружки, що переплавлялась, становила 45-55% від загальної маси металу, який переплавлявся (табл. 1). Проте, якщо відняти масу витратного електроду, який плавився також і в період наведення шлакової ванни, а це 12-15 кг (для електроду вагою 60 кг), то кількість стружки досягає 70% від загальної маси металу, що переплавляється за цей час. Тому, використовуючи «рідкий старт» або наведення шлакової ванни за допомогою невитратного електроду і подальшої його заміни на витратний, можна істотно підвищити ступінь залучення стружки на переробку.

Таблиця 1 – Показники ЕШТП стружки

№ п/п	Сплав	Маса металу, кг		q, кВт·год/кг	P, кг/год
		електрод	стружка		
1	ЭИ617	39,1	35,5	0,60	145,6
2		61,0	56,4	0,48	170,5
3	ЭИ602	30,5	25,8	0,58	131,0
4		59,6	54,2	0,55	141,4
5		60,0	56,3	0,53	145,0
6	Х18Н10Т	62,3	59,4	0,54	149,6
7		58,6	60,1	0,56	152,1
8		61,0	62,2	0,52	155,5
9		57,5	55,8	0,58	141,0
10		59,6	60,2	0,55	145,4
11		60,3	59,3	0,53	145,0

Примітка. Питома витрата електроенергії визначалася розрахунковим шляхом за даними напруги на шлаковій ванні та сили струму плавки.

Розрахункова питома витрата електроенергії (q) за даними потужності, що підводиться до шлакової ванни без урахування витрат у джерелі живлення та короткій мережі, при одночасному плавленні в електрошлаковій тигельній печі витратного електрода і стружки становить у середньому 0,54 – 0,55 кВт•год/ кг. А продуктивність переплаву (P) 140-150 кг/годину. Ці показники близькі до показників індукційної тигельної плавки, що широко застосовується для переробки металевих брухту.

Плавка стружки при ЕШТП відбувається в шарі рідкого шлаку без контакту з навколишньою атмосферою, тому практично немає втрат на вигар і хімічний склад отриманого металу відповідає складу металу, який подається на плавку. Виняток становлять лише високоактивні елементи, які можуть відновлювати компоненти шлаку та переходити з металевої фази в шлакову. Такими металами, стосовно даних досліджень, є титан і алюміній.

Флюс АН-295, що використовувався у проведених експериментах, містить близько 50% Al_2O_3 . Це забезпечує високу активність Al_2O_3 у шлаку, завдяки чому при плавлі жароміцних сплавів не відбувається втрата алюмінію з металу. Що стосується титану, то для забезпечення у виплавленому металі необхідного його вмісту було досліджено різні технологічні прийоми, такі як коригування складу шлаку введенням оксиду титану, розкислення шлаку алюмінієм та долегування металу феротитаном або титановою стружкою.

У результаті була відпрацьована технологія, і вміст титану та інших елементів, як у жароміцних сплавах, так і нержавіючій сталі, були в межах, що відповідають технічним умовам на відповідні марки металу (табл. 2).

Отримані заготовки, внаслідок утворення при розливанні на внутрішній поверхні форми шлакового гарнісажу, не мають зовнішніх дефектів, а відріз головної частини мінімальний завдяки її утепленню шлаком.

Внутрішня будова отриманих злитків і заготовок щільна при високій чистоті металу за неметалевим включенням. Підтвердженням цього є результати механічних випробувань металу литих плоских заготовок у вигляді плит розмірами 360x400x65...100 мм із сталі X18H10T. За всіма показниками механічні

властивості металу істотно перевищують вимоги для литих виробів товщиною до 100 мм і перебувають на рівні вимог до товстостінних поковок.

