



УДК 669.187.58

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ПЛАВКА НА ДИСПЕРСНОЙ ПОДЛОЖКЕ В ПОДВИЖНОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

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

Показана целесообразность применения плазменной плавки в горизонтальном кристаллизаторе на дисперсной подложке для компактирования губчатого титана в плоский слиток и выплавки высококачественных ферросплавов. Определены оптимальные значения толщины дисперсного слоя и технологические параметры плазменной плавки, обеспечивающие надежную теплоизоляцию выплавляемого слитка от стенок и дна горизонтального кристаллизатора.

Shown is the expediency of application of plasma melting in a horizontal mould on dispersed substrate for compacting the sponge titanium into a slab ingot and melting of high-quality ferroalloys. Optimum values of thickness of a dispersed layer and technological parameters of plasma melting, providing the reliable heat insulation of ingot being melted from walls and bottom of horizontal mould are determined.

Ключевые слова: плазменно-дуговая плавка; дисперсная подложка; компактирование; титановая губка; ферросплавы

Наряду с вакуумно-дуговыми [1] и электронно-лучевыми [2] технологиями плазменно-дуговой переплав также может успешно применяться для выплавки слитков из высокорекреационных и тугоплавких металлов и их сплавов, рафинирования поверхностного слоя слитков и получения высококачественных ферросплавов и лигатур [3–5].

Одной из разновидностей плазменно-дугового переплава металлических материалов является плавка в горизонтальном подвижном кристаллизаторе [6], отличительная особенность которой заключается в небольшой глубине металлической ванны. По сравнению с плавкой в вертикальный кристаллизатор, здесь значительно меньшее развитие получают ливкационные процессы, что особенно важно при плавке сплавов из исходных компонентов, имеющих существенные различия в физических свойствах. Кроме того, существует возможность в широких пределах варьировать габариты выплавляемого слитка, используя различные типоразмеры кристаллизаторов и послыное наплавление. Данный процесс позволяет переплавлять шихту различного гранулометрического состава размерами от нескольких до сотен миллиметров, что зна-

чительно снижает затраты на подготовку исходных материалов и упрощает ее загрузку.

Однако при указанной плавке развитая поверхность контакта выплавляемого слитка с медным поддоном и боковыми стенками кристаллизатора приводит к значительным потерям тепла, что в свою очередь обуславливает повышенный удельный расход электроэнергии и плазмообразующего газа.

Нами предложен и разработан способ плазменно-дуговой плавки в горизонтальном кристаллизаторе, который позволяет существенно уменьшить теплоотвод от выплавляемого слитка к водоохлаждаемым элементам такого кристаллизатора. Суть его заключается в осуществлении процесса на так называемой дисперсной подложке, укладываемой на поверхность водоохлаждаемого поддона. Дисперсная подложка представляет собой слой частиц дробленого металла того же химического состава, что и выплавляемый слиток. А фракция частиц и толщина дисперсного слоя подбираются таким образом, чтобы исключить протекание через него жидкого металла к поверхности водоохлаждаемого поддона, при этом сама дисперсная подложка частично подплавляется.

В настоящей работе изучали влияние параметров дисперсной подложки и технологических режимов процесса на формирование получаемых слит-

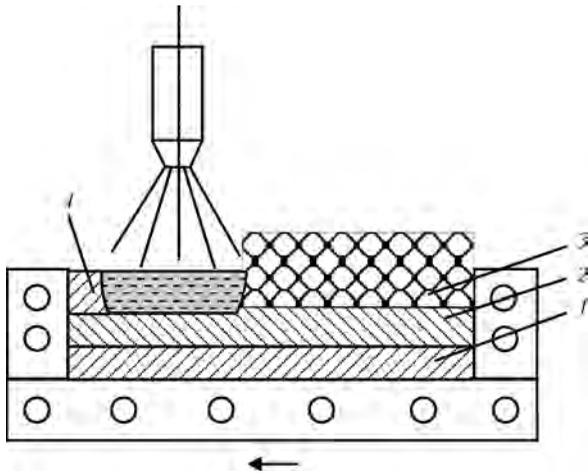


Рис. 1. Схема послойной выплавки слитка в горизонтальном кристаллизаторе: 1, 2, 4 – соответственно 1-, 2- и 3-й слои; 3 – шихта

ков, их качество и теплоэнергетические показатели плазменно-дуговой плавки в горизонтальном кристаллизаторе.

