



УДК 669.187.58

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ ОТХОДОВ ТУГОПЛАВКИХ И ВЫСОКОРЕАКЦИОННЫХ МЕТАЛЛОВ НА ДИСПЕРСНОЙ ПОДЛОЖКЕ

В.Н. Коледа, В.А. Шаповалов, Ф.К. Биктагиров, В.Р. Бурнашев

Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины.
03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Отходы тугоплавких и высокорекреационных металлов, таких как титан, цирконий, молибден, вольфрам, ниобий, зачастую целесообразно перерабатывать путем выплавки из них высококачественных ферросплавов. Для этого можно использовать плазменно-дуговую гарнисажную плавку, обеспечивающую высокотемпературный нагрев, отсутствие огнеупорной футеровки и инертную атмосферу в плавильном пространстве. При выплавке ферросплавов существенного уменьшения удельных расходов электроэнергии и плазмообразующего газа достигают при плавке на дисперсной подложке, представляющей собой слой дробленого металла, изолирующего выплавляемый ферросплав от охлаждаемой плавильной емкости. Рассмотрена возможность подобной плавки в неохлаждаемой стальной форме. Экспериментально показано, что при выплавке 70%-го ферротитана толщина дисперсной подложки должна быть не менее 20 мм, а для исключения чрезмерного нагрева стенок формы и ее коробления слой подложки следует поддерживать на уровне 40...50 мм. В ходе исследований установлено, что способ плазменно-дуговой плавки на дисперсной подложке позволяет использовать для выплавки различных ферросплавов стальные неохлаждаемые плавильные емкости. Это значительно упрощает и удешевляет применяемую оснастку, обеспечивает снижение удельных расходов электроэнергии и плазмообразующего газа на 20...30 %. В итоге открываются новые технологические возможности производства высококачественных ферросплавов из отходов тугоплавких и высокорекреационных металлов, особенно при использовании многоплазмотронной схемы плавки на промышленных установках большой мощности и производительности. Библиогр. 9, табл. 1, ил. 2.

Ключевые слова: плазменно-дуговая плавка; отходы; ферросплавы; дисперсная подложка; неохлаждаемая форма; тугоплавкие металлы; удешевление оснастки

Образующиеся в различных отраслях промышленности отходы тугоплавких и высокорекреационных металлов (титан, цирконий, молибден, вольфрам, ванадий, ниобий) по тем или иным причинам (повышенная загрязненность, сложность разделения по точно определенному марочному составу и т.д.) нередко затруднительно перерабатывать для использования в дальнейшем в качестве первичного металла. Поэтому целесообразнее переплавлять подобные отходы для получения ферросплавов соответствующих металлов.

Использование тигельных индукционных печей, наиболее приспособленных для плавки металлических отходов [1, 2], ввиду высоких значений температуры плавления указанных металлов либо их реакционной способности не всегда возможно либо затруднено, особенно при получении ферросплавов с повышенным содержанием основного эле-

мента. Кроме того, для обеспечения хорошего качества таких ферросплавов [3], чаще всего применяемых при производстве качественных сталей и сплавов [4], предпочтительнее использовать специальные виды плавки, где не только исключается загрязнение получаемого продукта в процессе переработки, но и осуществляется его рафинирование. В этом отношении перспективной может быть плазменно-дуговая плавка [5–8], сочетающая концентрированный высокотемпературный нагрев, отсутствие контакта металла с огнеупорной футеровкой и инертную атмосферу в плавильном пространстве.

