



УДК 669.187.56.001.1

ВЫБОР ФЛЮСОВ ДЛЯ ДШП ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТИТАНОВЫХ СЛИТКОВ

Л. Б. Медовар, В. Я. Саенко, В. А. Рябинин

Рассмотрены особенности выбора системы флюсов для получения титановых слитков способом ДШП. Приведены данные экспериментальных плавок ДШП с использованием солевых композиций.

The specifics of selection of flux systems for producing titanium ingots by the ASR method is considered. Data of experimental melts of ASR using salt compositions are given.

Ключевые слова: дугошлаковый переплав; флюсовый затвор; шлаковый гарнисаж; фториды щелочноземельных металлов; редкоземельные металлы

В дугошлаковом переплаве (ДШП), разработанном в ИЭС им. Е. О. Патона еще в 1970-х гг. [1], объединяются возможности обработки жидкого металла электрической дугой, горящей в контролируемой газовой атмосфере и в жидком синтетическом шлаке, через который проходит ток в процессе переп-

лава расходуемого электрода. При этом слой синтетического шлака, покрывающий металлическую ванну, способствует рассредоточению тепла по ее сечению и снижению глубины металлической ванны, делает ее более плоской, чем при вакуумно-дуговом (ВДП) и электрошлаковом переплаве (ЭШП). Кроме того, благодаря образованию шлакового гарнисажа слитки ДШП, в отличие от слитков ВДП, имеют гладкую боковую поверхность, и механическая обработка перед последующим переделом не требуется.

Для реализации способа ДШП применительно к получению титановых слитков следовало обеспечить изоляцию дуги от контакта с воздухом и создать в зоне ее горения контролируемую газовую атмосферу. Необходимо было снизить стоимость титана и его сплавов, сделать их вполне конкурентоспособными с нержавеющими никельсодержащими сталями и сплавами [2, 3].

Опробовали две технологические схемы (рис. 1): ДШП с применением флюсового затвора — простейшего устройства, которое устанавливается непосредственно на верхний торец кристаллизатора; ДШП в камерной печи.

В последнем случае использовали имеющиеся печи вакуумно-дугового переплава с отключенной вакуумной системой, а также специально спроектированные камерные печи для ДШП, позволяющие вести процесс в контролируемой газовой атмосфере.

При ДШП электрическая дуга горит в защитном газе или парах шлака. Присутствие паров шлака,

