



УДК 669.187.826

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. Аксиниченко**

Показана целесообразность применения плазменно-дугового переплава техногенных отходов в подвижном кристаллизаторе для получения высококачественных ферросплавов и лигатур. Рассмотрены условия достижения стабильности плазменной дуги и высокого качества слитка. Приведены химические составы получаемых ферросплавов и лигатур, а также значения удельного расхода электроэнергии и аргона при их выплавке.

Expediency of application of plasma-arc remelting of technogeneous waste in a movable mould for producing high-quality ferroalloys and master alloys is shown. Conditions of attaining the stability of plasma arc and high quality of the ingot are studied. Chemical compositions of produced ferroalloys and master alloys, as well as values of specific consumption of electric power and argon in their melting, are given.

Ключевые слова: ферросплавы; лигатуры; плазменно-дуговой переплав; подвижный кристаллизатор

В ходе конверсии оборонной техники сокращается номенклатура сплавов, применяемых в промышленности, поэтому использование многих видов отходов для металлургического передела в слитки требуемого состава в данном случае затруднительно.



Рис. 1. Внешний вид установки ОБ1957

Переработка техногенных отходов в различные ферросплавы и лигатуры все же целесообразна по многим причинам. Во-первых, возможна одностадийная переработка сложнoleгированных сплавов в готовый продукт. Во-вторых, при производстве ферросплавов и лигатур могут быть снижены ключевые параметры процесса [1], например температура плавления, активность высокорекреакционных металлов, теплопроводность и пр.

Повышенный интерес зафиксирован к переработке отходов химически активных металлов, например титана, в высокопроцентный ферротитан.

Новые технологии плавки титана в электронно-лучевых и плазменно-дуговых печах с промежуточной гарнисажной емкостью и переливом металла в кристаллизатор, формирующий слиток, предоставляют производителям титановой продукции дополнительные возможности для более полного и эффективного использования титановых отходов. А это способствует существенному уменьшению количества титановых отходов, традиционно используемых при производстве 70%-го ферротитана.

Увеличивающийся спрос на 70%-й ферротитан, с одной стороны, и уменьшающееся количество ти-

