

**Н. П. Волкотруб, М. И. Прилуцкий, Д. А. Казарин,
Н. Р. Смалюх, В. А. Бойко**

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ ЖАРСТОЙКИХ СПЛАВОВ В ВАКУУМНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

Предложена технология выплавки жаростойких сплавов, установлено, что подогрев шихты перед загрузкой в печь уменьшает содержание газов (в частности, водорода) в конечном сплаве. Представлена конструкция изложницы, обеспечивающая получение слитков без значительных усадочных дефектов. Определено, что высокая степень рафинирования металла при раскислении расплава углеродом обеспечивает значительное уменьшение кислорода и неметаллических включений в расплаве и улучшение усвоения иттрия примерно в 2 раза, что дает значительный экономический эффект.

Ключевые слова: вакуумная индукционная печь (ВИП), жаростойкий сплав, раскисление, никель, кобальт.

Запропоновано технологію виплавки жаростійких сплавів, встановлено, що підігрів шихти перед завантаженням у піч зменшує вміст газів (зокрема водню) в кінцевому сплаві. Наведена конструкція виливниці, що забезпечує отримання зливків без значних усадочних дефектів. Визначено, що високий ступінь рафінування металу при розкисленні розплаву вуглецем забезпечує значне зменшення кисню і неметалевих включень в розплаві і поліпшення засвоєння ітрію приблизно в 2 рази, що дає значний економічний ефект.

Ключові слова: вакуумна індукційна піч (ВІП), жаростійкий сплав, розкислення, нікель, кобальт.

In this work proposes a technology for melting refractory alloys, it was established that heating before loading the charge into the furnace reduces the content of gas (particularly hydrogen) in the final alloy. A design of the mold, providing the production of ingots without significant shrinkage defects. It has been established that a high degree of refining of the molten metal during deoxidation with carbon provides a substantial reduction of oxygen and nonmetallic inclusions in the melt and improve the absorption of yttrium is about 2 times, which gives a considerable economic benefit.

Keywords: vacuum induction furnace (VIF), high temperature alloy, deoxidation, nickel, cobalt.

Жаропрочные сплавы на никелевой и кобальтовой основе применяются для напыления лопаток турбин двигателей. Содержание иттрия в этих сплавах должно быть в пределах 0,4-0,6 %. В связи с тем, что иттрий имеет большое сродство к кислороду, для достижения такого содержания необходимо вводить в расплав большое его количество (около 2 кг на 100 кг сплава). Для уменьшения затрат иттрия и повышения чистоты сплава по неметаллическим включениям были проведены исследования рафинирования сплавов на никелевой и кобальтовой основе. Сплавы плавил в вакуумной индукционной печи.

Технология проведения плавки, которая применялась на предприятии, включает загрузку в индукционную печь шихтовых материалов, расплавление их и проведение после получения ванны жидкого сплава раскисление металла силикокальцием в количестве 0,15 % от массы шихты. Иттрий в сплав вводили в количестве 2 % от массы сплава, разделив его на две порции. После этого расплав подогревали до температур 1520-1550 °С и заливали в кокиль.

Во время плавки использовали сплавы № 1 на никелевой основе и № 2 – на ко-

Получение и обработка расплавов

бальтовой, химический состав которых приведен в табл. 1 и 2, а примесей и газов – в табл. 3.

Таблица 1. Химический состав сплавов

Номер сплава	Химический состав сплава, %мас.				
	Co	Cr	Al	Ni	Y
1	20-23	18-22	11-13,0	основа	0,4-0,6
2	основа	12-24	12-13,5	8-10	0,4-0,6

Таблица 2. Химический состав сплавов после переплава в ВИП

Номер сплава	Химический состав сплава, %мас.				
	Co	Cr	Al	Ni	Y
1	20	20,20	11,50	основа	0,30
2	основа	22,42	13,25	9,80	0,35

Анализ полученных результатов показывает, что химический состав соответствует маркам сплавов, исключая иттрий, содержание которого ниже на 0,1% для сплава № 1 и на 0,05% – для сплава № 2.

