

## Ключові слова

мартенівський шлак, гранулометричний склад, хімічний склад, незабарвлюючі оксиди, забарвлюючі оксиди, магнітна частина, керамічні пігменти

## Summary

Zaychuk A., Bely Ya., Minakova N., Shovkoplyas E., Pivovarov A., Pivovarov Yu.

The research of open-hearth slag as a perspective feedstock for the production of ceramic pigments. Study of granulometric and chemical composition of the slag. Report 1

*The comparative analysis of two open-hearth slags of various Ukrainian enterprises was conducted. The heterogeneity of the studied wastes as granulometric and chemical composition was revealed. The high content of the materials, such as iron oxides, chromium, manganese, aluminum, calcium and magnesium was set. Thus the possibility of their use as a main component in the manufacture of ceramic pigments of black and brown colors was determined.*

## Keywords

open-hearth slag, granulometric composition, chemical composition, non-coloring oxides, coloring oxides, magnetic part, non-magnetic part, ceramic pigments

Поступила 16.05.11

УДК 621.74.04

**А. В. Елькин, В. В. Наумик, А. Н. Зеленюк\***

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

\*ОАО «Мотор-Сич», Запорожье

## Использование 100 % технологического возврата при литье деталей газотурбинных двигателей

*Проведена работа по внедрению технологии рафинирования расплава в процессе вакуумно-индукционной плавки с использованием в шихте 100 % технологического возврата сплава ВЖЛ12Э-ВИ. Разработана технология получения качественного слитка в стальной кокиль с заливочной чашей и утеплительной вставкой. Исследовано влияние температурно-временной обработки расплава на служебные характеристики сплава.*

**Ключевые слова:** температурно-временная обработка, критические температуры, рафинирование, плавка, технологический возврат, сплав, расплав, слиток, кокиль, заливка расплава, шихта, мерная заготовка, литниковая система

**В**ведение. Не перестают быть актуальными направления в науке, позволяющие улучшать качество получаемого литья с одновременным снижением его себестоимости при сохранении надежности и физико-механических свойств. Немаловажными направлениями являются освоение, применение и развитие технологий, дающих возможность многократно использовать сырье, создавая замкнутый цикл производства.

Параллельно с развитием технологий регенерации формовочных материалов проводился поиск технологий по переработке и восстановлению свойств сплавов. Наиболее актуальным стало восстановление свойств дорогостоящих сплавов, цена которых на мировых рынках достигала порядка полутора тысяч долларов за 1 кг. Это, как правило, сплавы, применяемые для литья ответственных деталей, работающих в тяжелых условиях эксплуатации. В данном исследовании речь пойдет о жаростойких

сплавах на никелевой основе, используемых для литья ответственных деталей газотурбинных двигателей, а именно о технологии переработки технологического возврата от собственного производства в условиях литейного цеха авиадвигательного завода.

**Актуальность темы.** В связи с образованием большого объема технологического возврата дорогостоящих сплавов и необходимостью их переработки, связанной с передачей его на металлургические комбинаты за рубеж, стала актуальной разработка технологии переработки этого возврата собственными силами с минимальными затратами.

Разработка подобной технологии позволит решить проблемы технологического процесса, связанные с переработкой возврата (рис. 1), а также даст дополнительную информацию в области металлургии и технологии литья жаростойких сплавов на никелевой основе.



Рис. 1. Технологический возврат

**Методы исследований.** Сто процентов технологического возврата сплава ВЖЛ12Э-ВИ, применяемого в качестве шихты, подвергали визуальному осмотру. Все образцы, взятые от опытной и серийной плавки, прошли спектральный и химический анализ, определение механических свойств и длительные жаропрочные испытания.

**Объем исследования.** В процессе проведения работ были изучены следующие технологические факторы: шихта, переплав возврата сплавов, термовременная обработка сплавов, заливка расплава, использование заливочных чаш и утеплительных вставок.

Для исследования были взяты элементы литниково-питающей системы жаростойкого сплава ВЖЛ12Э-ВИ (заливочные чаши, стояки, питатели, брак литья).

Весь процесс исследования разделили на три этапа: изучение качества шихтовых материалов, оценка их загрязненности и подбор способов предварительной очистки; выплавка сплава с использованием в шихте 100 % технологического возврата; анализ полученных результатов.

Визуальный контроль элементов литниково-питающей системы показал наличие на поверхности элементов остатков керамической формы, на литниках был обнаружен пригар в виде налета серого цвета, микрорентгеноспектральный анализ показал, что это  $Al_2O_3$ .

Рентгенофлуоресцентный анализ также выявил на поверхности неочищенных литников повышенное содержание алюминия.

Ввиду сильного загрязнения заливочных чаш пленами и карбонитридами было принято решение о недопустимости их непосредственного использования в плавке, без предварительного рафинирования.

Таким образом, для дальнейшего исследования были оставлены литники, стояки, брак литья. Все перечисленные элементы подвергли предварительной очистке в галтовочных барабанах, дробеструйной обработке и обдувке электрокорундом (рис. 2).