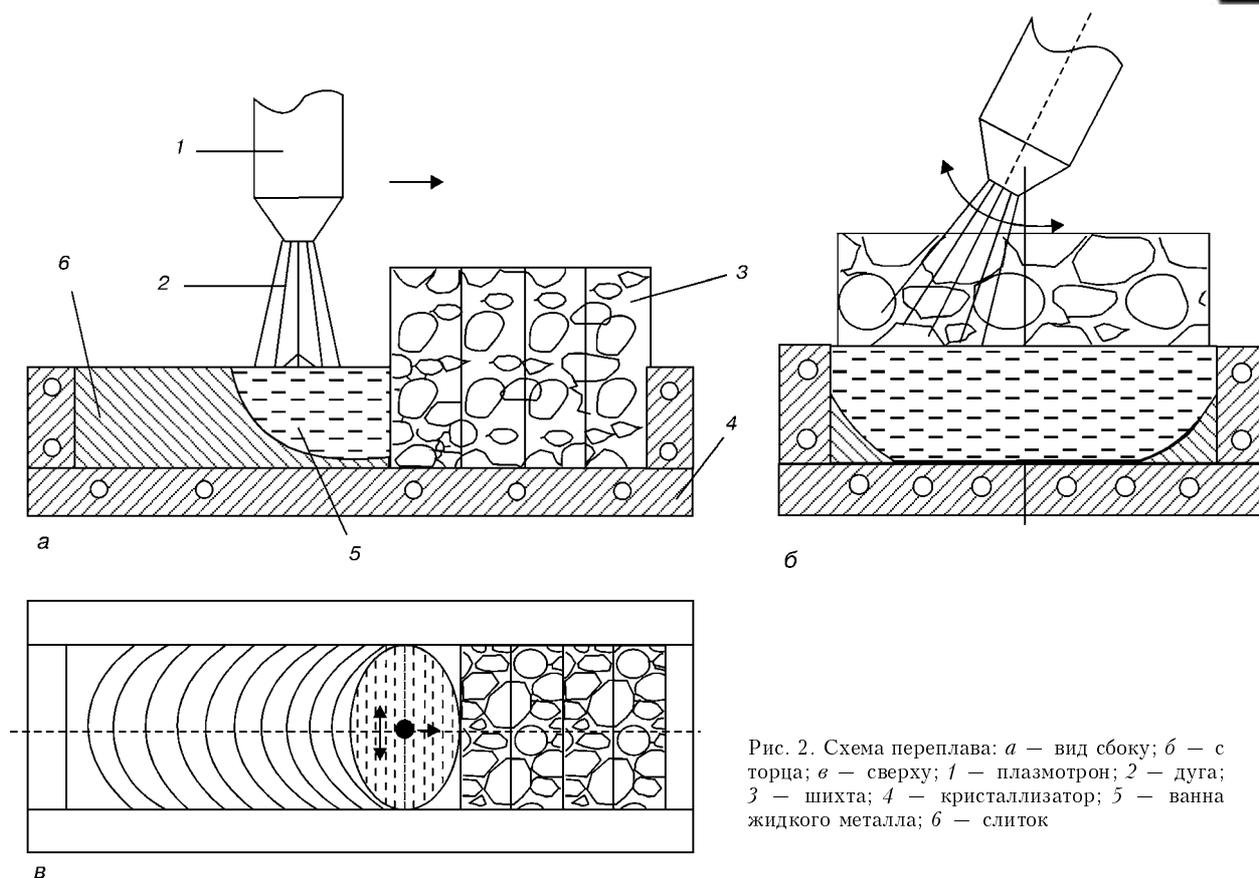


Рис. 2. Схема переплава: *a* — вид сбоку; *б* — с торца; *в* — сверху; 1 — плазмотрон; 2 — дуга; 3 — шихта; 4 — кристаллизатор; 5 — ванна жидкого металла; 6 — слиток

тановых отходов, с другой, стимулируют разработку новых технологий выплавки 70%-го ферротитана. Одним из вариантов таких технологий рассматривается выплавка 30... 40%-го ферротитана из ильменита или рутила с последующим сплавлением его с титановым ломом в пропорциях, обеспечивающих получение 70%-го ферротитана [2].

Существует и другая проблема. К 70%-му ферротитану, используемому при выплавке нержавеющей стали ответственного назначения, предъявляются повышенные требования по содержанию вредных примесей (углерода, кислорода и азота). Такой ферротитан можно получить только способом гарнисажной плавки (без контакта жидкого металла с футеровкой) путем сплавления титановых отходов и железа с использованием «чистых» источников нагрева — электронного луча или плазмы [3].

Разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона плазменно-дуговой способ переплава шихты в подвижном кристаллизаторе позволяет избежать таких недостатков, присущих промышленным способам выплавки ферросплавов [4, 5], как загрязнение металла углеродом, компонентами, входящими в состав футеровки, шлаковыми включениями, азотом и кислородом. Это дает возможность существенно повысить качество ферросплавов и легированных сталей [6, 7].

Целью данной работы является изучение возможности получения ферросплавов и лигатур из отходов высокорекреакционных и тугоплавких металлов, а также определение основных технологических параметров процесса плазменно-дугового переплава в плоском охлаждаемом кристаллизаторе.

Эксперименты проводили на опытной плазменно-дуговой установке ОБ1957 Института электросварки им. Е. О. Патона (рис. 1), дополнительно оснащенной медным водоохлаждаемым кристаллизатором (внутренние размеры 600×300×70 мм), смонтированным на подвижной тележке. Установка включает плавильную камеру, подвижную тележку, группу плазмотронов, расположенных над тележкой, механизмы перемещения тележки и колебания плазмотронов. Источником питания плазмотронов ПД-110 служат трансформаторы А-1458 в комплекте с выпрямительными блоками А-1557.