Таблиця 2 – Хімічний склад жароміцних сплавів

Метал		Вміст, % мас.												
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Ti	Al	W	Mo	Nb	Fe	S	P
ЭИ602	ЕШТП	0,09 0,10	0,45 0,65	0,30 0,38	74,6 75,8	19,6 20,4	0,41 0,55	0,56 0,66	0,01 0,02	1,7- 2,1	0,85 1,2	0,3- 1,0	0,006 0,007	0,010 0,012
	ГОСТ 5632-72	<0,1	<0,8	<0,4	68,5 77,6	19- 22	0,35 0,75	0,35 0,75		1,8- 2,3	0,9- 1,3	<3,0	<0,12	<0,12
ЭИ617	ЕШТП	0,10 0,11	0,6- 0,7	9,2- 0,4	66,0 72,1	14,1 15,5	2,0- 2,1	1,75 1,95	6,1- 6,6	2,20 2,8	V= 0,3- 0,35	1,5- 3,5	0,005 0,008	0,12- 0,14
	ГОСТ 5632-72	<0,12	<0,7	<0,5	61,5 76,4	13-16	1,8- 2,3	1,7- 2,3	5,0- 7,0	2,0- 4,0	V=0,1 -0,5	<5,0	<0,12	<0,015
Х18Н10Т	ЕШТП	0,09 0,10	0,5- 0,6	1,0- 1,3	9,6- 10,5	17,3 17,8	0,55 0,75	---	----	----	---	осн.	0,004 0,005	0,018 0,032
	ГОСТ 5632-72	До 0,10	До 0,8	До 2,0	9- 11	17- 19	5С- 0,7	---	---	---	---	осн.	До 0,2	До 0,035

Виконані дослідження показують, що технологія переробки стружки високолегованих сталей і сплавів методом електрошлакової тигельної плавки є економічно доцільною, особливо для отримання нестандартних литих заготовок високої якості. А підприємства, де у великій кількості утворюється стружка, можуть її переробляти на місці з поверненням отриманого металу на основне виробництво.

Література:

1. Кукуй Д.М., Емельянович И.В., Петровский В.П. и др. (2009) Опыт утилизации металлической стружки. Литье и металлургия, 1, 47-50.
2. Волков А.Е., Шалимов Ал. Г. (1989) Производство легированной стали методом электрошлакового переплава стружки. Сталь, 12, 27-29.

3. Молдован Г.А., Вишневыский А.В., Заводовский В.К., Олейниченко В.И. (1975) Выплавка шихтовых слитков способом ЭШП из высоколегированной стали. Проблемы специальной электрометаллургии, 1, 45-47.

4. Кочкин С.В. (2015) Разработка технологии переработки металлической стружки методом электрошлакового переплава. Современные научные исследования и инновации, 6, Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/06/53989>.

5. Веретільник О.В., Біктагіров Ф.К., Шаповалов В.О. та інші. (2020) Технології переробки металеві стружки. Сучасна електрометалургія, №2, 31-38.

Волошко С.М., Бурмак А.П., Франчік Н.В., Могилко В.В.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

**ВПЛИВ КОМБІНОВАНОГО ТЕРМІЧНОГО ТА УЛЬТРАЗВУКОВОГО
УДАРНОГО ВПЛИВУ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВИЙ СКЛАД СТАЛІ 40X13**

E-mail: abyrmak@gmail.com

Формування модифікованих поверхневих шарів металевих матеріалів методами інтенсивної пластичної деформації (ІПД) є актуальним і широко досліджуваним напрямом інженерії поверхні, оскільки руйнування матеріалів суттєво залежить від шорсткості та механічних властивостей поверхні.

Сталь 40X13 відноситься до нержавіючих, корозійностійких сталей мартенситного класу. Дана сталь є поширеним матеріалом у різних галузях машинобудування. Її використовують для виготовлення більшості сучасних деталей машин, елементів конструкцій та технологічного інструменту. Такі вироби працюють в умовах циклічних навантажень, під впливом окисних процесів, а також абразивних частинок [1]. При цьому максимальні пошкодження та інтенсивне зношування локалізовані у поверхневому робочому шарі деталі. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають завдання поверхневого зміцнення за рахунок зміни властивостей та механізму зношування тільки робочого шару.