Исследования проводили на опытной плазменно-дуговой установке ОБ1957 Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины при компактировании титановой губки в плоский слиток с дисперсной подложкой и без нее. Плавки осуществляли в кристаллизаторе с внутренними размерами 800×300×70 мм. В процессе плавки кристаллизатор перемещался с заданной скоростью внутри плавильной камеры вдоль продольной оси формы, а плазмоторн совершал регулируемые колебательные движения поперек кристаллизатора. Плавка загруженной в кристаллизатор шихты начиналась от одной из его боковых узких сторон. По всей ширине формы наводилась металлическая ванна, которая перемещалась за счет движения кристаллизатора в направлении его противоположной стороны. При такой плавке осуществлялась постепенная (по длине кристаллизатора) выплавка слитка.

На рис. 1 приведена схема процесса переплава шихты в горизонтальном подвижном кристаллизаторе при послойном наплавлении плоского слитка. Плавку первого слоя производили с гарантированным расплавлением шихты до медного поддона и боковых стенок кристаллизатора. Последующие слои наплавливали таким образом, чтобы обеспечи-

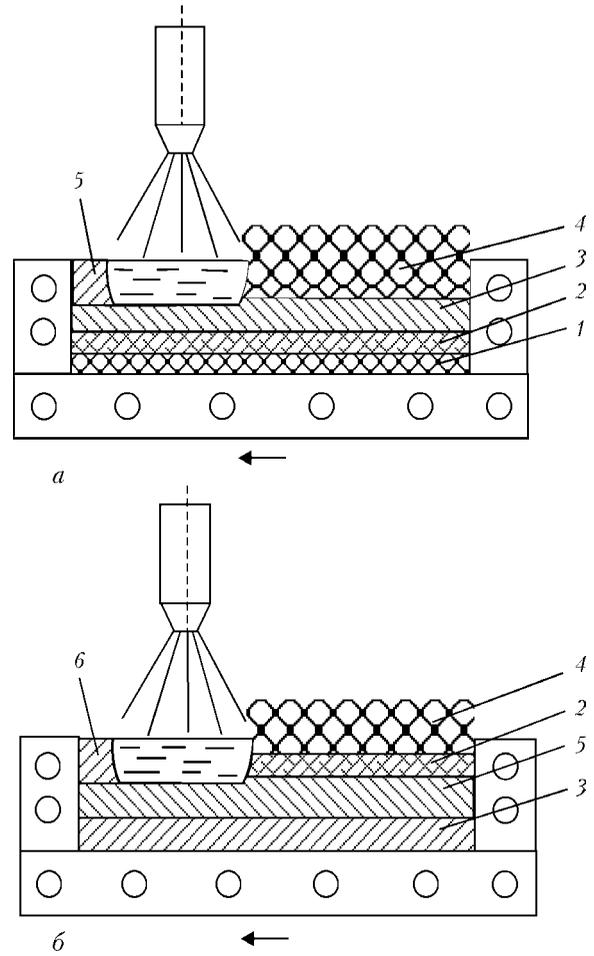


Рис. 2. Схема плазменно-дуговой плавки на дисперсной подложке (а) с последующим расплавлением спеченного слоя (б): 1 – дисперсная подложка; 2 – крица; 3, 5, 6 – соответственно 1-, 2- и 3-й слои; 4 – шихта

валось подплавление нижележащего слоя и бездефектное формирование получаемого слитка.

При переплаве шихты на дисперсном поду контакт выплавляемого слитка с медным кристаллизатором происходит только по его боковым формирующим плоскостям. Нижняя часть слитка полностью изолирована от медного поддона дисперсной подложкой (рис. 2, а). В ходе плавки первого слоя в нижней части металлической ванны при частичном оплавлении дисперсной подложки формируется спеченный слой металла, так называемая крица. После наплавки заданного количества слоев метал-

Технологические параметры процесса компактирования титановой губки							
Способ переплава	Наплавляемый слой	Масса металла в одной плавке, кг	Толщина слитка, мм	Изгиб слитка, мм	Затраты электроэнергии кВт·ч/кг	Расход аргона, л/кг	Примечание
Без дисперсной подложки	1	20	21	–	5,7... 5,9	120... 130	–
	2	22	44	1... 2	4,0... 4,1	90... 100	–
	3	20	65	3... 4	4,4... 4,5	80... 90	–
С дисперсной подложкой	1	26	32	–	3,4... 3,6	70... 80	Слиток с крицей
	2	24	57	1... 2	3,7... 3,8	70... 80	То же
	3	20	68	1... 2	4,4... 4,5	80... 90	Переплав крицы