В качестве шихты использовали отходы стали Ст3 и металлических титана, ванадия, ниобия, молибдена или их сплавов с массовой долей основного элемента не менее 95 %.

Шихту загружали непосредственно в плоский кристаллизатор, равномерно распределяя железо и легирующие металлы по площади кристаллизатора. Затем подвижную тележку с кристаллизатором перемещали под плазмотроны, вакууммировали камеру и заполняли ее аргоном, создавая небольшое избыточное давление.

Принципиальная схема процесса показана на рис. 2. При проведении опытов использовали один плазмотрон, расположенный по центру кристаллизатора. Переплав начинали в крайней точке размещения шихты и за счет поперечных колебаний дуги наводили ванну жидкого металла по всей ширине кристаллизатора. После образования общей ванны перемещали тележку с кристаллизатором и слитком с заданной скоростью.



Таблица 1. Химический состав сплавов

Массовая доля элементов, %													
Ti	V	Nb	Mo	Al	Si	Mn	Cu	Sn	C	P	S	O	N
28... 29	0,15	–	0,03	0,095	0,72	0,035	0,10	–	0,10	0,015	0,012	0,17	0,070
34... 35	0,11	–	0,025	0,30	0,56	0,15	0,12	–	0,12	0,014	0,017	0,21	0,085
39... 40	0,16	–	0,07	2,12	0,81	0,80	0,12	–	0,05	0,015	0,012	0,23	0,100
60... 61	0,12	–	0,05	1,47	0,47	0,09	0,18	–	0,11	0,001	0,013	0,18	0,092
64... 65	0,19	–	–	3,70	0,94	0,75	0,09	0,012	0,10	0,015	0,010	0,27	0,150
70... 72	0,15	–	0,35	1,64	0,75	0,24	0,15	–	0,07	0,013	0,011	0,25	0,110
78... 81	–	–	–	–	0,35	0,07	0,10	–	0,05	0,012	0,010	0,11	0,120
–	35... 36	–	–	0,80	0,95	0,54	0,15	–	0,12	0,015	0,013	0,14	0,015
–	50... 51	–	–	0,95	0,78	0,47	0,082	–	0,09	0,012	0,013	0,17	0,027
–	61... 63	–	–	0,17	0,29	0,64	0,09	–	0,11	0,015	0,012	0,21	0,016
–	–	35... 36	–	0,07	0,15	0,83	0,17	–	0,12	0,013	0,014	0,13	0,022
–	–	55... 56	–	0,09	0,63	0,35	0,085	–	0,14	0,013	0,012	0,18	0,017
–	–	60... 62	–	1,15	0,81	0,80	0,11	–	0,085	0,012	0,014	0,20	0,019
–	–	68... 70	–	1,75	0,95	0,56	0,16	–	0,07	0,012	0,014	0,25	0,025
–	–	–	55... 56	0,95	1,22	0,63	0,13	–	0,10	0,010	0,011	0,12	0,025
–	–	–	60... 62	1,34	0,87	–	0,011	–	0,09	0,010	0,011	0,12	0,031
59... 52	–	–	–	48... 50	0,02	0,03	–	–	0,05	0,010	0,010	0,11	0,025
–	50... 52	–	–	48... 50	0,015	0,07	–	–	0,07	0,010	0,010	0,07	0,016
–	–	50... 52	–	48... 50	0,04	0,045	–	–	0,04	0,015	0,010	0,09	0,024

Примечание. Остальное – железо.

Уровень тока в опытах изменяли от 900 до 1100 А, частоту поперечных колебаний плазматрона — от 0,5 до 2,5 колебаний в минуту, скорость перемещения кристаллизатора — от 5 до 15 мм/мин, длину дуги — от 70 до 210 мм, толщину слоя шихты — от 60 до 180 мм. Амплитуда колебаний дуги соответствовала ширине кристаллизатора.

