



УДК 669.187.2:621.365.91:537.533

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ПЛАВКА НЕДРОБЛЕННЫХ БЛОКОВ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин, Г. В. Жук,
В. В. Тэлин, С. В. Давыдов

Рассмотрена технология электронно-лучевой плавки недробленных блоков губчатого титана. Изучено распределение примесных элементов по объему блоков губчатого титана производства Запорожского титаномагниевого комбината. Достигнут высокий уровень качества слитков-слябов и технико-экономической эффективности разработанной технологии.

Technology of electron beam melting of uncrushed blocks of spongy titanium is considered. Distribution of interstitial elements in volume of blocks of spongy titanium of Zaporozhye titanium-magnesium plant production is studied. The high quality of ingots-slabs is attained and high technical-economic efficiency of the developed technology is obtained.

Ключевые слова: электронно-лучевая плавка; блок губчатого титана; слитки-слябы; качество; себестоимость

Высокие значения удельной прочности и коррозионной стойкости изделий из титановых сплавов обуславливают все более широкое их применение в авиа- и ракетостроении, химическом и энергетическом машиностроении, судостроении, а также при изготовлении медицинского оборудования и спортивного инвентаря.

Важным критерием при выборе конструкционных материалов для изготовления новых изделий служит соотношение цена/качество. Поэтому снижение себестоимости титановых слитков как исходного материала для производства полуфабрикатов наряду с повышением их качества является актуальной задачей [1].

Наиболее перспективно применение новых технологических процессов, позволяющих исключить из производственной цепочки некоторые технологические переделы и за счет этого существенно снизить себестоимость продукции.

При производстве слитков титана в последние годы все большее распространение находит технология электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ) [2, 3], имеющая ряд следующих преимуществ, по сравнению с традиционной технологией вакуумно-дугового переплава:

не требуется изготовление прессованного электрода из кускового губчатого титана, в качестве ис-

ходной шихты можно использовать до 100 % титанового лома [4, 5];

обеспечивается гарантированное удаление тугоплавких включений, состоящих из насыщенных азотом включений α -титана и карбидов тугоплавких металлов [6];

возможна выплавка квадратных слитков и слитков-слябов [7].

С целью дальнейшего снижения себестоимости и трудоемкости в ИЭС им. Е. О. Патона предложено выплавлять титановые слитки способом ЭЛПЕ из недробленных блоков губчатого титана, что позволяет исключить из технологического цикла производства слитков не только процесс прессования расходного электрода для последующего переплава, но и операцию дробления блоков губчатого титана на куски размерами до 70 мм.

Губчатый титан получают путем восстановления четыреххлористого титана магнием [8]. В настоящее время в Украине на КП «Запорожский титаномагниевого комбинат» применяют главным образом аппараты восстановления производительностью 0,8 т титана за цикл. Процесс осуществляется в нагретой до 1073... 1123 К герметичной реторте путем подачи с постоянной или переменной скоростью тетрахлорида титана на зеркало расплавленного магния. Формирующийся в процессе восстановления блок губчатого титана занимает почти весь объем реактора и представляет собой монолитную массу пористого титана, загрязненного магнием и хлори-



Рис. 1. Внешний вид блоков губчатого титана

дом магния (рис. 1). По окончании процесса восстановления реторту передают на следующий передел, где полученный губчатый титан отделяют от остаточного магния и хлорида магния способом вакуумной сепарации.

При электронно-лучевом переплаве недробленого блока качество получаемого слитка в значительной мере зависит от однородности распределения примесных элементов по объему блока. Для определения их содержания от кричной части блока губчатого титана отбирали локальные пробы в центре и на расстоянии 100 мм от краев блока на трех уровнях (верх, середина, донная часть). Кроме того, осуществляли отбор проб от приповерхностного слоя блока на глубине 5... 10 мм. Подготовку проб производили по ГОСТ 23780–96. В каждой пробе определяли содержание железа, никеля, углерода, кремния, хлора, азота и кислорода.

Анализ полученных результатов (таблица) показал, что массовая доля железа в блоке составляет



Рис. 2. Внешний вид блоков губчатого титана с оплавленной поверхностью

0,020... 0,071, а в приповерхностном слое возрастает до 0,22 %. Аналогично по объему блока распределяется и никель — 0,12... 0,080, а в приповерхностном слое возрастает до 0,16 %. Повышенное содержание примесей железа и никеля в приповерхностном слое обусловлено диффузией этих элементов из стенок реторты, изготовленной из нержавеющей стали 12X18H10T.

