

Литература

1. Общий вид лабораторной установки FPM-13 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.su/13_135489_opisanie-laboratornoy-ustanovki.html
2. Уколов А. И. Анализ биообрастания супергидрофобной и полированной поверхности судостроительной стали в районе Керченского пролива / А. И. Уколов, Т. Н. Попова, А. В. Кулиш // Наука и образование : сб. тр. XIII Междунар. науч. конф. (Хайдусобосло, Венгрия, 4–13 января 2019 г.). – Хмельницкий : ХНУ, 2019. – С. 32–35.

ПРОИЗВОДСТВО КОНДИЦИОННЫХ СЛИТКОВ ИЗ ОТХОДОВ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ

Гречанюк И. Н.

НПП «Элтехмаш», г. Винница, Ватутина, 25, e-mai: eltechnic777@ukr.net

Важность проблемы рафинирования отходов жаропрочных сплавов состоит в том, что в процессе получения лопаток из исходных материалов на предприятиях-производителях газотурбинные двигатели (ГТД) накапливается значительное количество отходов, вызванных браком литья, браком форм, наличием примесей и т.д. Таким образом отходы жаропрочных сплавов в литейном производстве представляют собой технологически неизбежный остаток исходного сплава, не вошедший в массу годных отливок. Высокая стоимость первичных жаропрочных сплавов обусловила появление тенденции использования при шихтовке плавок для литья лопаток отходов литейного производства, что позволяет снизить себестоимость продукции [1].

Свойства металлических сплавов главным образом определяются их химическим составом и содержанием в них газов и примесей. Системные исследования по рафинированию отходов жаростойких сплавов ЧС70-ВИ, ЧС 88У-ВИ для литья лопаток стационарных ГТД и ЖСЗДК-ВИ, Ж-26ВИ для литья лопаток авиационных ГТД с использованием совмещённого индукционного и электронно-лучевого нагрева выполнены в работах [2, 3].

Для рафинирования металлов и сплавов часто применяют их переплав. Материалы высокой чистоты получают путём переплава в вакууме с помощью электронного пучка. В отличие от вакуумной дуговой плавки при электронно-лучевом переплаве (ЭЛП) легко устанавливать скорость плавки и подводимую электрическую мощность не-

зависимо друг от друга, тем самым варьируя температуру материала и время его пребывания в расплавленном состоянии [2]. Исходя из этого, электронно-лучевой переплав является наиболее эффективным технологическим процессом для сложных по своему составу отходов сплавов с жёсткими допусками по составу легирующих компонентов.

Научно-производственным предприятием «Элтехмаш» разработана оригинальная промышленная электронно-лучевая технология переработки жаропрочного сплава ЖС-26ВИ. Переплав кондиционных отходов жаропрочного сплава ЖС 26-ВИ проводили на промышленной электронно-лучевой установке УЭ-174 конструкции ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, модернизированной в НПП «Элтехмаш», г. Винница.

Исходными материалами для переплава служили слитки кондиционных отходов сплава ЖС 26-ВИ после вакуумно-индукционного переплава диаметром 90 мм и длиной до 500 мм. Общее количество поставленного сплава 280 кг. Входной контроль химического состава исходных слитков проводили на мультиэлементном экспрес-анализаторе состава сплавов «EXPERT-3L».

На первом этапе переплава необходимое количество слитков помещали в камеру бокового механизма подачи шихтовых материалов и сплавляли в промежуточную ёмкость. При проведении плавки одновременно были задействованы три электронно-лучевых нагревателя. Одним из них сплавляли исходные слитки (ток луча 2,2–2,4 А), двумя другими с помощью развёрток (ток луча 0,8–0,9 А) поддерживали постоянный уровень жидкой ванны в промежуточной ёмкости глубиной 3–5 мм. Таким образом, при постоянной подаче слитков в зону плавки одновременно происходили наполнение и плавная кристаллизация жидкого металла в промежуточной ёмкости. Слитки размерами 320×170×50 мм формировали в течение 25–30 мин.

Рафинирование сплава происходило вследствие фракционной дистилляции, дегазации, флотации и коагуляции. Полученные слябы извлекали из промежуточной ёмкости.

На поверхности закристаллизованной ванны визуально наблюдались мелкие шлаковые включения и плёнки, образованные вследствие всплытия оксидных включений при затвердевании сплава. Толщина плёнок не превышала 50–70 мкм. Комплексный химический и рентгенофазовый анализ позволили определить их состав (табл. 1).

Таблица 1

Состав шлаковых включений и оксидных плёнок на поверхности сплава ЖС 26-ВИ после первичного электронно-лучевого переплава

Al ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	CrO ₂	La ₂ O ₃	NiO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Co ₃ O ₄
96,45	0,62	0,51	0,27	0,8	0,29	0,4	0,3

Анализ химического состава оксидов, приведенных в таблице, однозначно указывает на факт взаимодействия жидкого металла и формы при её заливке, в состав которой преимущественно входит оксид алюминия.