Показано, что применение способа плазменно-дуговой плавки на дисперсной подложке, представляющей собой слой дробленого металла того же состава, что и выплавляемый, позволяет существенно сократить затраты электроэнергии и плазмообразующего газа при выплавке ферросплавов из лома и

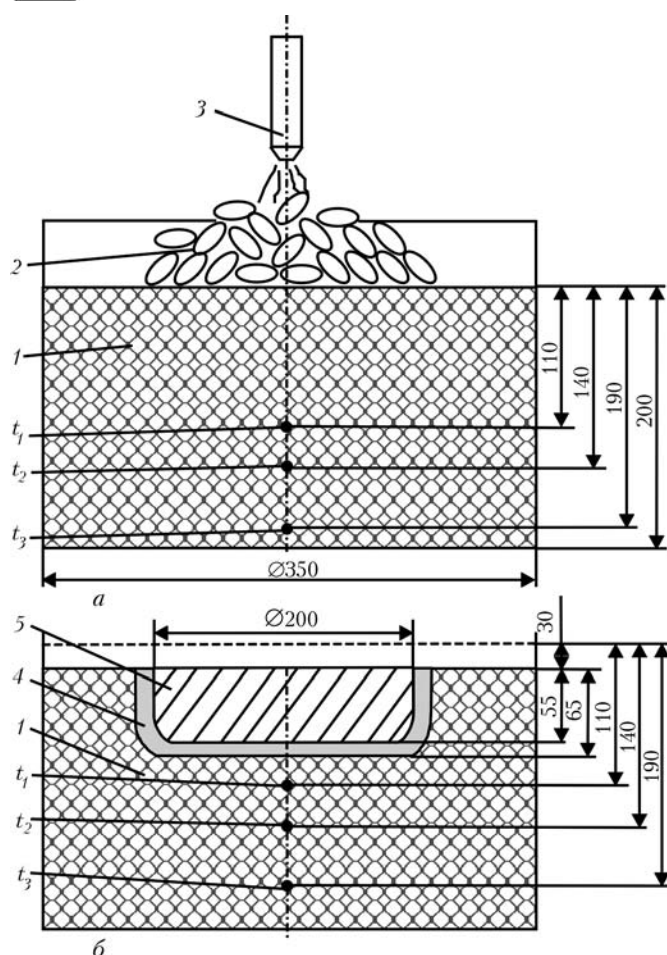


Рис. 1. Схема экспериментальной плавки: а – до плавки; б – после; 1 – дисперсная подложка; 2 – шихта; 3 – плазмоторн; 4 – спеченный слой металла; 5 – слиток

отходов тугоплавких и высокорекреационных металлов [9]. Однако ввиду того, что дисперсная подложка занимает до 30 % рабочего объема кристаллизатора, это приводит к значительному уменьшению массы выплавляемого слитка в конкретной водоохлаждаемой плавильной емкости.

Увеличения количества переплавляемой за одну плавку шихты можно достичь за счет применения кристаллизатора большей емкости. Однако это приводит к усложнению конструкции кристаллизатора, возрастанию затрат на дорогостоящую медь и обще-

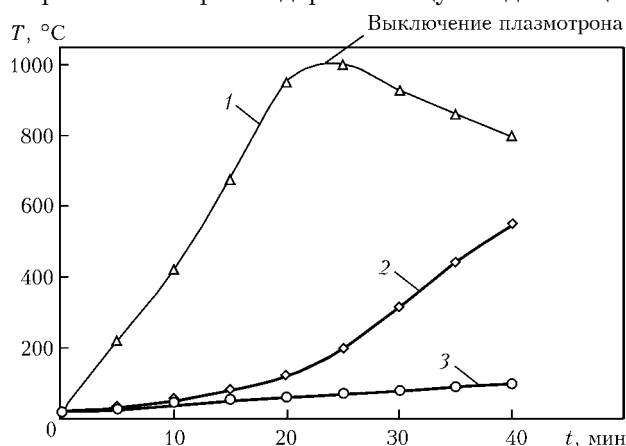


Рис. 2. Изменение температуры в дисперсном слое: 1 – t_1 ; 2 – t_2 ; 3 – t_3

му увеличению затрат на осуществление плазменно-дуговой плавки.

Поскольку дисперсная подложка может полностью изолировать дно и стенки формы от контакта с выплавляемым металлом, предложено опробовать плавку на дисперсной подложке в стальном неводоохлаждаемом коробе. Для реализации такой схемы плавки возникла необходимость в определении оптимальной толщины дисперсной подложки, которая гарантированно предотвратит проплавление дна и стенок короба. С этой целью исследовали распространение температурных полей в дисперсном слое на примере выплавки 70%-го ферротитана из титанового и стального лома.