На установке УППФ-3М (рис. 3) провели плавку сплава с использованием в шихте 100 % технологического возврата, состоящего из предварительно очищенных и порезанных частей литниково-питающей системы.

Главной идеей проведения плавки было приме-



Рис. 2. Элементы литниково-питающей системы (слева до очистки справа – после очистки в дробемете и обдувки электрокорундом)

нение метода температурно-временной обработки расплава. Данный метод основывается на теории существования критических температур  $T_{к-1}$  и  $T_{к-2}$ . Эти температуры соответствуют процессам наиболее интенсивного разрушения неравновесных составляющих расплава и позволяют добиться его гомогенизации. Известно, что данные температуры индивидуальны для каждого отдельно взятого сплава [1], но их влияние на расплав требует дополнительного изучения. Для большинства сплавов на основе никеля интервал температуры  $T_{к-1}$  соответствует 1500-1700 °С, а  $T_{к-2}$  – находится в пределах 1700-1850.

Плавка сплава ВЖЛ12Э-ВИ велась в корундовом тигле емкостью 15 кг. Расплав перегревался выше температуры ликвидуса более чем на 400 °С, что составляло порядка 1850 °С.

Данная температура была определена как вторая критическая температура для сплава ВЖЛ12Э-ВИ. Для предотвращения кипения расплава в плавильной камере создавалась среда аргона с давлением 115 мм рт. ст. Расплав, нагретый до температуры 1850 °С, выдерживался в течение 5-10 мин, после чего температура понижалась до температуры заливки ( $1450 \pm 10$  °С). Расплав заливали через заливочную чашу в кокиль с утеплительной втулкой

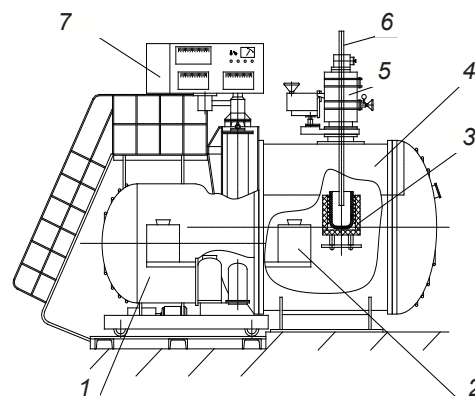


Рис. 3. Устройство вакуумной высокочастотной индукционной печи УППФ-3М: 1 – камера подачи форм; 2 – печь подогрева форм; 3 – индукционная печь; 4 – плавильная камера; 5 – камера загрузки шихты; 6 – штанга для загрузки шихты; 7 – пульт управления

для получения мерной заготовки (рис. 4), затем выдерживали в вакууме около 10 мин и переносили залитый кокиль в специальный короб для дальнейшего остывания.

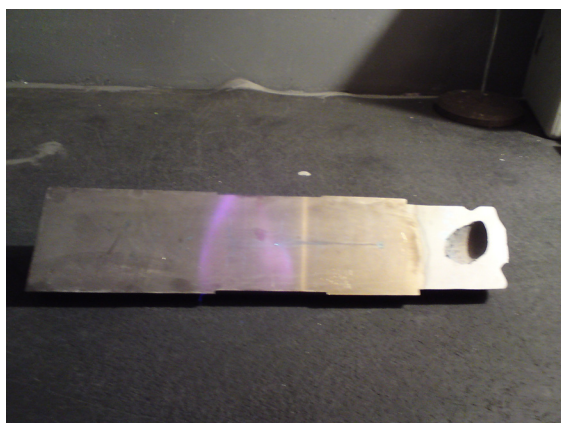


Рис. 4. Темплет слитка, полученный литьем в металлический кокиль

Из полученных мерных заготовок были отлиты стандартные образцы согласно действующей технологии переплава заготовок и заливки расплава в керамические электрокорундовые формы, разогретые до температуры 900-1000 °С. Все полученные образцы маркировались номером плавки и были отправлены в ЦЗЛ для дальнейших исследований.

*Результаты исследований и их обсуждение.* Химический анализ взятых образцов шихты показал,

та, показал, что имеются незначительные отличия в химическом составе по сравнению с образцами, полученными из сертифицированного слитка, но их химический состав соответствует требованиям ОСТ 1.90126-86 (табл. 1). Следует отметить невысокое содержание примеси серы и фосфора, что немало важно для физических свойств получаемого сплава.

Провели длительные жаропрочные испытания, дающие возможность оценить служебные характеристики полученных образцов сплава. Опытные образцы простояли более 40 ч при температуре 975 °С под нагрузкой 20 кгс/мм<sup>2</sup>, что полностью соответствует нормам ОСТ. Результаты механических испытаний при комнатной температуре, также соответствующие требованиям ОСТ, представлены в табл. 2.

Анализ результатов показал, что образцы, полученные переработкой технологического возврата с применением температурно-временной обработки расплава, по сравнению с требованиями ОСТ имеют более чем в 1,5 раза повышенные относительное удлинение и длительную прочность. Это можно объяснить положительным воздействием температурно-временной обработки расплава, которая обеспечила гомогенизацию расплава, полный распад микронеровностей [2], дегазацию расплава, выделение мелких карбидов округлой формы и равномерной γ'-фазы кубической морфологии.

