

УДК 621.791.04: 669.017

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СЛИТКОВ  
ФЕРРОТИТАНА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ВЫПЛАВКИ**

**С. П. Бережный, А. Е. Капустян**

*Запорожский национальный технический университет*

Технологии изготовления покрытий электродов для ручной дуговой сварки постоянно совершенствуются, однако часто содержание примесей и включений в наплавленном металле превышает их содержание в основном металле и сварочной проволоке. Повышение чистоты металла сварного шва возможно при использовании в составе покрытия электродов ферросплавов с более низким содержанием включений и примесей, в частности, ферротитана электрошлаковой выплавки (ЭШВ) взамен получаемого алюмотермическим методом [1; 2].

Одним из требований к ферросплавам, вводимым в покрытие электродов, является стабильность состава и строго определенная грануляция. Эти требования диктуются как условиями изготовления сварочных электродов, так и необходимостью надлежащего выполнения функции раскисления и легирования металла.

Наиболее часто используемый при изготовлении сварочных электродов ферротитан ФТi30А (ГОСТ 4761-91) алюмотермического способа производства, содержащий 20–35 % Ti, измельчается до фракции 0,1–0,2 мм и при этом довольно легко поддается дроблению.

Полученные опытные слитки ферротитана ЭШВ аналогичного состава с содержанием титана около 30 % значительно хуже поддавались дроблению. Для выявления причин снижения размольной способности ферротитана электрошлаковой выплавки были проведены металлографические исследования структуры данных сплавов.

Электрошлаковую выплавку опытных слитков ферротитана осуществляли на установке А-550 в неподвижный кристаллизатор сечением 80 × 90 мм, начиная процесс твердым стартом. Ток переменный промышленной частоты 1,7–2,2 кА, напряжение на электроде 25–27 В. Комбинированные расходоуемые электроды изготавливались из листов титана ВТ1-0 и стали Ст.3 толщиной 0,05 м.

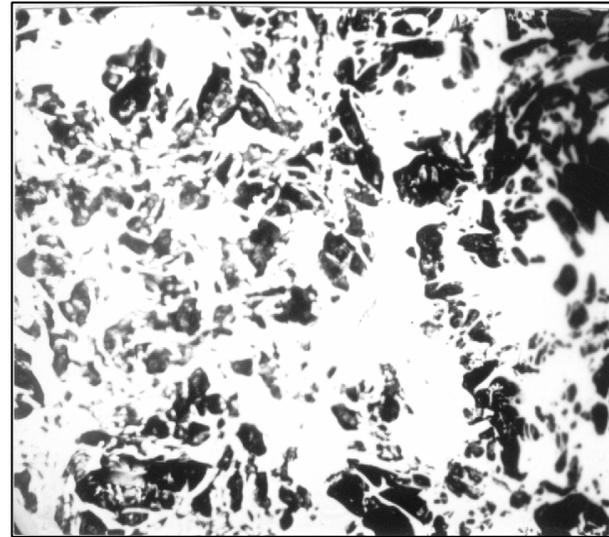
Для выявления микроструктуры в качестве травителя применяли смесь плавиковой, азотной кислот и воды в соотношении (1:1:3). Микротвердость фаз измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузках 50 и 100 г на образцах для микроструктурного анализа.

Головная часть слитка ФТi30А, полученного алюмотермическим способом, содержит большое количество шлаковых включений, донная часть имеет большое количество трещин, пор и несплошностей.

Микроструктура также достаточно неоднородна с большим количеством несплошностей, достигающих 30 % площади шлифа (рис. 1 а). Основное поле исследуемого ферросплава ФТi30А состава Ti 28–32 %, Al 9–10 %, Si 2,0–2,5 %, Cu 0,32 %, С 0,11 %, представляет собой светлые участки (рис. 1 б), имеющие твердость H = 16000–17700 МПа. В этой фазе содержание

элементов составляет: Ti 25–30 %, Al 2,3–3,0 %, Si 1,5–2,0 %, что согласно диаграммы Fe–Ti соответствует интерметаллиду TiFe<sub>2</sub>.

а



б

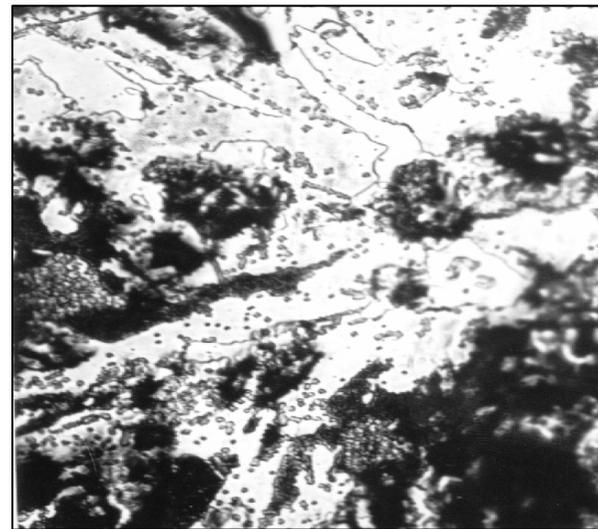


Рис. 1. Микроструктура сплава ФТи30А:  
а – до травления,  $\times 100$ ; б – после травления,  $\times 300$ .

Внутри светлых участков расположены белые участки вытянутой формы, микротвердость которых  $H = 21200\text{--}22000$  МПа. Содержание элементов в данной фазе составляет Ti 30–34 %, Al 8,0–10 %, Si 1 %. Эта фаза представляет собой твердый раствор алюминия и кремния в  $\text{TiFe}_2$ . Высокая концентрация алюминия, видимо, и обуславливает ее высокую твердость. Таким образом, неоднородность структуры при наличии твердых растворов с высокой микротвердостью обуславливает хорошую дробимость такого сплава.