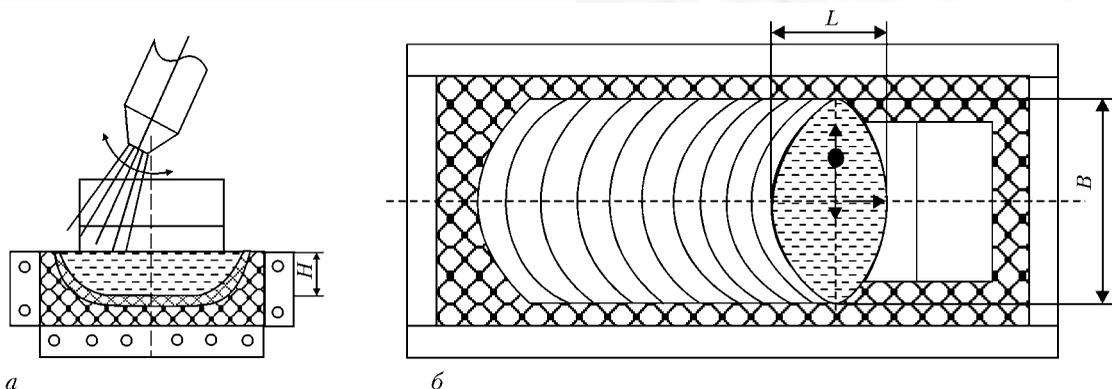


Рис. 3. Схема переплава шихты с донной и боковой изоляцией кристаллизатора дисперсной подложкой: *a* — вид со стороны узкой грани кристаллизатора; *б* — вид сверху; *H*, *L*, *B* — соответственно глубина, длина и ширина металлической ванны

ла полученный слиток переворачивают и проводят заключительный этап плавки, при котором обеспечивается полное проплавление крицы (рис. 2, б).

Возможности плавки на дисперсном поде проверяли при компактировании в слиток титановой губки марки ТГ-ТВ фракцией 30... 50 мм. Для дисперсной подложки использовали губку размерами 2... 5 и 5... 12 мм в равных пропорциях. Технологические режимы плавки следующие: ток на плазмотроне — 850... 1150 А, частота поперечных колебаний плазмотрона — 0,5... 1,0 колебаний в минуту, скорость перемещения кристаллизатора — 8... 12 мм/мин, дина дуги — 110... 150 мм. Амплитуда колебаний дуги соответствовала ширине кристаллизатора.

В процессе переплава фиксировали напряжение на дуге и стабильность ее горения. После завершения плавки измеряли глубину проплавления и длину ванны, изучали качество полученных слитков и их коробление (кривизну по длине и ширине). Проведенные исследования позволили выбрать оптимальные режимы плавки, обеспечивающие проплавление каждого слоя не менее, чем на 20 мм. При этом отмечено, что увеличение тока выше 1000 А приводит к разбрызгиванию металла. Основные технологические параметры процесса компактирования приведены в таблице.

Как следует из таблицы, применение дисперсного пода позволило сократить энергозатраты и рас-

ход аргона при выплавке первого и второго слоев слитка. При выплавке третьего и более слоев эти показатели практически не отличались, поскольку потери тепла от металлической ванны идут в основном на разогрев выплавленного ранее слитка.

Для выплавки из лома и отходов различных ферросплавов при отсутствии необходимости в получении слитка заданного размера и обеспечении высокого качества его поверхности особенно перспективной является технология плазменно-дуговой плавки на дисперсной подложке. В этом случае можно изолировать металлическую ванну не только от поддона, но и от стенок кристаллизатора.

