

ПОЛУЧЕНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ4, ЛЕГИРОВАННОГО МАРГАНЦЕМ, В ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ПЕЧИ КАМЕРНОГО ТИПА

И.В. Протокивиллов, Д.А. Петров, В.Б. Порохонько

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Приведены результаты изучения возможности получения слитков титанового сплава ОТ4, легированного марганцем, из первичной шихты способом электрошлакового переплава. Выплавлены слитки диаметром 64 и 84 мм в камерной электрошлаковой печи в атмосфере аргона при его избыточном давлении. В качестве расходных электродов использованы прессованные заготовки и слитки первого переплава. Литой металл подвергали горячей прокатке с последующим отжигом. Установлено, что содержание марганца и алюминия в слитках электрошлакового переплава соответствует их расчетному составу в исходной шихте. Снижение содержания этих компонентов в сплаве после двойного переплава не выявлено. Показано, что механические свойства горячекатаного прутка соответствуют требованиям стандарта для прутков повышенного качества. Таким образом, камерный электрошлаковый переплав является эффективным способом получения слитков титановых сплавов, легированных элементами с высокой упругостью пара, в частности марганцем. Библиогр. 6, табл. 3, рис. 4.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав; титановый сплав ОТ4; слиток; структура; механические свойства

Среди широкой номенклатуры титановых сплавов в отдельную группу, с точки зрения технологии их получения, можно выделить сплавы, в состав которых в качестве легирующего компонента входит марганец. Это преимущественно сплавы системы легирования Ti–Al–Mn с разным соотношением компонентов. К ним относятся разработанные в бывшем СССР сплавы ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4, а также их китайские и японские аналоги — TC1, TC2, SAT-A90 и др. [1, 2].

Марганец является изоморфным β-стабилизатором титана и в отличие от других элементов, стабилизирующих β-фазу, таких как ванадий и молибден, он доступен и имеет невысокую цену. Это позволяет эффективно его использовать в ряде титановых сплавов как заменитель более дорогостоящих β-стабилизаторов.

Наличие в составе титановых сплавов марганца, который обладает высокой упругостью пара, усложняет их производство способами вакуумной металлургии. Так, упругость пара марганца при температуре 1700 °С составляет 11100 Па. Для сравнения, упругость пара других часто используемых компонентов титановых сплавов при той же температуре составляет: алюминия — 502, хрома — 81,8, титана — 0,7, ванадия — 0,15 Па [3]. Такое высокое значение упругости пара марганца требует применения специальных мер для предотвращения его испарения в процессе переплава [4, 5]. В частности, при вакуумно-дуговом переплаве титановых сплавов, содержащих в качестве легирующей добавки марганец, слитки требуемого качества могут быть получены только при прове-

дении второго переплава в атмосфере инертного газа [4].

Еще большие сложности возникают при получении сплавов типа ОТ4 способом электронно-лучевой плавки (ЭЛП). Вследствие глубокого вакуума и высокой плотности энергии в электронном луче в процессе ЭЛП происходит избирательное испарение легирующих элементов с высокой упругостью пара, в частности марганца [6]. В связи с этим в Украине, где промышленное производство титановых сплавов осуществляется способом ЭЛП, получать титановые сплавы, легированные марганцем, нет возможности. В результате украинские предприятия авиационной и химической промышленности, энергетики и др. отраслей, в нормативные документы которых заложено использование данных сплавов, вынуждены их приобретать за границей.

Поэтому изучение возможности получения титановых сплавов, легированных марганцем, альтернативными способами, в частности электрошлаковым переплавом (ЭШП), является актуальной задачей. При данной технологии процесс плавки осуществляется в камерной печи при избыточном давлении инертного газа под слоем флюса, что исключает неконтролируемое испарение легирующих элементов с высокой упругостью пара. Указанные особенности определяют перспективность применения камерного ЭШП для получения титановых сплавов, легированных марганцем.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании технологических особенностей получения слитков титанового сплава ОТ4 способом