В процессе переплава фиксировали напряжение на дуге и стабильность ее горения. После завершения переплава измеряли глубину проплавления и длину ванны, изучали качество полученного слитка. С помощью химического и спектрального анализов

отобранных образцов определяли распределение легирующих элементов и вредных примесей по длине, ширине и глубине слитков.

Проведенные исследования позволили выбрать оптимальные режимы плавки и технологические параметры, обеспечивающие гарантированное проплавление по всему слитку на глубину 20... 50 мм в зависимости от химического состава ферросплавов и лигатур. При этом, как и следовало ожидать, чем выше температура плавления легирующего элемента, входящего в состав ферросплава, тем меньше толщина слитка, обеспечивающая полное его проплавление.

Таблица 2. Технологические параметры процесса переплава

Тип сплава	Массовая доля легирующего элемента, %	Масса металла в одной плавке, кг	Затраты электроэнергии, кВт·ч/кг	Расход аргона, л/кг
FeTi	28... 40	60... 70	1,0... 1,2	70... 80
FeTi	60... 70	50... 55	1,2... 1,5	80... 90
FeTi	70... 80	45... 50	1,3... 1,6	90... 100
FeV	30... 40	50... 55	1,0... 2,3	120... 140
FeV	50... 60	45... 50	2,1... 2,5	125... 145
FeV	60... 70	40... 45	2,3... 2,7	130... 150
FeNb	30... 40	45... 50	2,2... 2,6	120... 140
FeNb	50... 60	40... 45	2,5... 2,8	130... 150
FeNb	60... 70	35... 40	2,8... 3,1	140... 160
FeMo	50... 60	30... 35	3,3... 3,7	150... 170
Al-Ti	50... 52	45... 50	0,8... 1,0	70... 80
Al-V	50... 52	45... 50	1,0... 1,2	75... 85
Al-Nb	50... 52	45... 50	1,2... 1,4	80... 90

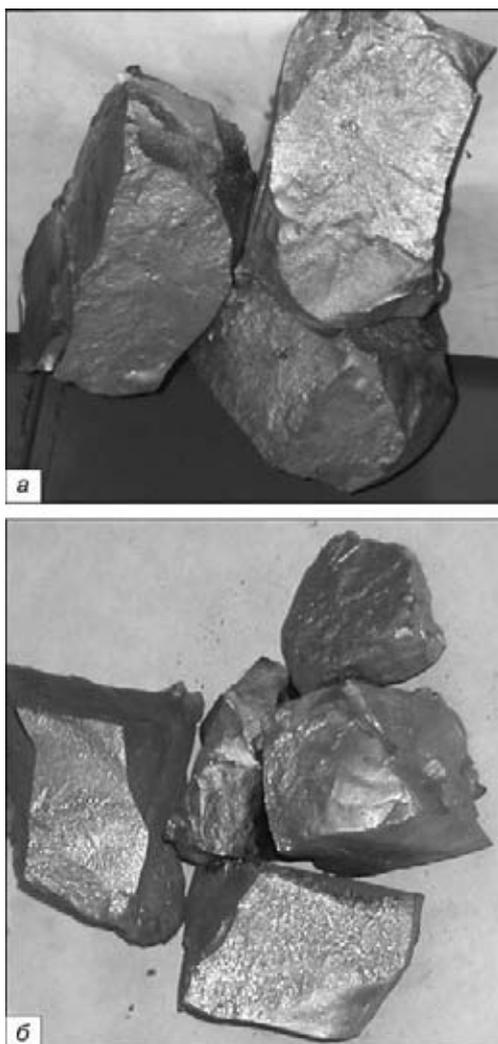


Рис. 3. Образцы получаемых ферросплавов: *а* — ферротитан; *б* — ферромolibден

Ширина слитка определяется размерами кристаллизатора и с учетом усадки металла колеблется в пределах 293... 296 мм.

