

# РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ ТИТАНА И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

## Экономика

В связи с общемировой тенденцией развития металлургии на базе вторичного сырья особое значение приобретают титановые отходы. Максимально полное и рациональное использование отходов – один из приоритетных способов удешевления титановой продукции, которое, несомненно, укрепит экономические позиции титановой промышленности. В результате стоимость отходов в последнее время стала приближаться к стоимости губчатого титана. В работе [1] указывается, что использование вторичных титановых ресурсов (и в первую очередь стружки) является основным источником эффективного формирования металлофонда титана. Исходя из структуры кругооборота титана, источниками вторичного сырья являются: на этапе производства титана – оборотный лом и отходы, на этапе потребления титана – амортизационный лом.

Функционирование предприятия, производящего продукцию из титана с высокой степенью готовности, должно характеризоваться не только показателем прибыли, но и добавленной стоимостью [2]. Важный фактор увеличения добавленной стоимости – снижение материалоемкости. Одним из основных направлений снижения материалоемкости титановой продукции с высокой степенью готовности является экономия на первичном сырье за счет вовлечения в переработку кондиционных отходов. Более полное использование отходов производства дает экономию на лигатурных и других материалах, что приводит к снижению стоимости промежуточного продукта, росту производительности труда и добавленной стоимости.

Возможность снижения себестоимости титана при эксплуатации производства на базе использования электронно-лучевых печей с промежуточной емкостью (ЭЛППЕ) рассматривается в работе [3]. Применение таких печей позволяет, во-первых, получать однократным переплавом плоские слябы и, во-вторых, использовать в качестве шихты любое количество (вплоть до 100 %) титановых ломов, что становится особенно важным фактором в условиях увеличивающегося ломообразования. В работе [3] указывается также на необходимость минимизации потерь при разделке ломов до размеров, требуемых при вовлечении их в шихту, а также на то, что от оборудования и технологии финишной операции – механической обработки слитков/слябов зависит, какая часть отходов может быть оборотной, то есть пригодной для обратного вовлечения в шихту при следующих плавках.

Таким образом, в вышеуказанных работах еще раз обращается внимание на важную роль титановых отходов в решении проблемы удешевления титановой продукции.

## Титан губчатый

Под отходами титана понимают низкокачественный губчатый титан (марка ТГ-Тв), которого в процессе производства губки образуется до 10 %. До 60 % губки ТГ-Тв можно использовать для выплавки слитков, которые предназначены для изготовления из них изделий и деталей неаэрокосмического назначения.

Производители губчатого титана стремятся увеличить выход губки высших сортов (марки ТГ-90 – ТГ-120) с одновременным снижением т.н. «отходов» губчатого титана (марка ТГ-Тв и нестандарт). Этого можно достигнуть как усовершенствованием технологии на переделах восстановления и вакуумной сепарации, так и путем увеличения цикловой производительности аппаратов восстановления за счет увеличения их геометрических размеров [4]. Использование самых крупных в СНГ (7 т за цикл) аппаратов с верхним конденсатором на новом производстве губки на Соликамском магниевом заводе (СМЗ) позволило поднять долю губки высших сортов до 80 % [5]. Кроме того, с целью снижения выхода губчатого титана марки ТГ-Тв на СМЗ была внедрена новая схема удаления донной части блока, что позволило сократить выход губки ТГ-Тв почти на 4 %.

На ГП «Запорожский титано-магниевый комбинат» самый низкокачественный губчатый титан (счистки с реторты и блока), содержащий в своем составе меньше основного металла (< 97,75 %) и больше железа (> 1,9 %), чем губка ТГ-Тв, используют для производства высокопроцентного ферротитана (ФТи70). Ферротитан выплавляют с использованием стального лома и брикетированной низкосортной титановой губки в печах типа ВДПП, подготавливается переход на выплавку в индукционных печах.

Титан губчатый мелких фракций (-2 мм), используемый для получения порошков, в промышленном производстве получают как отсев при расसेве дробленой губки в процессе комплектации товарных партий. На Запорожском металлургическом опытно-промышленном заводе (ЗМОЗ) Института титана губчатый титан мелких фракций производят методом механического дробления и измельчения губки фракций -30+10 и -12+2 мм по ГОСТ 17746-96. Для этой цели используют роторно-зубчатые дробилки типа ДГТ со сменными накладками из стали 5ХНМ. Для дробления более крупных кусков губчатого титана применяют щековую дробилку ЩДС-4. Губчатый титан, прошедший стадию дробления, подвергается рассеву на вибросите с магнитной сепарацией и затаривается в металлические бочки емкостью 0,2 м<sup>3</sup> с полиэтиленовым вкладышем. Товарной продукцией ЗМОЗа являются также порошки титановые крупностью менее 1 мм по ТУ У 14-10-026-98 «Порошки титановые» и по ТУ 48-10-78-83 «Порошок титановый

химический», изготавливаемые из губки марки ТГ-Тв. По требованию заказчика титан губчатый или порошки могут быть насыщены водородом методом гидрирования.