#### Выводы

Результаты исследования свидетельствуют о

Таблица 1

#### Результаты химического анализа по трем группам образцов сплава ВЖЛ12Э-ВИ

Группа	Номер образца	Al	Ti	W	Mo	Cr	Co	Nb	V	Fe	Mn	Si	C	S	P
Сертифицированный слиток	1	5,5	4,60	1,6	3,0	9,5	9	0,9	0,8	≤ 2	≤ 2	≤ 0,4	0,15	0,0039	≤ 0,005
	2	5,4	--	--	3,1	9,3	--	--	--				0,17		
	3	--	4,40	--	2,9	9,5	--	--	--				0,165		
100 % возврата	1	5,5	4,60	--	3,0	--	--	--	--	--	≤ 0,4	--	0,16	0,005	0,002
	2	5,6	4,54	1,57	3,1	9,3	--	--	--				0,15	0,004	
	3	5,5	4,34	1,69	2,9	9,5	--	--	--				--	0,002	
Требования по ОСТ 1.90126-86	—	5,0-5,7	4,2-4,7	1,0-1,8	2,7-3,4	8,5-10,0	8,0-10,0	0,5-1,0	0,5-1,0	2,0	0,4	0,4	0,12-0,20	0,015	0,015

Таблица 2

#### Результаты механических испытаний опытных образцов

Номер образца	Предел прочности, кгс/мм <sup>2</sup>	Удлинение, %	Поперечное сужение, %
1	91,3	7,2	12,0
2	98,0	6,4	11,6
3	98,3	6,8	--
Требования по ОСТ 1.90126-86	85,0	5,0	7,0

что содержание легирующих элементов находится в допустимых ОСТ пределах. Небольшие отклонения по химическому составу обнаружены в литниковых чашах, массовая доля алюминия которых превышала норму почти в 2 раза. Также выявлено пониженное содержание хрома и повышенное – ниобия, повышенное содержание кобальта, ниобия и пониженное – вольфрама и железа, по сравнению с литниками. Необходимо отметить, что массовая доля кремния была в пределах норм ОСТ 1.90126-86.

Анализ всех исследуемых образцов, взятых от слитков, полученных из технологического возвра-



том, что получение качественных деталей с использованием 100 % технологического возврата возможно при:

- предварительной подготовке шихты, а именно дробеструйной очистке с последующей обдувкой электрокорундом;
- сортировке элементов литниковой системы с целью изъятия заливочных чаш;
- отдельной переработке заливочных чаш, представляющей предварительную температурно-временную обработку с последующим введением полученного сплава в небольших количествах в плавку для литья деталей;

- применении для улучшения структуры и чистоты заготовки кокиля с утеплительной вставкой в сочетании с заливочной чашей, что позволяет влиять на структуру заготовки и устранять в ней газовую пористость и усадочную раковину.

Таким образом, можно сделать вывод, что исследования в данном направлении перспективны и требуют дополнительного внимания в области дальнейшего изучения влияния параметров температурно-временной обработки расплава и последующего совершенствования технологии переработки возврата.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Термовременная обработка расплава: основы – возможности – пути реализации в авиационной промышленности / Р. Е. Шалин, Б. А. Баум, Г. В. Тягунов и др. // Приложение к журналу «Авиационная промышленность». – М.: Машиностроение, 1989. – № 2. – С. 2-5.
2. Процессы кристаллизации, структура и свойства отливок из никелевых жаропрочных сплавов. / Е. И. Цивирко, П. Д. Жеманюк, В. В. Клочихин и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2001. – № 10. – С.13-17.

### Анотація

*Єлькін О. В., Наумик В. В., Зеленюк О. М.*

Використання 100 % технологічного повернення при литті деталей газотурбінних двигунів

*Проведено роботу по впровадженню технології рафінування розплаву в процесі вакуумно-індукційної плавки з використанням у шихті 100 % технологічного зворотного сплаву ВЖЛ12Э-ВИ. Розроблено технологію отримання якісного зливка у сталевому кокілі з заливальною чашею та утеплювальною вставкою. Досліджено вплив температурно-часової обробки розплаву на службові характеристики сплаву.*

### Ключові слова

*температурно-часова обробка, критичні температури, рафінування, плавка, технологічне повернення, сплав, розплав, злиток, кокіль, заливання розплаву, шихта, мірна заготовка, ливникова система*

### Анотація

*Yel'kin O., Naumik V., Zelenyuk A.*

Use of 100 % recycled material in casting of gas turbine engine parts

*The technology of melt refining during vacuum induction melting with charge containing 100 % of process-recycled alloy is being implemented. The method to obtain high-quality ingot in a steel chill mould with a pouring basin and a heat-insulating insert has been developed. The influence of melt temporal heat treatment on the alloy performance characteristics has been studied.*

### Keywords

*time-temperature treatment, critical temperatures, refining, melting, recycled material, alloy, melt, casting, chill mould, melt charging, charge, billet, gating system*

Поступила 01.03.11