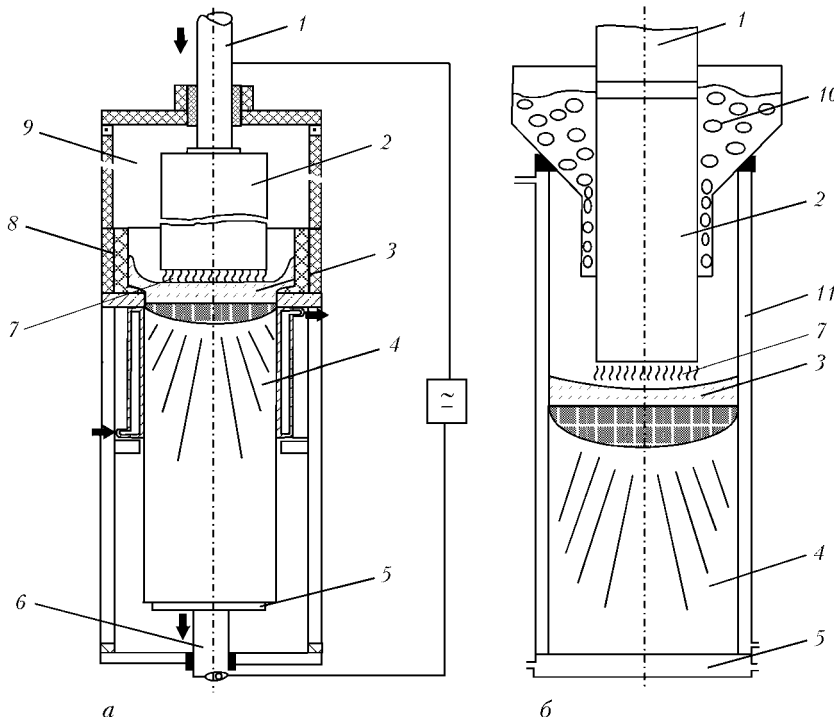


Рис. 1. Технологические схемы реализации ДШП в камерной печи с вытяжкой слитка из короткого кристаллизатора (а) и в обычной печи ЭШП в стационарном кристаллизаторе с применением флюсового затвора (б): 1 — инвентарная головка расходоуемого электрода; 2 — расходоуемый электрод; 3 — шлаковая ванна; 4 — слиток; 5 — водоохлаждаемый поддон; 6 — механизм вытяжки слитка из кристаллизатора; 7 — дуга; 8 — футерованная шлаковая надставка; 9 — камера печи; 10 — флюсовый затвор; 11 — водоохлаждаемый кристаллизатор



в котором имеются химические элементы с низким потенциалом ионизации, способствует стабилизации и устойчивости горения дуги. При ДШП, в отличие от ВДП, металлическая корона на слитке отсутствует. Это объясняется тем, что при ДШП брызги металла (мелкие капли) попадают или в шлаковую ванну, или в борт шлака, находящийся по периметру шлаковой ванны.

Глубина металлической ванны при выплавке слитков способом ДШП меньше, чем при ЭШП, а форма ванны более плоская. Это объясняется тем, что поверхность ванны обогревается более равномерно. Рассредоточению тепла по ванне способствует и перенос капель в ванну несколькими потоками по всему сечению электрода.

При ДШП поверхность жидкой шлаковой ванны является одним из электродов. Шлаковая ванна представляет собой расплав электролита с большим количеством сложных и простых ионов. Ее температура может достигать 2000 °С. Одни компоненты шлака при таких температурах испаряются, другие разлагаются (диссоциируют) на составляющие ионы и таком виде тоже могут участвовать в процессе переноса тока. Однако вследствие того, что температура дугового разряда значительно выше, чем шлаковой ванны, процессы испарения, диссоциации и ионизации выражены здесь намного сильнее.

Необходимо отметить, что компоненты, входящие в состав шлаков ДШП, по-разному воздействуют на условия горения дуги. Положительное влияние оказывают щелочные и щелочно-земельные металлы с низким потенциалом ионизации [4–7]. Они легко ионизируются, образуя катионы и свободные электроны, участвующие затем в переносе заряда.

Для смеси из различных газов и паров, присутствующих при ДШП, суммарный потенциал ионизации определяется компонентом с наименьшим потенциалом ионизации и зависит от его концентрации.

Так, потенциалы ионизации калия, натрия, кальция, аргона равны соответственно 4,33; 5,11; 6,10; 15,7 В. Таким образом, химический состав применяемых флюсов оказывает существенное влияние на электрические характеристики процесса (устойчивость и стабильность горения дуги, уровень пиков зажигания, наличие пауз в кривой тока, напряжение холостого хода источника питания и т. д.).

Присутствие легкоионизируемых элементов в шлаке способствует резкому снижению градиента напряжения в столбе дуги, возрастанию влияния элементов с низким потенциалом ионизации на эффективный потенциал ионизации газовой смеси. Последний стремится к потенциалу наиболее легкоионизируемого элемента в атмосфере дуги.

При ДШП титана используют в основном шлаки ЭШП, содержащие CaF₂ и ряд галогенидов щелочно- и редкоземельных материалов (табл. 1). Роль флюсов при ДШП титана несколько отличается от привычной роли рафинирующего компонента при ЭШП и ДШП стали и сплавов на основе железа. Также практически нивелируется роль шлака как теплоносителя.

Основной зоной выделения энергии является дуга. Проведенные исследования, в том числе в заводских условиях [4], показали, что по сравнению

Таблица 1. Свойства материалов, применяемых для создания флюсовых композиций при ДШП титана [8]