Низкая степень усвоения иттрия объясняется его большим сродством к кислороду. В связи с тем, что содержание кислорода в сплаве № 1 выше, то и степень усвоения иттрия сплавом несколько ниже.

Для увеличения степени раскисления и десульфурации сплава количество силикокальция было увеличено с 0,15 до 0,2%. Раскисление металла силикокальцием приводит к образованию на поверхности расплава шлака, а также к замешиванию его конвективными потоками в расплав. Известно, что при раскислении металла углеродом продукты реакции раскисления имеют газообразную форму. Поэтому для достижения более высокого раскисления в шихту вводили 0,05% графита в виде порошка с фракцией 3-5 мм.

После полного расплавления шихты выключали вакуумные помпы и подавали в камеру аргон, поднимая давление до 0,0133322 МПа.

Дополнительно провели раскисление металла силикокальцием и снизили температуру расплава, выдержав его без подогрева 3-5 мин. После снижения температуры металла ввели иттрий в количестве 1,0% от массы шихты, предварительно разделив его на 3 равные порции. Добавки вводили последовательно для лучшего усвоения иттрия.

Раскисление расплавленного металла графитом, по нашему мнению, может привести к уменьшению количества оксидов на поверхности расплава за счет их восстановления углеродом.

Химический состав сплавов № 1 и 2, выплавленных в вакуумной индукционной печи по предложенной технологии, представлен в табл. 4.

Таблица 3. Содержание газов и серы после выплавки сплавов в ВИП

Номер сплава	Химический состав сплава, %мас.			
	S	O	H	N
1	0,005	0,0078	0,0008	0,0080
2	0,004	0,0075	0,0009	0,0085

Таблица 4. Химический состав сплавов, выплавленных в ВИП по предложенной технологии

Номер сплава	Химический состав сплава, %мас.				
	Co	Cr	Al	Ni	Y
1	20	20,2	11,50	основа	0,30
2	основа	22,4	13,25	9,8	0,35

Таким образом, раскисление металла углеродом и силикокальцием дало возможность получить в сплаве заданное содержание иттрия, что соответствует маркам сплавов. Анализ содержания вредных примесей (табл. 5) показывает, что предложенная технология обеспечивает более низкое содержание серы и газов в сплавах.

Таблица 5. Содержание газов и серы в сплавах, выплавленных по предложенной технологии

Номер сплава	Химический состав сплава, %мас.				примечание
	S	O	H	N	
1	0,0015	0,0013	0,00040	0,0026	прокалывание шихты перед загрузкой в печь в течение 1 ч при 450 °С
2	0,0020	0,0031	0,00045	0,0025	

При выплавке сплавов по технологии предприятия отливки имели дефекты усадочного характера, что обусловлено слабой подпиткой усадки, потому что металл в верхней части отливки быстро охлаждается. Для уменьшения усадочной раковины предложена конструкция изложницы: в верхней части – теплоизоляционная вставка