Подтверждено, что уровень тока плазматрона оказывает значительное влияние на глубину проплавления, а скорость перемещения кристаллизатора — на длину ванны жидкого металла. Напряжение на дуге зависит от ее длины, а также от угла наклона плазматрона.

Оптимизация параметров описанной технологии позволила получить однородные слитки: колебание массовой доли легирующих элементов по длине слитка не превышала 4, по ширине — 1, по глубине — 0,3 %, что для ферросплавов и лигатур является вполне приемлемым. Химический состав выплавленных ферросплавов и лигатур приведен в табл. 1.

Как следует из таблицы, указанный способ плавки позволяет получать ферросплавы и лигатуры заданного состава с низким содержанием углерода, кислорода, азота и других вредных примесей, что способствует высокому качеству этих материалов. Во всех случаях отобранные образцы были без шлаковых включений, имели металлический цвет.

На рис. 3 приведены образцы 70%-го ферротитана и 60%-го ферромolibдена, полученных спосо-

бом плазменно-дугового переплава шихты в подвижном кристаллизаторе.

Значения удельного расхода электроэнергии и аргона при оптимальной массе переплавляемого металла различного химического состава ферросплавов и лигатур указаны в табл. 2.

Как видно из таблицы, чем выше температура плавления основного легирующего элемента, тем меньше оптимальная масса переплавляемого металла и больше удельный расход электроэнергии и аргона.

Если повышение содержания титана в ферросплаве способствует уменьшению его плотности, а температура плавления сплава изменяется незначительно [8], то при выплавке феррованадия, феррониобия и ферромolibдена с увеличением количества основного легирующего элемента в сплаве зафиксирован резкий рост температуры сплавов, что приводит к уменьшению размеров жидкой ванны и необходимости снижения оптимальной массы переплавляемого металла. Для улучшения энергетических и экономических показателей следует увеличить размеры кристаллизатора и отработать многоплазмотронную схему переплава. При этом размеры кусков техногенных отходов могут быть соизмеримы с размерами кристаллизатора, что не требует специальной подготовки шихты.

Данный способ переплава крупногабаритной шихты может быть рекомендован для создания промышленного плавильного комплекса емкостью до 1 т с приемлемыми энергетическими и экономическими параметрами процесса при обеспечении высокого качества получаемых ферросплавов и лигатур.

Выводы

1. Установлено, что плазменно-дуговой переплав шихты в подвижном кристаллизаторе позволяет получать высококачественные ферросплавы и лигатуры с низким содержанием шлаковых включений, углерода, кислорода, азота и других вредных примесей.
2. Определены значения удельного расхода электроэнергии и аргона при оптимальной массе ферросплавов, а также лигатур различного химического состава.

1. Гасик Л. Н., Игнатъев В. С., Гасик Н. И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. — Киев: Техника, 1975. — 151 с.
2. Рожков Д. Е. Тенденции развития производства и потребления ферротитана в России и за рубежом // Докл. междунар. конф. «Ti-2004 в СНГ» (г. Санкт-Петербург 25–26 мая 2004 г.). — СПб, 2004. — С. 30–36.
3. В. И. Лакомский. Плазменнотуговой переплав / Под ред. акад. Б. Е. Патона. — Киев: Техника, 1974. — 336 с.
4. Еднерал Ф. П. Электрометаллургия стали и ферросплавов. — М., 1963. — 540 с.
5. Дуррер Ф. Фолькерт Г. Metallurgia ферросплавов. — М.: Metallurgia, 1976. — 479 с.
6. Мескин В. С. Основы легирования стали. — М., 1964. — 684 с.
7. Виноград М. И. Включения в стали и ее свойства. — М., 1963. — 252 с.
8. Шанк Ф. А. Структуры двойных сплавов. — М.: Metallurgia, 1973. — 760 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 17.05.2006