Компонент	Температура, °С		Плотность, г/см ³ , при T, °С		
	плавления	кипения	20	$\frac{1000}{T_{пл}}$	$\frac{1700}{T_{кип}}$
LiCl	606	1382	–	1,50	1,33
LiF	842	1676	1,80	1,73	–
MgF ₂	1263	2227	3,14	–	2,19
CaF ₂	1418	2500	3,20	2,60	2,40
SrCl	868	1950	3,20	2,70	$\frac{2,65}{2,4}$
SrF ₂	1486	2477	4,24	–	3,28
BaCl ₂	958	1560	3,14	3,11	–
BF ₂	1320	2200	4,91	4,22	3,78
NaF	995	1700	1,963	1,96	–
NaCl	800	1440	–	$\frac{1,42}{1,55}$	–
YF ₃	1152	2227	5,07	–	–
LaF ₃	1493	2327	5,94	–	4,43
AlF ₃	1040	1260	–	–	–
Na ₃ AlF ₆	1000	–	–	$\frac{3,036}{3,036}$	–
Ti	1671	3260	4,54	–	4,08

с ЭШП, способ ДШП при выплавке слитков из сталей и сплавов позволяет в 1,5 раза сократить расход электроэнергии, а также почти в 2 раза уменьшить потребление синтетического флюса на 1 т металла.

Основные функции шлака при ДШП титана, помимо стабилизации дуги, заключаются в формировании поверхности, образовании корочки гарнисажа, защите металла от окружающей атмосферы, образовании защитного конденсата, покрывающего расходующий электрод. При соответствующем подборе флюсовой композиции возможна регенерация шлака.

Для получения однородного по химическому составу электрошлакового металла предназначены флюсы, не содержащие оксидов легковосстановимых элементов хрома, марганца, кремния и др. Наибольшего внимания заслуживают фториды в качестве компонентов флюса. Однако некоторые из них (фториды лития, калия, натрия) имеют высокую проводимость и склонность к образованию комплексных соединений с титаном, хромом, цирконием и т. д.

Ввиду низкой температуры плавления и кипения хлоридов щелочноземельных металлов, которая ни-

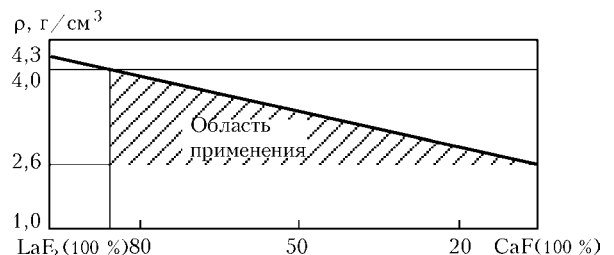


Рис. 2. Область применения флюса на основе соединений ФРЗМ и CaF₂ для процесса ДШП



Рис. 3. Флюсовый затвор с устройством для продувки аргоном

же, чем у аналогичных фторидов, большинство из них не могут быть взяты за основу флюса при ДШП. Кроме того, часть из них (например хлористый кальций) имеет склонность к гидратации [8]. Свойства соединений, входящих во флюсы, представлены в табл. 1.

Наименее химически активными по отношению к расплавленному металлу и наиболее простыми по строению являются солевые шлаки. Они не содержат оксидов, загрязняющих металл неметаллическими включениями и окисляющих его.

Б. И. Медовар совместно с С. М. Гуревичем в середине 1950-х гг. в впервые в мире предложили и использовали для сварки высоколегированных сталей флюсы галоидного типа, не содержащие в

своем составе окислительных соединений [3]. Температура кипения флюса должна быть достаточно высокой (не ниже 2000 °С), чтобы шлаки можно было перегреть выше температуры плавления титана. Основой этих флюсов служил CaF_2 .

Один из первых сварочных флюсов на основе CaF_2 назван АНФ-1, т. е. измельченный до необходимого размера зерен и прокаленный при высокой температуре плавиловый шпат. Подобные флюсы за рубежом появились и нашли применение лишь много лет спустя. Практически сразу же фторидные флюсы получили применение и при ЭШП сталей, легированных легкоокисляющимися элементами. Экспериментальные исследования ИЭС им. Е. О. Патона показали, что флюс для ЭШП титана может быть составлен на основе особо чистых тугоплавких фторидов щелочноземельных металлов: фтористого кальция, фтористого стронция и фтористого бария [5], а также фторидов редкоземельных металлов (ФРЗМ) на основе LaF_3 . Фториды щелочноземельных металлов характеризуются высокими значениями температуры плавления (более 1200 °С) и кипения (свыше 2200 °С). В экспериментальных условиях при ДШП титана опробованы флюсы, составленные на основе CaF_2 : CaF_2 — ФРЗМ; CaF_2 – BaF_2 – CaCl_2 ; CaF_2 – BaF_2 – CaCl_2 – SrF_2 . Они успешно применялись и для получения титановых слитков ДШП.