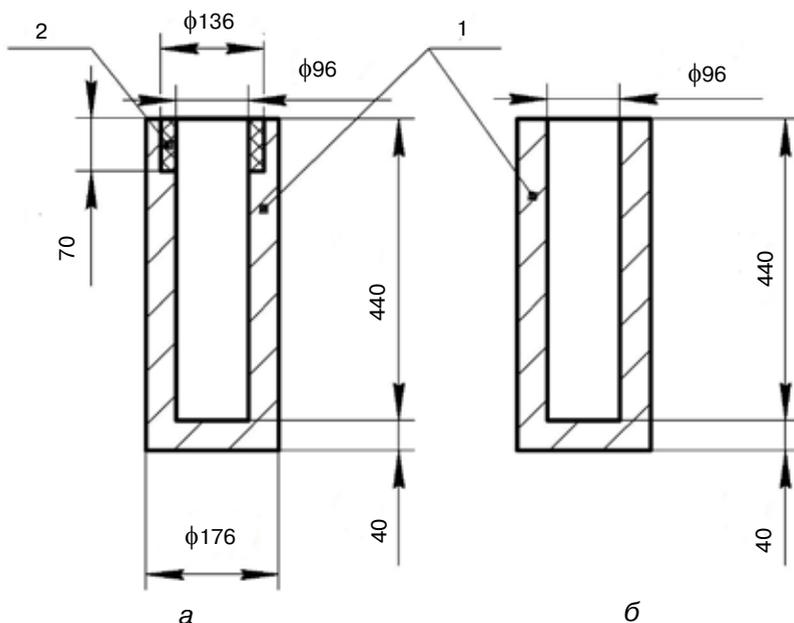


Рис. 1. Конструкции изложниц: а – изложницы с теплоизолирующей вставкой; б – изложницы без теплоизолирующей вставки; 1 – металлический кокиль; 2 – теплоизолирующая вставка

из огнеупорного материала (рис. 1), а на рис. 2 представлены схемы усадочной раковины по технологии фирмы и предложенной технологии.

Глубина раковины уменьшилась примерно в 3 раза, а ее объем – в 2,0-2,5. Таким образом, предложенная технология обеспечивает получение слитков требуемого качества для дальнейшего их использования в виде заготовки для переплава ее в электронно-лучевой печи и последующего применения заготовки для электронно-лучевого переплава и напыления защитного покрытия газотурбинных установок, а также уменьшения расходов иттрия на 50 %.

Выводы

- Предложена технология выплавки жаростойких сплавов, которая обеспечивает высокое качество металла.
- Установлено, что подогрев шихты перед загрузкой в печь уменьшает содержание газов (в частности, водорода) в конечном сплаве.
- Раскисление металла углеродом обеспечивает снижение в 1,2-1,8 раза кислорода и азота в сплавах.
- Предложенная конструкция изложницы обеспечивает получение слитков без значительных усадочных дефектов.
- Высокая степень рафинирования металла гарантирует улучшение усвоения иттрия примерно в 2 раза, что дает значительный экономический эффект.
- Результаты работы могут быть использованы при разработке промышленной технологии выплавки жаростойких сплавов в вакуумной индукционной печи.

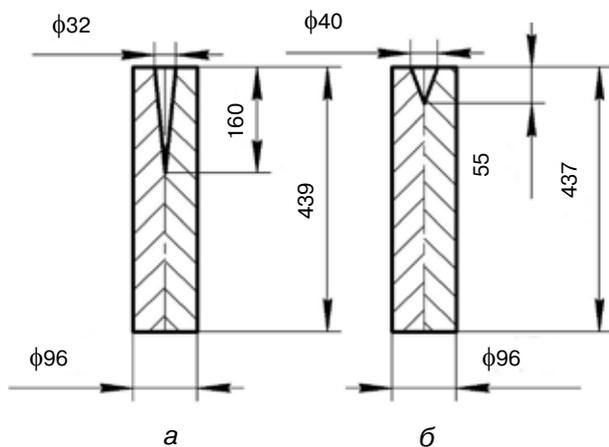


Рис. 2. Характеристика и размеры усадочной раковины отливок из сплава № 1, выплавленных: а – по технологии фирмы; б – по предложенной технологии



Список литературы

1. Григоренко Г. М., Шейко И. В. Индукционная плавка в тиглях и охлаждаемых секционных кристаллизаторах. – М.: Сталь, 2006. – 320 с.
2. Васильев Ю. Э. Технология и оборудование для получения жаропрочных сплавов методами вакуумной металлургии за рубежом: Обзорная информация. – М.: Черметинформация. Сер. Сталеплавильное производство. – 1985. – Вып. 2. – 24 с.
3. Шалимов А. Г., Готин В. Н., Тулин В. А. Интенсификация процессов специальной электрометаллургии. – М.: Металлургия, 1988. – 334 с.

Поступила 28.04.2014