Массовая доля азота в блоке губчатого титана, включая приповерхностный слой, изменяется в пределах 0,005... 0,015 %. Распределение кислорода в блоке достаточно однородно (0,033... 0,05 %), при этом отмечается некоторое его увеличение в донной

Распределение примесей по объему кричной части блока губчатого титана							
Место отбора проб	Средняя массовая доля элементов, %						
	Fe	Ni	Si	C	Cl	N	O
Верх:							
край	0,020	0,012	0,002	0,012	0,063	0,015	0,025
центр	0,038	0,038	0,002	0,015	0,086	0,011	0,020
край	0,020	0,080	0,002	0,009	0,063	0,010	0,018
Середина:							
край	0,022	0,025	0,002	0,013	0,060	0,012	0,020
центр	0,036	0,026	0,002	0,013	0,062	0,017	0,023
край	0,020	0,033	0,002	0,008	0,061	0,016	0,022
Донная часть:							
край	0,042	0,038	0,002	0,015	0,033	0,010	0,021
центр	0,071	0,039	0,002	0,010	0,060	0,012	0,020
край	0,062	0,036	0,003	0,010	0,033	0,011	0,023
Приповерхностный слой	0,220	0,160	0,003	0,018	0,065	0,024	0,031

Примечание Содержание примесных элементов в приповерхностном слое усреднено по результатам отбора 6 проб.

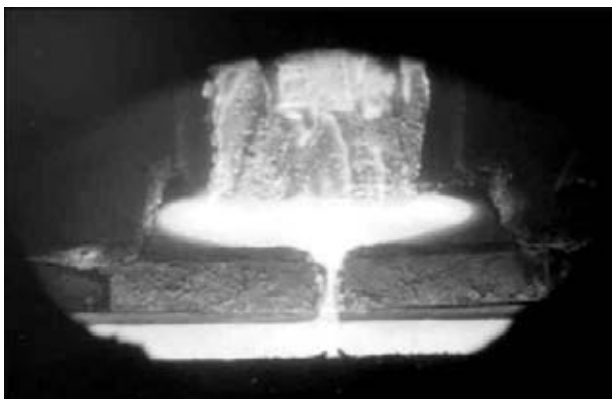


Рис. 3. Процесс электронно-лучевой плавки недробленого блока губчатого титана

части. В приповерхностном слое количество кислорода незначительно увеличивается (до 0,068 %).

Содержание углерода в блоке составляет 0,008... 0,015 %, с некоторым увеличением в приповерхностном слое до 0,018 %. Кремний характеризуется равномерным распределением по всему объему блока (0,002... 0,003 %).

Массовая доля хлора в блоке, в том числе и в приповерхностном слое, равняется 0,033... 0,086 %. Что касается распределения хлора, то необходимо отметить некоторую тенденцию повышения его содержания от нижней к верхней части блока. Максимальное его количество зафиксировано в верхней центральной части блока.

Как видно из результатов исследований, поверхностный слой блока крицы имеет повышенное содержание железа, никеля и, частично, углерода. По традиционной технологии удаление такого дефектного слоя с поверхности блока крицы происходит при его разделке путем механической вырубке, являющейся трудоемким процессом, приводящим к безвозвратным потерям металла.

Предложенная технология ЭЛПЕ недробленых блоков губчатого титана включает этап электронно-лучевого оплавления поверхности блока, что позволяет удалять дефектный поверхностный слой непосредственно в электронно-лучевой установке. Оп-

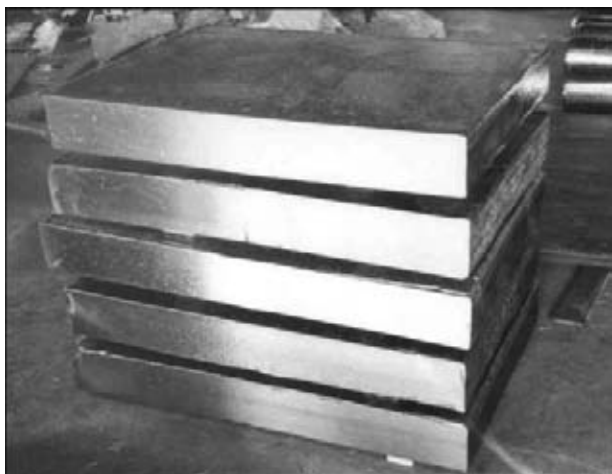


Рис. 4. Внешний вид слэбов нелегированного титана, полученных способом ЭЛПЕ недробленого блока губчатого титана