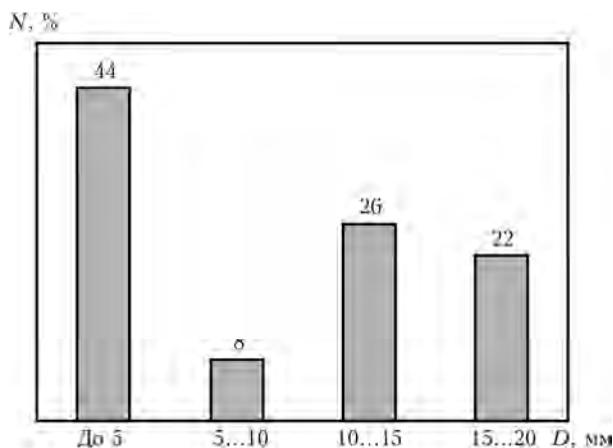


Рис. 4. Гранулометрический состав дисперсного слоя; *D* — размер фракции; *N* — содержание фракций в шихте

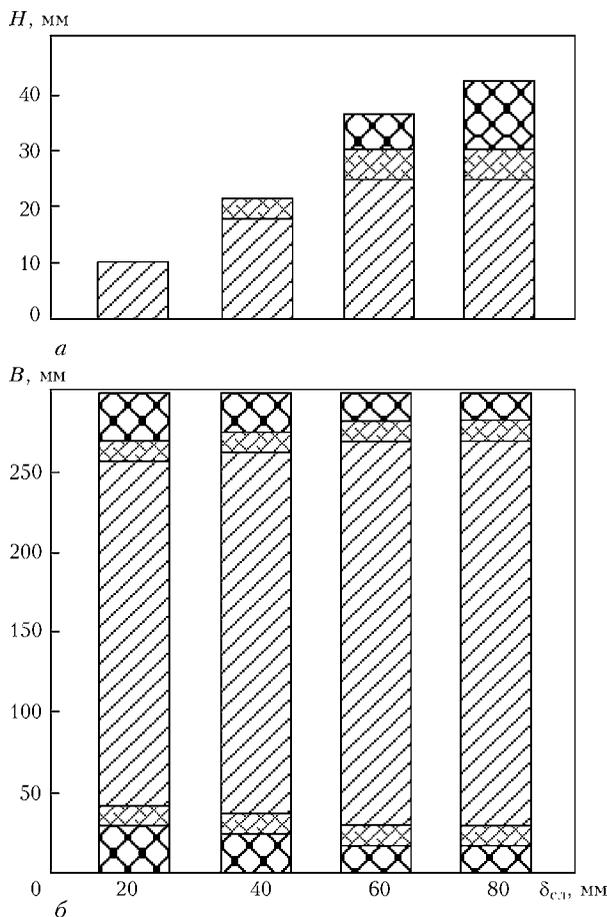


Рис. 5. Влияние толщины дисперсного слоя δ_{cd} на формирование слитка: *a*, *б* — соответственно глубина *H* и ширина *B* проплавления и спекания дисперсного слоя

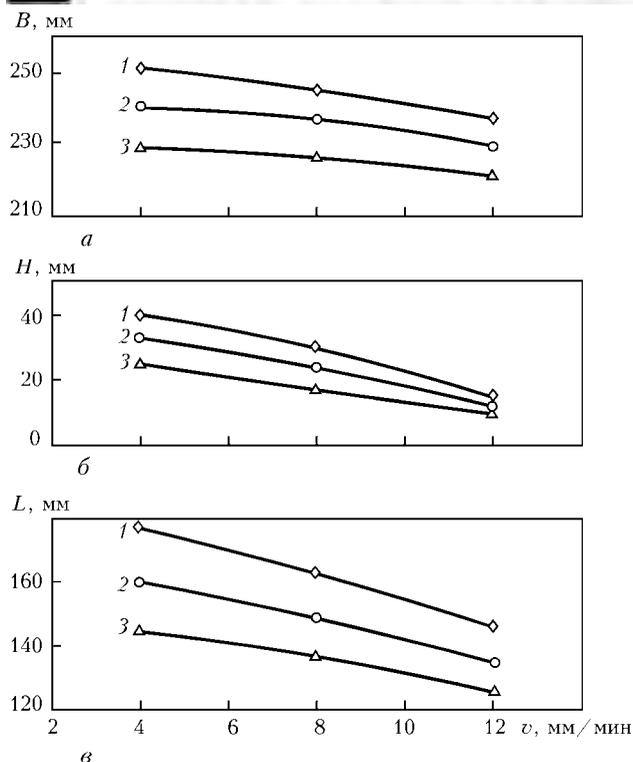


Рис. 6. Влияние тока плавки (1 – 1000; 2 – 900; 3 – 800 А) и скорости перемещения кристаллизатора на ширину (а), глубину (б) и длину (в) ванны жидкого металла при переплаве дисперсного слоя с поперечными колебаниями плазмотрона

В дальнейшем проводили опыты по выплавке из титанового и стального лома 70%-го ферротитана в медном кристаллизаторе на дисперсной подложке, представляющей собой дробленый ферросплав той же марки. Предварительно в том же кристаллизаторе, где компактировали титановую губку, изучали влияние толщины слоя дисперсной подложки на формирование металлической ванны.