Для экспериментов использовали стальную изложницу с внутренним диаметром 300 мм и высотой 300 мм. В слое дисперсной подложки, состоящей из частиц ферротитана фракцией 5...15 мм общей массой 30 кг, на разном расстоянии от дна изложницы по ее центру установлены три термопары. На дисперсную подложку загружали 7 кг титанового и стального лома для получения 70%-го ферротитана. Шихту расплавляли расположенным по центру изложницы плазмоторном. При этом значение тока составляло 950 А, напряжение га дуге – 50...60 В, время плавки – 20 мин. Схема эксперимента приведена на рис. 1.

По завершении плавки и полного остывания изложницы из нее извлекли слиток выплавленного ферротитана диаметром около 200 мм, толщиной 55...60 мм и массой 12 кг. Слой оставшегося дисперсного слоя составлял с боковой части этого слитка 75...80 мм, а со стороны донной части – около 100 мм и массой 25 кг.

Результаты измерений значений температуры в трех контролируемых точках в течение 60 мин от начала плавки приведены на рис. 2. Как видно, температура в дисперсной подложке на расстоянии 15...20 мм от слитка (термопара 1) не превышала 1000 °С. На большем удалении от слитка заметный рост температуры отмечен только после окончания плавки (термопары 2, 3). Это свидетельствует о высоких теплоизоляционных свойствах дисперсной подложки и позволяет сделать вывод о возможном использовании для плавки 70%-го ферротитана стального короба при условии теплоизоляции слитка как от дна, так и от его стенок слоем дисперсной подложки толщиной не менее 20 мм. Для исключения проплавления стенки формы, уменьшения ее чрезмерного нагрева и коробления слой подложки следует поддерживать на уровне 40...50 мм.

С целью проверки возможности плазменно-дуговой выплавки в неохлаждаемой форме ферротитана, а также других ферросплавов из высокорекреационных и тугоплавких металлов изготовлен стальной короб из листа толщиной 8 мм с наружными размерами 800×400×150 мм. Дисперсный слой из материала с химическим составом, соответствующим вы-



плавляемому ферросплаву, укладывали на дно и по периметру короба вдоль его боковых стенок.

Режимы плавки аналогичны применяемым при выплавке ферросплавов в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе [6]. Амплитуду колебаний дуги плазмотрона подбирали таким образом, чтобы ширина слитка не превышала 250...270 мм, обеспечивала полное расплавление шихты и незначительное оплавление дисперсной подложки. При этом как по бокам, так и на дне короба после переплава должно было остаться гарантировано 20 мм дисперсного слоя, что обеспечивало проведение плавки без прожига оснастки и вытекания жидкого металла.

В таблице приведены данные экспериментов по выплавке различных ферросплавов в неохлаждаемой форме на дисперсной подложке. Там же показаны аналогичные показатели плазменно-дуговой плавки ферросплавов в горизонтальном кристаллизаторе [7].

При сравнении полученных результатов с данными, имеющимися в работе [7], видно, что применение плазменно-дугового переплава шихты в стальном коробе на дисперсной подложке позволило увеличить массу выплавляемого металла, на 20...30 % сократить удельный расход электроэнергии и аргона. Также отмечено значительное увеличение размеров жидкой ванны, по сравнению с таковой при плавке в кристаллизаторе. Это дало возможность за счет лучшего усреднения переплавляемых материалов уменьшить разницу в химическом составе ферросплавов по сечению выплавляемого слитка. Так, например, при выплавке 70%-го ферротитана колебание концентрации титана по ширине слитка не превышало 0,6, а по длине — 1,0 %.

Энергетические показатели плавки ферротитана на дисперсной подложке в стальном коробе близки к таковым при плавке в горизонтальном кристаллизаторе на дисперсной подложке [6]. Только ввиду того, что при одних и тех же размерах плавильной камеры внутренний рабочий объем стального короба за счет меньшей толщины ее стенок больше, масса единовременно выплавляемого ферросплава была также существенно (почти в два раза) больше.