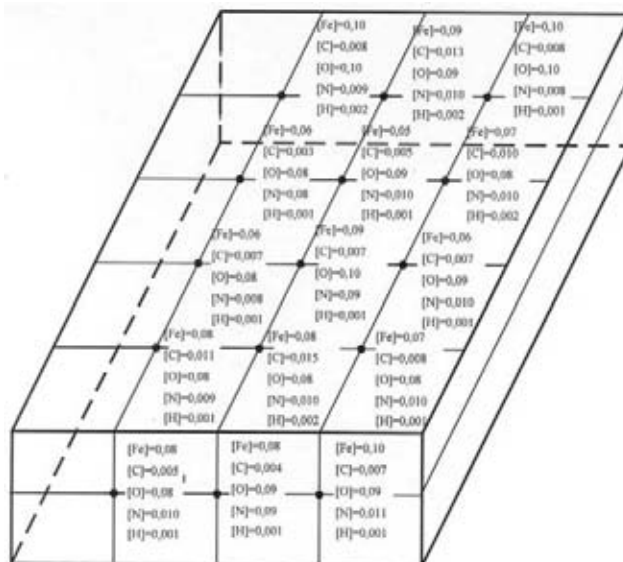


Рис. 5. Схема отбора проб от слэба нелегированного титана (165×950×1800 мм), а также результаты химического и газового анализов

лавление поверхности блоков губчатого титана массой 0,8 т (рис. 2) осуществляли в специализированной электронно-лучевой установке УЭ185. Процесс проходил стабильно, электронно-лучевые пушки работали без разрядов.

Очищенные от дефектного поверхностного слоя блоки крицы переплавляли в электронно-лучевой установке с промежуточной емкостью, формируя слитки нужных форм и размеров.

В процессе плавки недробленого блока губчатого титана (рис. 3) образование брызг жидкого металла и твердых частиц с оплаиваемой поверхности расходомерной заготовки (что характерно для плавки дробленой губки) не обнаружено. Это обусловлено отсутствием абсорбированной влаги внутри блока, а также предварительной дегазацией поверхности блока при его электронно-лучевом оплавлении. Переплав блоков губчатого титана осуществляли со скоростями плавки кусковых отходов титана.

Полученные титановые слитки-слэбы с поперечным сечением 165×950 мм и длиной 1200... 1800 мм (рис. 4) исследовали для оценки однородности распределения примесей. Для этого по длине и поперечному сечению от экспериментального слитка-слэба отобрано 15 проб в виде стружки для спектрального анализа и кусочков для газового анализа. Пробы отбирали в трех местах (край, центр, край) от верхнего торца слэба, а также на расстоянии 400, 800, 1200 и 1600 мм от верха слэба (рис. 5). Перед отбором проб указанные места боковой поверхности зачищали.

Результаты определения количества азота, кислорода, водорода, железа и углерода в экспериментальном слитке-слэбе из нелегированного титана (рис. 5) показали, что распределение примесных элементов по длине и поперечному сечению слитков-слэбов равномерное, а их содержание находится в пределах требований стандартов для нелегированного титана.



Исследование макроструктуры поперечных темплетов слитков-слябов показало, что металл характеризуется высокой плотностью и однородностью без кристаллической и зональной неоднородности. Ультразвуковой неразрушающий контроль качества показал, что дефекты в виде пор, раковин, трещин и неметаллических включений в титановых слитках-слябах отсутствуют.

При сравнении выхода годного металла установлено, что при плавке крицы и кусковых отходов потери титана испарением фактически одинаковые и на 30...40% меньше, чем при плавке дробленой губки фракции 12...70 мм.

Предложенная технология ЭЛПЕ блоков губчатого титана обеспечивает повышение на 20% технико-экономических показателей, в сравнении с ЭЛПЕ губчатого титана фракции 12...70 мм.