Новые возможности для получения бездефектных титановых слитков способом ДШП открываются в результате создания нового технологического процесса, разработанного на основе использования токопроводящего кристаллизатора в сочетании с активными шлаками, содержащими металлургический кальций. Это позволяет более полно растворять в процессе переплава твердые высокоазотистые включения, если таковые они окажутся в расходуемых электродах.

Однако реализовать данный технологический процесс, согласно работе [5], можно только в камерной печи с контролируемой атмосферой и применением новых флюсовых композиций, поскольку при этом появляются проблемы, связанные с вытяжкой слитка, кроме того, — новые требования к применяемым флюсам. Новые данные о применении камерных печей при получении титановых слитков представлены в работах [6, 7].

При использовании ФРЗМ в качестве компонентов флюса требуется точный расчет плотности получаемых шлаковых композиций, в противном случае плотность шлака превысит плотность металла. Нограмма для использования ФРЗМ и фторида кальция представлена на рис. 2. Для ее построения использовали данные исследований, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона с применением ФРЗМ при изготовлении титанового слитка ДШП.

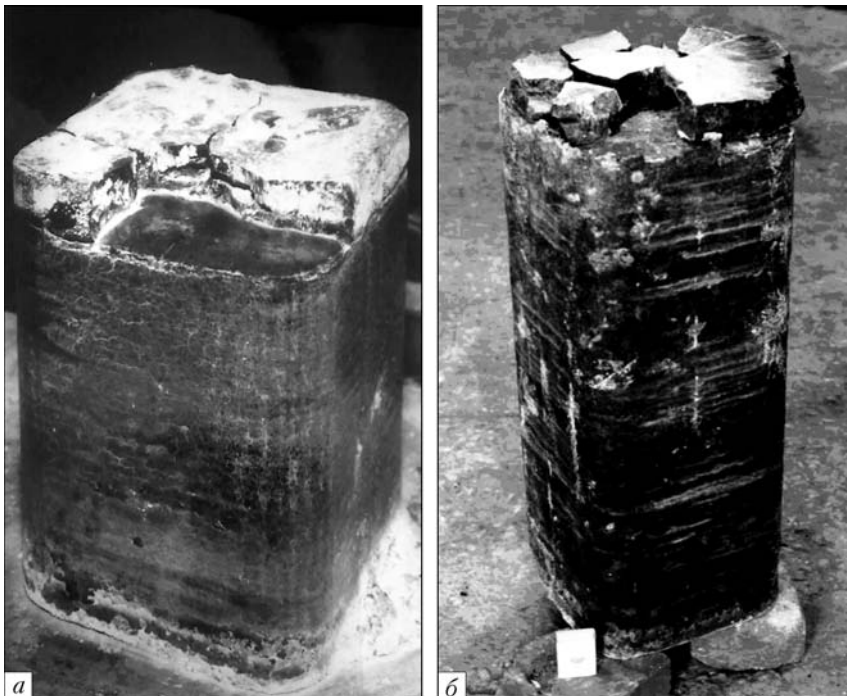


Рис. 4. Титановые слитки ДШП из титана ВТ1-0 квадратного сечения 200×200 мм, выплавленные под флюсами CaF_2 (а) и CaF_2 + ФРЗМ (б)



Таблица 2. Результаты ДШП титана ВТ1-0 в кристаллизаторе квадратного сечения 200×200 мм с флюсовым затвором

№ плавки	Электрический режим плавки		Флюс	[O], %			[N], %			Твердость, НВ		
	I, кА	U, В		Низ	Середина	Верх	Низ	Середина	Верх	Низ	Середина	Верх
1	3,0	98	CaF ₂	0,097	0,08	0,12	0,021	0,024	0,025	133	135	139
2	2,5	100	CaF ₂ + ФРЗМ (30 %)	0,099	0,10	0,11	0,030	0,030	0,035	151	152	157

Примечание. Согласно требованию ГОСТ 19807-77 содержание кислорода в ВТ1-0 составляет ≤0,12 %.