О преимуществах использования неохлаждаемой формы при соответствующей изоляции ее стенок от получаемого слитка свидетельствуют результаты выплавки ферросплавов FeV, FeNb, FeMo (таблица). При этом с учетом более высокой температуры плавления этих ферросплавов, по сравнению с ферротитаном, режимы плавки выбирали таким образом, чтобы толщина нерасплавившейся дисперсной подложки составляла не менее 40 мм.

В ходе исследований установлено, что применение дисперсной подложки при плазменно-дуговой плавке обеспечивает не только улучшение технологических и экономических показателей процесса, но позволяет использовать для выплавки различных ферросплавов стальные неохлаждаемые пла-

Технологические показатели выплавки ферросплавов

Марка ферросплава	Массовая доля легирующего элемента, %	Масса выплавляемого в одной плавке ферросплава, кг	Затраты электроэнергии, кВт·ч/кг	Расход аргона, л/кг
FeTi	28...40	80...85 60...70	0,90...0,95 1,1...1,2	60...65 70...80
FeTi	60...70	60...70 50...55	1,0...1,1 1,2...1,5	70...75 80...90
FeV	30...40	60...70 50...55	1,5...1,8 2,0...2,3	105...110 120...140
FeV	60...70	50...60 40...45	1,7...2,0 2,3...2,7	115...120 130...150
FeNb	30...40	55...65 45...50	1,8...2,0 2,2...2,6	105...110 120...140
FeNb	50...60	50...55 40...45	2,0...2,3 2,5...2,8	110...120 130...150
FeMo	50...60	40...50 30...35	2,8...3,0 3,3...3,7	140...145 150...170

Примечание. В числителе приведены показатели выплавки в стальном коробе на дисперсной подложке, в знаменателе — в кристаллизаторе.

вильные емкости. Это значительно упрощает и удешевляет применяемую оснастку, открывает новые технологические возможности, особенно при использовании многоплазмотронной схемы плавки на промышленных установках большой мощности и производительности.

1. Фарбман С.А., Колобнов И.Ф. Индукционные печи для плавки металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1968. — 496 с.
2. Брокмайер К. Индукционные плавильные печи. — М.: Энергия, 1972. — 304 с.
3. Гасик Л.Н., Игнатъев В.С., Гасик Н.И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. — Киев: Техника, 1975. — 151 с.
4. Меськин В.С. Основы легирования стали. — М.: Металлургия, 1964. — 684 с.
5. Лакомский И.И. Плазменнодуговой переплав. — Киев: Техника, 1974. — 336 с.
6. Бурнашев В.Р., Жадкевич М.Л., Шаповалов В.А. Плазменно-дуговая плавка и литье тугоплавких металлов // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2002. — № 2. — С. 35–38.
7. Применение плазменно-дугового переплава техногенных отходов в подвижном горизонтальном кристаллизаторе для получения качественных ферросплавов и лигатур // В.Н. Коледа, В.А. Шаповалов, Г.Ф. Торхов, А.В. Аксинченко // Современ. электрометаллургия. — 2006. — № 4. — С. 20–23.
8. Бурнашев В.Р. Плазменно-дуговая гарнисажная (ПДГП) плавка ферросплавов и лигатур // Вестник ДГМА. — 2009. — № 1. — С. 76–78.
9. Плазменно-дуговая плавка на дисперсной подложке в подвижном горизонтальном кристаллизаторе // В.Н. Коледа, В.А. Шаповалов, Ф.К. Биктагиров и др. // Современ. электрометаллургия. — 2012. — № 1. — С. 41–44.