Для реализации разработанной технологии электронно-лучевой плавки недробленого блока губчатого титана в ИЭС им. Е. О. Патона создана электронно-лучевая установка, не имеющая аналогов в мире. Она позволяет совместить процессы оплавления боковой поверхности блока на этапе предварительного подогрева и плавки в одной вакуумной камере.

Разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины технология электронно-лучевой плавки недробленых блоков губчатого титана для получения высококачественных слитков и слитков-слябов,

а также специализированное оборудование для реализации указанной технологии в условиях промышленных предприятий позволили организовать в Украине конкурентоспособное на мировых рынках производство высококачественных слитков титана круглого и прямоугольного сечений.

1. *Тригуб Н. П., Ахонин С. В.* Рынок титана: текущее состояние и перспективы // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1998. — № 4. — С. 74–77.
2. *Paton B. E., Trigub N. P., Akhoniin S. V.* Electron beam melting of titanium // Proc. of the Ninth world conf. on titanium (Saint-Petersburg, Russia, June 7–11, 1999). — Saint-Petersburg: CRISN «Prometey», 1999. — P. 1372–1384.
3. *Некоторые тенденции развития металлургического передела титана* / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1996. — № 1. — С. 25–31.
4. *Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В.* Перспективные технологии электронно-лучевой плавки титана // Титан. — 2003. — № 2. — С. 20–25.
5. *Развитие технологии электронно-лучевой плавки титана* / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, В. Н. Замков и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2000. — № 2. — С. 34–40.
6. *Ахонин С. В.* Математическое моделирование процесса растворения включений TiN в расплаве титана при ЭЛП // Там же. — 2001. — № 1. — С. 20–24.
7. *Электронно-лучевая плавка* / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. — Киев: Наук. думка, 1997. — 265 с.
8. *Титан* / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др. — М.: Металлургия, 1983. — 559 с.

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

Поступила 17.04.2006

Книги ❖ Монографии ❖ Труды конференций

(Издания Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев)

- *Ryabov V. R., Dobrushin L. D., Jung-Gi Moon.* Welding of Bimetals. — 2003. — 130 p., format 140×200 mm, 100 грн/720 руб./38 \$*.
- *Lysak V. I., Kuzmin S. V.* Explosive Welding of Metal Layered Composite Materials. — 2003. — 118 p., format 140×200 mm, 100 грн/720 руб./38 \$.
- *Juttner B., Vasenin Yu. L.* Cathodic Processes of the Metal Vapor Arc. — 2003. — 68 p., format 140×200 mm, 100 грн/720 руб./38 \$.
- *Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах:* Сб. докл. междунар. конф., 16–20 сент. 2002 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. И. Махненко. — 266 с., формат 200×290 мм, 100 грн/720 руб./38 \$.
- *Laser Technologies in Welding and Materials Processing:* Сб. докл. Междунар. конф., 19–23 мая 2003 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. С. Коваленко. — 2003. — 256 с., формат 200×290 мм (англ. яз.), 100 грн/720 руб./38 \$.
- *Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах:* Сб. докл. Второй междунар. конф., 13–17 сент. 2004 г., пос. Кацивели, Крым / Под ред. проф. В. И. Махненко. — 256 с., формат 200×290 мм, 100 грн/720 руб./38 \$.
- *Контактная сварка и другие виды сварки давлением:* Сборник. Содержит подборку статей, опубликованных в журнале «Автоматическая сварка» за 2001–2005 гг., по проблемам различных видов сварки давлением. — 2005. — 128 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 75 грн/720 руб./38 \$.
- *Трубопроводный транспорт:* Сборник. Содержит подборку статей, опубликованных в журналах «Автоматическая сварка» и «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» за 2001–2005 гг., по проблемам трубопроводного транспорта. — 2005. — 178 с., мягкий переплет, формат 200×297 мм, 75 грн/720 руб./38 \$.

По вопросам приобретения просьба обращаться
в редакцию журнала
Тел./факс: (38044) 528 34 84, 529 26 23
E-mail: journal@paton.kiev.ua

* Цены указаны с НДС соответственно для Украины, России и дальнего зарубежья с учетом доставки заказной бандеролью.