Микроструктура слитков ферротитана алюмотермического способа производства ФТи30А по фазовому составу согласно [3] представляет собой твердый раствор титана, алюминия и кремния в железе, близкий по составу  $\text{TiFe}_2$ . В системе Fe–Ti–Al [4] при 800 °С растворимость алюминия в TiFe составляет 25 (ат) %. При 20 °С в соединении TiFe растворяется до 20 (ат) % Al, а в  $\text{TiFe}_2$  до 37 (ат) %. Согласно диаграмме Ti–Fe–Si [4] в  $\text{TiFe}_2$  растворяется до 27 (ат) % Si. Область гомогенности твердого раствора  $\text{Ti}(\text{FeSi})_2$  вытянута вдоль изоконцентраты 33,3 (ат) % Ti. Соединение имеет ромбическую решетку. Следовательно, в сплаве ФТи30А при химическом составе в пределах: Ti 30–35 %, Al 5–12 %, Si до 2 % весь Al и Si могут растворяться в соединении  $\text{TiFe}_2$ .

Условия формирования слитков ферротитана при ЭШВ и алюмотермическом способе производства существенно отличаются, что отражается на структуре получаемых слитков и их свойствах. Макроструктура полученных слитков ферротитана ЭШВ с содержанием 28,5 % Ti однородная, плотная, направленной кристаллизации, характерная для процессов ЭШВ. Шлаковые включения, поры и другие несплошности отсутствуют.

Сплав ферротитана ЭШВ имеет отличия и по микроструктуре. Четко видны светлые поля твердого раствора (рис. 2) с микротвердостью  $H = 16000\text{--}16600$  МПа, некоторое количество эвтектики, имеющей микротвердость  $H = 8100\text{--}8500$  МПа. Единичные желто-розовые включения содержат около 50–60 % Ti, что позволяет их классифицировать как карбонитриды титана.

Согласно диаграмме Fe–Ti, при 28,5 % Ti структура сплава должна состоять из химического соединения  $\text{FeTi}_2$ . Как установлено, основные светлые поля содержат 28–32 % Ti, что соответствует составу интерметаллида  $\text{FeTi}_2$ . Однако наличие эвтектики ( $\alpha + \text{FeTi}_2$ ) с содержанием титана 14–16 % свидетельствует об отклонении структуры данного сплава от структуры по диаграмме равновесного состояния Fe–Ti [4].

При ЭШВ из-за высокой скорости охлаждения условия формирования структуры слитка отличаются от условий равновесной кристаллизации. При этом имеет место высокая интенсивность теплоотвода и различия в скорости кристаллизации отдельных участков слитка. Появление эвтектики связано с тем, что область гомогенности соединения  $\text{TiFe}_2$  при комнатной температуре узкая (не более 4 %) и расширяется при повышении температуры. Следовательно, в условиях ЭШВ при незавершенности протекания

диффузионных процессов в полном объеме, а также ввиду узкой области гомогенности соединения  $TiFe_2$  при комнатной температуре, в слитках ферротитана с содержанием титана 28,5% формируется неравновесная структура, состоящая из насыщенного титаном твердого раствора  $TiFe_2$  и эвтектики ( $\alpha + TiFe_2$ ). Эвтектика с невысокой микротвердостью распределена вокруг зерен хрупкого интерметаллида  $FeTi_2$ . Поэтому слитки ферротитана ЭШВ с такой структурой хуже поддаются дроблению в сравнении со сплавом аналогичного состава, полученного алюмотермическим методом.

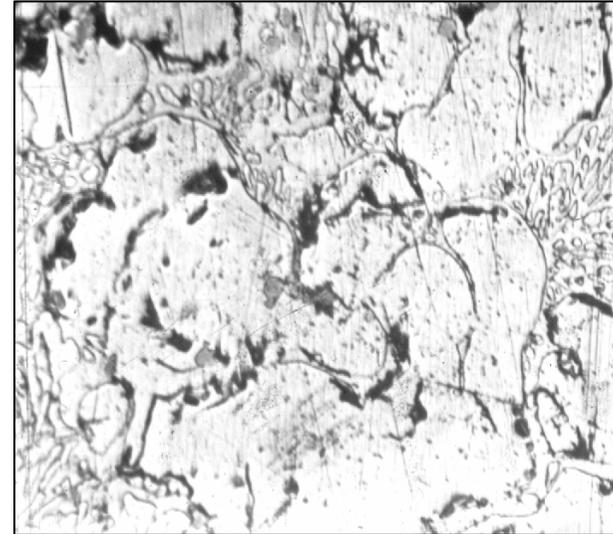


Рис. 2. Микроструктура сплава Fe–Ti полученного методом ЭШВ после травления,  $\times 300$ .

#### Литература

1. Попов В. С. Зниження вмісту шкідливих домішок у металі шва при використанні комплексного розкислювача в покритті зварювальних електродів // Матеріалознавство та обробка металів. – 2000. – № 3. – С. 58 – 61.
2. Попов В. С. Влияние составов ферросплавов на содержание и форму неметаллических включений в металле, наплавленном электродами УОНИ 13/55 [Текст] / В. С. Попов, И. М. Білоник, С. П. Бережний, В. П. Пирожкова // Автоматическая сварка. – 2000. – № 8. – С. 23 – 25.
3. Гасик Л. Н. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур [Текст] / Л. Н. Гасик, В. С. Игнатъев, М. И. Гасик. – К. : Техніка, 1975. – 152 с.
4. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник [Текст] / под ред. О. А. Банных. – М. : Металлургия, 1986. – 436 с.