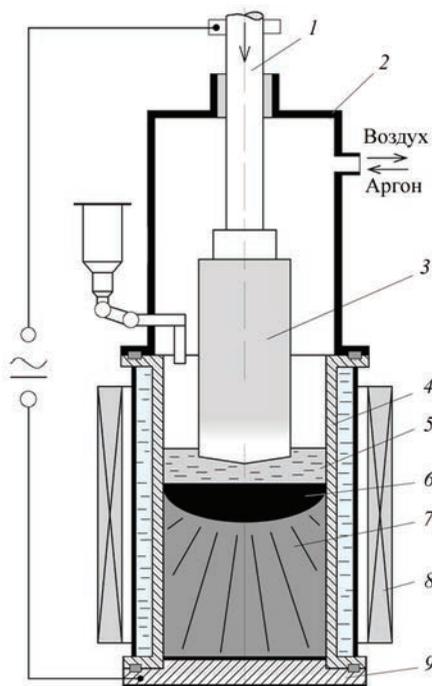


Рис. 1. Схема печи ЭШП камерного типа: 1 — шток механизма перемещения электрода; 2 — камера печи; 3 — расходный электрод; 4 — кристаллизатор; 5 — шлаковая ванна; 6 — металлическая ванна; 7 — слиток; 8 — соленоид системы электромагнитного перемешивания; 9 — поддон

ЭШП с использованием первичной шихты и оценке качества полученного металла.

Объектом исследований выбран титановый сплав ОТ4, имеющий в соответствии с ГОСТ 19807–91 следующий табличный состав, мас. %: Ti — основа; Mn — 0,8...2,0; Al — 3,5...5,0. Сплав относится к группе псевдо α -сплавов средней прочности с содержанием 2...4 % β -фазы. Он применяется для изготовления всех видов полуфабрикатов и предназначен для изделий, работающих длительно при температурах до 400 °С и кратковременно до 750 °С [1].



Рис. 2. Внешний вид слитков титанового сплава ОТ4 после первого (а) и второго (б) ЭШП

Таблица 1. Режимы ЭШП титанового сплава ОТ4

| Пере- плав | Диаметр, мм | | $V_{эл}$, м/ч | U, В | I, А |
|---------------|----------------|--------|----------------|---------|-------------|
| | элек- трода | слитка | | | |
| Первый | 38 | 64 | 4,2 | 29...30 | 1600...1700 |
| Второй | 64 | 84 | 0,9 | 29...30 | 3800...4200 |

В качестве исходного сырья для производства слитков использовали титан губчатый марки ТГ90, дозированные гранулы алюминия А99, марганец металлический чешуйчатый Мн997. Расходуемые электроды диаметром 38 мм изготавливали способом порционного прессования шихты на гидравлическом прессе.

Электроды переплавляли в электрошлаковой печи камерного типа (рис. 1) в кристаллизаторе диаметром 64 мм. Плавильное пространство предварительно вакуумировали, затем заполняли инертным газом до избыточного давления 0,2...0,5 атм. Использовали бескислородный, фторидно-хлоридный флюс на основе CaF_2 . Для изготовления образцов и исследования химического состава и макроструктуры металла полученные слитки резали на ленточной пиле. Часть слитков подвергали повторному переплаву в кристаллизаторе диаметром 84 мм для изучения влияния двойного переплава на содержание в металле легирующих компонентов. Режимы плавки и внешний вид выплавленных слитков приведены в табл. 1 и на рис. 2.

Во всех случаях процесс плавки проходил стабильно. Выплавленные слитки имели хорошее качество формирования боковой поверхности без пережимов и прочих поверхностных дефектов.



Рис. 3. Макроструктура слитка титанового сплава ОТ4, полученного способом ЭШП

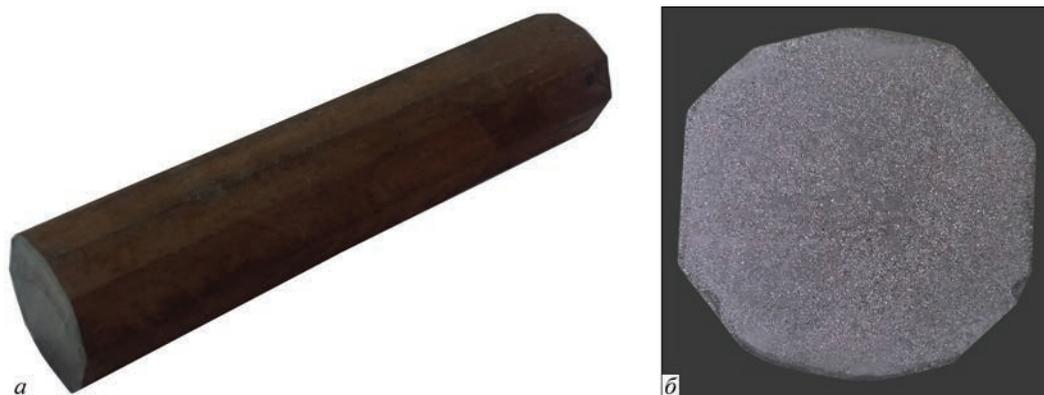


Рис. 4. Внешний вид прутка диаметром 50 мм, полученного в результате горячей прокатки слитка титанового сплава ОТ4 (а) и его макроструктура (б)