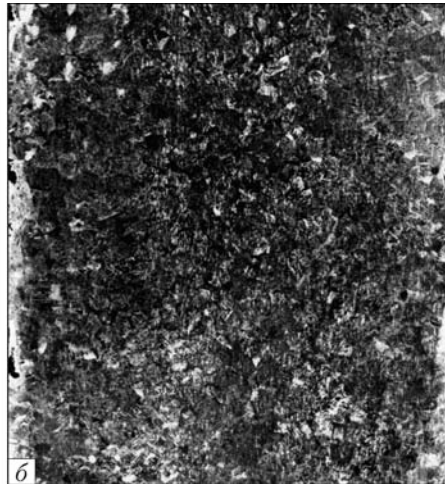


Рис. 5. Темплеты слитка ДШП из титана марки ВТ1-0 с применением флюсов CaF₂ (а) и CaF₂ + ФРЗМ (30 %) (б)

Рис. 6. Торцы расходуемого электрода диаметром 100 мм марки ВТ1-0 после плавки



Способом ДШП получили опытно-промышленную партию слитков из титана марки ВТ1-0 с применением новых шлаковых композиций. ДШП выполняли в печи Р-951 с использованием стационарных кристаллизаторов квадратного сечения 200×200 мм с флюсовым затвором. Заливку флюса проводили через сифон. Для защиты плавильной зоны применяли флюсовый затвор и продувку аргоном (рис. 3). Слитки после обивки шлакового гарнисажа имели хорошую поверхность. Внешний вид выплавленных слитков ДШП приведен на рис. 4. Результаты химического анализа полученного металла представлены в табл. 2.

Твердость НВ металла ДШП, выплавленного с применением флюса с добавлением ФРЗМ, выше, чем такового с использованием чистого CaF₂, по-видимому, из-за легирования титана редкоземельными металлами в результате восстановления их из шлака в процессе ДШП.

На рис. 5 приведены фрагменты продольных макрошлифов верхней части слитков ДШП, выплавленных в соответствии с технологическим режимом плавки № 1 и 2, а также внешний вид конца расходуемого электрода после окончания плавки. Плавление электрода характеризуется ярко выраженным равномерным каплеобразованием металла по всему сечению электрода (рис. 6).

В результате проведенной работы показано, что получение титановых слитков способом ДШП может быть реализовано на существующих печах ЭШП с использованием обычных кристаллизато-

ров ЭШП, оборудованных флюсовыми затворами. Применение при ДШП титана флюсов с добавками (до 30 %) ФРЗМ позволяет обеспечить высокое качество поверхности слитков и плотную, без дефектов, макроструктуру.

1. А. с. 520784 СССР, МПК С 21 с 5/56. Способ переплава расходуемого электрода / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. И. Лакомский и др. — Оpubл. 07.07.82, Бюл. № 4.
2. О новых возможностях дугошлакового нагрева / Б. Е. Патон, Г. М. Григоренко, Б. И. Медовар и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1995. — № 4. — С. 3-6.
3. Медовар Б. И., Гуревич С. М. Бескислородные флюсы для сварки высоколегированных сталей и сплавов // Автомат. сварка. — 1955. — С. 31-41.
4. Дугошлаковый переплав — современное состояние и перспективы развития / Б. Е. Патон, В. Я. Саенко, Ю. М. Помарин и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2000. — № 4. — С. 18-20.
5. Перспективы применения металлического кальция и РЗМ при ЭШП / Л. Б. Медовар, В. Я. Саенко, Ю. М. Помарин, В. И. Ус // Там же. — 2000. — № 4. — С. 18-29.
6. Троянский А. А., Рябцев А. Д. Электрошлаковый переплав металлов и сплавов под флюсами с активными добавками в печах камерного типа // Электрометаллургия. — 2005. — № 4. — С. 25-32.
7. Троянский А. А., Рябцев А. Д. О работах Донецкого национального технического университета по электрошлаковой выплавке и рафинированию титана // Литейн. произ-во. — 2007. — № 1. — С. 11-17.
8. Гуревич С. М., Дидковский В. П., Новиков Ю. К. Получение слитков и литых заготовок из титановых сплавов методом электрошлакового переплава // Электрометаллургия, 1964. — С. 184-188.

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

Поступила 10.02.2010