Схема проведения плавки при поперечном колебании плазмотрона и продольном перемещении кристаллизатора представлена на рис. 3. Амплитуда колебаний равнялась 100 мм, частота – 0,3 колебания в минуту, скорость перемещения кристаллизатора 8 мм/мин, ток плазмотрона – 1000 А, напряжение на дуге длиной 70 мм – 40... 45 В. В качестве дисперсного слоя использовали 70%-й ферротитан, гранулометрический состав которого представлен на рис. 4. Насыпная масса металла дисперсного слоя составляла около 3 кг/дм³.

После плавки определяли размеры сформированного слитка, спеченного слоя и оставшейся дисперсной подложки. На рис. 5 приведены диаграммы, демонстрирующие влияние толщины дисперсного слоя на формирование металлической ванны. При толщине дисперсного слоя, равной 20 мм, металл проплавляется до медного охлаждаемого дна кристаллизатора. В случае увеличения толщины дисперсного слоя появляется не проплавленная, но спеченная прослойка. Глубина проплавления, ширина слитка и толщина спеченной прослойки при этом растут. Дальнейшее увеличение толщины дисперсной подложки приводит к появлению нерасплавленного его слоя, обеспечивающего теплоизоляцию слитка от медной стенки кристаллизатора во время плавки. После этого увеличение толщины дисперсной

подложки практически не влияет на изменение глубины и ширины проплавленного слоя металла.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для данной конструкции кристаллизатора и значений тока, не превышающих 1000 А, оптимальная толщина дисперсного слоя при выплавке 70%-го ферротитана составляет 60 мм.

С целью определения влияния технологических параметров процесса на объем металла, в каждый момент времени находящегося в жидком состоянии, проведены дополнительные эксперименты при толщине подложки 60 мм. Полученные при этом результаты (рис. 6) позволяют выбрать режимы плазменно-дуговой плавки на дисперсной подложке, обеспечивающие необходимые в каждом конкретном случае размеры металлической ванны. Последние важны с точки зрения обеспечения равномерности распределения элементов по объему слитка, выплавляемого из разнородной по химическому и гранулометрическому составу шихты, в данном случае, при выплавке 70%-го ферротитана из титанового и стального лома.

Приведенные на рис. 6 данные свидетельствуют о том, что при одних и тех же технологических режимах объем металлической ванны, преимущественно за счет ее глубины, при плавке на дисперсной подложке примерно в два раза больше, чем при переплаве шихты в медном кристаллизаторе или при плазменно-дуговом рафинировании поверхности плоских слитков [4, 6].

Таким образом, исследования показали, что применение дисперсной подложки при плазменно-дуговой плавке в горизонтальном подвижном кристаллизаторе за счет уменьшения тепловых потерь в водоохлаждаемую форму позволяет существенно (на 15... 20 %) сократить удельные затраты электроэнергии и (почти в два раза) удельный расход плазмообразующего газа. Данная плавка особенно перспективна для компактирования высокореакционных и тугоплавких металлов, выплавки из лома и отходов различных ферросплавов и лигатур.

1. Мусатов М. И., Фридман А. Ш., Сухоросов Б. Н. Выплавка слитков титановых сплавов в большегрузных гарнисажных печах // Цветные металлы. – 1991. – № 12. – С. 20–30.
2. Электронно-лучевая плавка недробленых блоков губчатого титана / Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин, Г. В. Жук и др. // Современ. электрометаллургия. – 2006. – № 4. – С. 6–9.
3. Клюев М. М. Плазменно-дуговой переплав. – М.: Металлургия. – 1980. – 256 с.
4. Латаш Ю. В. Применение плазмы в металлургии: состояние и перспективы развития // Сварка и специальная электрометаллургия. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 265–276.
5. Латаш Ю. В., Торхов Г. Ф., Бурнашев В. Р. О возможности применения плазменно-дуговой гарнисажной плавки для выплавки комплексных лигатур из химически активных металлов // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1993. – № 2. – С. 3943.
6. 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.