Таблица 2. Химический состав титанового сплава ОТ4, полученного способом ЭШП, мас. %

| № слитка | Место отбора проб | Ti | Al | Mn | Si | Fe | Zr |
|---------------------|------------------------------|--------|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| 1 (первый переплав) | Расчетный состав в электроде | 94,56 | 3,94 | 1,50 | – | – | – |
| | Низ | 94,48 | 3,74 | 1,52 | 0,08 | 0,059 | – |
| | Верх | 94,32 | 3,90 | 1,52 | 0,089 | 0,099 | – |
| 2 (первый переплав) | Расчетный состав в электроде | 94,46 | 3,97 | 1,57 | – | – | – |
| | Низ | 93,8 | 4,10 | 1,56 | 0,039 | 0,068 | – |
| | Верх | 94,4 | 3,82 | 1,56 | 0,096 | 0,059 | – |
| 3 (второй переплав) | Низ | 93,2 | 4,03 | 1,50 | 0,045 | 0,103 | – |
| | Верх | 94,0 | 3,87 | 1,56 | 0,031 | 0,054 | – |
| ГОСТ 19807–91 | | Основа | 3,5...5,0 | 0,8...2,0 | < 0,12 | < 0,3 | < 0,3 |

Макроструктура металла плотная. В периферийной зоне слитка, возле его боковой поверхности, дисперсность структуры несколько выше, чем в центральной части (рис. 3). Поры, трещины, неметаллические включения отсутствовали.

Результаты анализа химического состава металла, отобранного в верхних и нижних частях выплавленных слитков, приведены в табл. 2. Полученные данные свидетельствуют, что во всех случаях состав металла удовлетворяет требованиям стандарта. Содержание марганца и алюминия в слитках соответствует расчетному в электроде. Снижение содержания этих компонентов в сплаве после двойного переплава не выявлено.

Для изучения механических свойств сплава ОТ4 слитков второго переплава был подвергнут горячей прокатке на пруток. Температура начала прокатки составляла 1100 °С, конца — 900 °С, степень деформации — 65 %. Внешний вид горячекатаного прутка диаметром 50 мм и его макроструктура приведены на рис. 4. В структуре деформированного металла трещин, расслоений и прочих дефектов не обнаружено (рис. 4, б). Величина зерна соответствует 2-му баллу по 10-ти балльной шкале макроструктур в соответствии с ГОСТ 26492–85 «Прутки катаные из титана и титановых сплавов».

Перед изготовлением образцов для изучения механических свойств горячекатаный пруток подвергли отжигу при температуре 750 °С на протяжении 50 мин с последующим охлаждением на воздухе. Механические свойства определяли при испытаниях на растяжение при комнатной температуре. Результаты испытаний приведены в табл. 3. Полученные данные свидетельствуют, что по механическим свойствам пруток из титанового сплава ОТ4, полученного способом ЭШП, соответствует требованиям стандарта для прутков повышенного качества.

Таким образом, проведенные работы показали возможность получения из первичной шихты способом ЭШП в инертной атмосфере качественных слитков титанового сплава ОТ4, легированного марганцем. Химический состав литого металла и механические свойства изготовленного из него

Таблица 3. Механические свойства прутка из титанового сплава ОТ4, полученного способом ЭШП

| Пруток | $\sigma_{в'}$, МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % | ψ , % |
|---------------------------|---------------------|----------------------|--------------|------------|
| Горячекатаный, отожженный | 722 | 610 | 14,2 | 32,8 |
| ГОСТ 26492–85: | | | | |
| обычного качества | 685 | – | 8 | 25 |
| повышенного качества | 685...885 | – | 11 | 30 |

горячекатаного прутка полностью удовлетворяют требования соответствующих стандартов.

Отсутствие в процессе камерного ЭШП испарения легирующих элементов с высокой упругостью пара делает эффективным его использование для получения титановых сплавов, легированных марганцем, хромом, бором, оловом, иттрием и др.