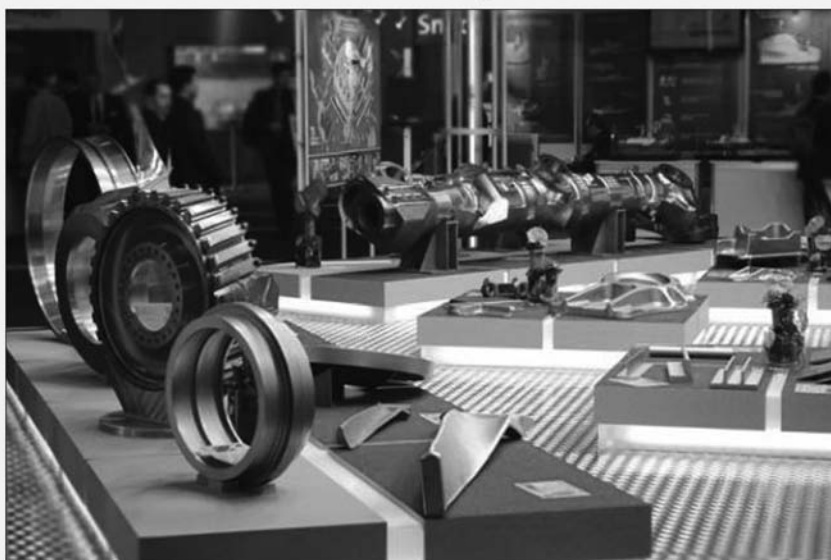


It is often rational to recycle the wastes of refractory and highly-reactive metals, such as titanium, zirconium, molybdenum, tungsten, niobium by melting out of high-quality ferroalloys from them. For this purpose, it is possible to use the plasma-arc skull melting, providing the high-temperature heating, absence of refractory lining and inert atmosphere in the melting space. In melting of ferroalloys the significant decrease in specific consumptions of electric power and plasma-forming gas is attained during melting on a dispersed substrate, representing a layer of a crushed metal, isolating the ferroalloy being melted from a cooled melting mould. The feasibility of such melting in a non-cooled steel mould is considered. It is shown experimentally that in melting of 70 % ferrotitanium the thickness of a dispersed substrate should be not less than 20 mm, and to avoid an excessive heating of the mould walls and its distortion the substrate layer should be maintained at the level of 40...50 mm. It was found during the investigations that the method of plasma-arc melting on the dispersed substrate allows applying the steel non-cooled melting moulds for melting different ferroalloys. This greatly simplifies and making less expensive the equipment being used, and reduces the specific consumptions of electric power and plasma-forming gas by 20...30 %. As a result, the new technological opportunities are open for the production of high-quality ferroalloys from wastes of refractory and highly-reaction metals, in particular when applying the multi-plasmatron scheme of melting in industrial powerful high-efficient installations. Ref. 9, Table 1, Figs. 2

Key words: *plasma-arc melting; wastes; ferroalloys; dispersed substrate; non-cooled mould; refractory metals; low-cost equipment*

Поступила 26.04.2013

ВСМПО-АВИСМА на рынке Японии



Экспозиция ВСМПО-АВИСМА на 17-й Международной выставке компонентов, деталей и комплектующих промышленного оборудования «М-TECH 2013». Источник: Ростех

Титановая корпорация ВСМПО-АВИСМА впервые приняла участие в 17-й Международной выставке компонентов, деталей и комплектующих промышленного оборудования «М-TECH 2013» в Токио, которая проходит каждый год в начале лета.

В этом году выставка насчитывала около 2 тыс. участников и свыше 76,5 тыс. посетителей из 16 стран мира (Китай, Франция, Германия, Индия, Израиль, Италия, Корея, Россия, Сингапур, Испания, Тайвань, США, Япония и др.).

Несмотря на снижение спроса на индустриальном титановом рынке в Японии, это самая масштабная индустриальная выставка за все время ее существования. Восстановления рынка японские заказчики ожидают в следующем году параллельно с укреплением японской иены, сообщает пресс-служба ВСМПО-АВИСМА.

На своем стенде ВСМПО-АВИСМА выставила титановые листы и плиты, сварные титановые трубы, титановые прутки и биллеты, а также прутки маленького диаметра, произведенные дочерней компанией NF&M в США. Продукция используется при производстве промышленного оборудования, товаров народного потребления, деталей для автомобилей и в медицине.

<http://vpk.name>