Для удаления шлаковых включений и оксидных плёнок поверхность сляба последовательно подвергали шлифованию и химическому травлению. Таким образом было получено 12 заготовок в виде слябов массой более 20 кг каждый.

Далее на втором этапе заготовки помещали в камеру бокового механизма подачи шихтовых материалов и повторно сплавляли в промежуточную ёмкость. Сформированные заготовки второго передела также подвергали шлифованию и химическому травлению.

На третьем этапе переработки, заготовки снова сплавляли в промежуточную ёмкость и осуществляли выдержку жидкой ванны с незначительным перерывом (30–50 °С) в течение 8–12 мин для интенсификации процесса рафинирования с последующим сливом жидкого металла в водоохлаждаемый кристаллизатор диаметром 100 мм. Порционный слив металла осуществляли на поверхность жидкой ванны высотой 20–25 мм и выдержкой в жидком состоянии 2–3 мин.

С использованием трёхэтапной переработки было получено девять слитков длиной 390–488 мм массой 23–31,3 кг. Чистовой диаметр слитков после проточки составлял 94,5–97,5 мм.

Структуру, химический и фазовый состав, механические и жаропрочные свойства полученных материалов определяли по методикам принятия в АО «Мотор-Сич» г. Запорожье (Украина).

Химический анализ полученных слитков после механической обработки приведен в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав заготовки-отливки Ø 97 мм, полученной из возврата сплава ЖС26-ВИ ЭЛП (основа – никель)

Место отбора пробы	Содержание элементов, % мас.										
	C	Cr	Co	W	Al	Ti	Mo	Nb	V	Si	Mn
Верх	0,137	4,70	8,96	11,50	6,10	1,02	1,0	1,43	0,9	<0,2	<0,3
Серед.	0,129	4,94	9,03	11,53	5,74	0,90	1,0	1,64	0,9	<0,2	<0,3
Низ	0,132	4,94	9,03	11,53	5,74	0,90	1,0	1,64	0,9	<0,2	<0,3

Таким образом, представленные в таблице данные подтверждают, что качество материала заготовки-отливки диаметром 97 мм, полученной из кондиционных возвратных отходов сплава ЖС 26–ВИ методом ЭЛП удовлетворительное и полностью соответствует требованиям по химическому составу слитков ТУ 1-92-177-91. ЭЛП при-

водить к существенному снижению таких вредных примесей, как сера, фосфор, кислород и азот, а слитки по своему качеству превосходят исходный материал, полученный в вакуумной печи методом равноосной кристаллизации.

Литература

1. Шиллер З. Электронно-лучевая технология / З. Шиллер, У. Гайзиг, З. Панцер ; пер. с нем. – М. : Энергия, 1980. – 528 с.
2. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / под ред. проф. С. В. Ладохина. – Киев : Сталь, 2007. – 626 с.
3. Проблемы специальной электрометаллургии / Ю. Ф. Аникин, Ю. Г. Добкина, В. В. Клочихин и др. // Совмещенная индукционная и электронно-лучевая плавка литейных отходов сплавов ЖСЗДК и ЖС 26-ВИ. – 2002. – № 2. – С. 43–49.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНДЕНСОВАНИХ ІЗ ПАРОВОЇ ФАЗИ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МІДІ І ХРОМУ

Гречанюк М. І., Гречанюк В. Г., Чорновол В. О.

*Киевский национальный университет строительства и архитектур
Воздухофлотский проспект, 31*

НПП «Элтехмаш», г. Винница, Ватутина, 25, e-mail: eltechnic777@ukr.net

Використання методу електронно-променевого випаровування-конденсації дає можливість отримувати конденсати з вмістом газоподібних домішок не вище, ніж у вихідному матеріалі, навіть у разі випаровування таких активних металів, як хром.

Матеріали Cu–Cr із вмістом хром 35–50 % мас. застосовують для електричних контактів вакуумних дугогасильних камер [1]. Можливість використання конденсованих КМ в цій системі обумовлена особливостями хімічного складу та морфології вторинної структури, що утворюється на робочій поверхні порошкових контактів уже при тренуванні вакуумних дугогасильних камер. В нерівноважних умовах впливу дугового розряду в робочому шарі взаємна розчинність міді та хрому збільшується, і відбувається розпад твердих розчинів з утворенням дисперсної структури. Така ж структура спостерігається в конденсаті на основі міді та хрому.

Враховуючи позитивний вплив хрому для матеріалу електричних контактів, було розглянуто вплив різних концентрацій хрому на фізико-хімічні властивості системи Cu–Cr.