Список литературы

1. Глазунов С.Г., Моисеев В.Н. (1974) *Титановые сплавы. Конструкционные титановые сплавы*. Москва, Металлургия.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. (2009) *Титановые сплавы. Состав, структура, свойства*. Справочник. Москва, ВИЛС–МАТИ.
3. *Vapor pressure calculator*. https://www.iap.tuwien.ac.at/www/surface/vapor_pressure
4. Аношкин Н.Ф., Глазунов С.Г., Морозов Е.И., Тетюхин В.В. (1978) *Плавка и литье титановых сплавов*. Дობаткин В.И. (ред.). Москва, Металлургия.

5. Альтман П.С., Максимов А.Ю., Бачурин В.А. (2007) *Способ выплавки слитков*. Пат. RU 2 304 176 С2.
6. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В., Жук Г.В. (2006) *Электронно-лучевая плавка титана*. Киев, Наукова думка.

References

1. Glazunov, S.G., Moiseev, V.N. (1974) *Titanium alloys. Structural titanium alloys*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
2. Iliin, A.A., Kolachev, B.A., Polkin, I.S. (2009) *Titanium alloys. Composition, structure, properties*: Refer. Book. Moscow, VILS-MATI [in Russian].
3. *Vapor pressure calculator*. https://www.iap.tuwien.ac.at/surface/vapor_pressure
4. Anoshkin, N.F., Glazunov, S.G., Morozov, E.I., Tetyukhin, V.V. (1978) *Melting and casting of titanium alloys*. Ed. by V.I. Dobatkin. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
5. Altman, P.S., Maksimov, A.Yu., Bachurin, V.A. (2007) *Method of melting of ingots*. Pat. RU 2 304 176 C2 [in Russian].
6. Paton, B.E., Trigub, N.P., Akhonin, S.V., Zhuk, G.V. (2006) *Electron beam melting of titanium*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].

ОТРИМАННЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ОТ4, ЛЕГОВАНОГО МАРГАНЦЕМ, В ЕЛЕКТРОШЛАКОВІЙ ПЕЧІ КАМЕРНОГО ТИПУ

I.V. Protokovilov, D.A. Petrov, V.B. Porohonko

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Наведено результати дослідження можливості отримання зливок титанового сплаву ОТ4, легovanого марганцем, з первинної шихти способом електрошлакового переплаву. Виплавлено зливки діаметром 64 і 84 мм в камерній електрошлаковій печі в атмосфері аргону при його надлишковому тиску. В якості витратних електродів використані пресовані заготовки і зливки першого переплаву. Литий метал піддавали гарячій прокатці з послідовним відпалом. Встановлено, що вміст марганцю і алюмінію в зливках електрошлакового переплаву відповідає їх розрахунковому складу в вихідній шихті. Зменшення вмісту цих компонентів в сплаві після подвійного переплаву не виявлено. Показано, що механічні властивості горячекатаного прутка відповідають вимогам стандарту для прутків підвищеної якості. Таким чином, камерний електрошлаковий переплав є ефективним способом отримання зливок титанових сплавів, легованих елементами з високою пружністю пара, зокрема марганцем. Бібліогр. 6, табл. 3, рис. 4.

Ключові слова: електрошлаковий переплав; титановий сплав ОТ4; зливка; структура; механічні властивості

PRODUCING OF TITANIUM ALLOY OT4, ALLOYED WITH MANGANESE, IN ELECTROSLAG CHAMBER-TYPE FURNACE

I.V. Protokovilov, D. A. Petrov, V. B. Porohonko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

The results of studying the feasibility of producing ingots of titanium alloy OT4, alloyed with manganese, from the primary charge by the electroslag remelting method are given. Ingots of 64 and 84 mm diameter were melted in a chamber-type electroslag furnace in argon atmosphere at its excessive pressure. As consumable electrodes, the pressed billets and ingots of the first remelting were used. The cast metal was subjected to hot rolling with a next annealing. It was found that the content of manganese and aluminium in ingots of the electroslag remelting correspond to their designed composition in initial charge. The reduction in content of these components in alloy after the double remelting was not revealed. It is shown that the mechanical properties of the hot-rolled rod are in compliance with requirements of standard for the high-quality rods. Thus, the chamber-type electroslag remelting is the effective method for producing ingots of titanium alloys, alloyed using elements with high elasticity of vapor, in particular manganese. Ref. 6, Tabl. 3, Fig. 4.

Key words: electroslag remelting; titanium alloy OT4; ingot; structure; mechanical properties

Поступила в редакцию 23.01.2019