### Выплавка слитков

Отходы титановых сплавов представлены кусковыми отходами, стружкой и листовой обрезью, а также амортизационным ломом. Большинство этих отходов является кондиционным металлом и может использоваться как компонент шихты при производстве слитков.

Вовлечение отходов титановых сплавов в плавку является наиболее рациональным и эффективным способом их утилизации. Самым подходящим агрегатом для этой цели являются гарнисажные печи, работающие по технологии ГРЭ (гарнисаж – расходный электрод). Важным экономическим преимуществом печей и технологии ГРЭ является снижение объема работ по подготовке к плавке возвратного материала (отходов), форма и габариты которого в этой технологии ограничены только размером плавильного тигля печи [6]. Кроме того, технология ГРЭ обеспечивает высокое качество выплавляемых слитков, которые по химическому составу однородны и бездефектны. Корпорация ВСМПО-АВИСМА расширяет использование гарнисажных печей и внедряет технологию ГРЭ + ВДП вместо тройного ВДП при выплавке слитков сплавов Ti-10-2-3 и Ti-6Al-4V для применения в аэрокосмической отрасли.

Корпорацией ВСМПО-АВИСМА заявлен вторичный титановый сплав и способ его изготовления [7]. Сплав содержит, % мас.: Al 0,01-6,5, V 0,01-5,5, Mo 0,05-2,0, Cr 0,01-1,5, Fe 0,1-2,5, Ni 0,01-0,5, Zr 0,01-0,5, Si 0,01-0,25, O d' 0,3, C d' 0,1, N d' 0,07 и Ti – остальное. Шихту компонуют в зависимости от требуемой величины временного сопротивления сплава, а содержание легирующих элементов в сплаве определяется исходя от расчетных величин алюминиевого и молибденового прочностных эквивалентов. Техническим результатом изобретения является получение регламентированных стабильных прочностных и технологических свойств сплава при использовании широкого спектра титановых отходов. Сплав предназначен преимущественно для изготовления листовых полуфабрикатов, изделий конструкционного назначения и может быть использован в оборонных и гражданских отраслях промышленности.

В работе [8] представлены результаты исследования по выплавке слитков титановых сплавов в электронно-лучевой гарнисажной печи из шихтовых материалов разного вида (кусковые и листовые отходы, стружка и губка). Показана необходимость учета вида сырья при выборе режима плавки, в частности степени концентрированности электронного пучка и темпа поднятия мощности на начальной стадии плавки. Разработка рациональной технологии электронно-лучевой гарнисажной плавки (ЭЛГП) должна предусматривать оптимальный набор основных параметров процесса, из которых определяющими являются мощность электронного пучка и время выдержки при заданной температуре.

Как сообщается в статье К. К. Ясинского [9], опубликованной в сборнике «Современные титановые сплавы и проблемы их развития» (М.:ВИАМ, 2010. – 106 с.), титановые литейные отходы могут перерабатываться в слитки на установках ЭЛУТО-1 и ЭЛУТО-2, оснащенных электронными пушками с холодным катодом. Эти установки работали на Пермском и Запорожском моторных заводах, а также нашли применение в других отраслях промышленности.

### Способы использования отходов

Технология травления титановых отходов, описанная в работе [10], кроме целевой задачи удаления поверхностного окисленного слоя, предусматривает получение в качестве попутного продукта порошка фосфата титана  $TiP_2O_7$ , который может использоваться в качестве наполнителя лаков, красок, пластмасс и полимерных материалов. Отходы титана после травления, промывки и сушки могут перерабатываться на порошки металлического титана методами гидрирования и электролитического рафинирования с повышенным техническим эффектом за счет предварительной подготовки их поверхности [11].

Для получения титана высокой чистоты используется метод йодидного рафинирования. Йодидный титан может быть использован в атомной энергетике, производстве сверхпроводников и монокристаллов. В работе [12] указывается, что для этой технологии перспективным сырьем является стружка титанового сплава BT1-0.

Отходы титановых сплавов могут быть также использованы в процессах самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. В работе [13] показано влияние основных характеристик исходного титанового материала (стружки, окарины) на свойства конечного СВС – продукта на основе титана.

Отработанные литиевые химические источники тока (ЛХИТ) типа МРЛ можно рассматривать как один из видов вторичного сырья титана [14]. На 1 т лития в отработанных ЛХИТ содержится 1,3 т титана марки BT1-0. ОАО «ВНИИХТ» разработана технология переработки отработанных ЛХИТ, позволяющая извлечь и вернуть в производство литий в виде карбоната и марганец в виде диоксида, а также утилизировать другие ценные компоненты ЛХИТ, в том числе титан и никель. Эффективность утилизации титана может быть значительно увеличена в случае использования его для изготовления такого функционального материала, как сплава на основе никелида титана марки ТН1 с эффектом памяти формы.

### Список литературы

1. Оценка металлофонда титана РФ / [Л. А. Костыгова, Н. Н. Ракова, Е. В. Тарасова и др.] // Титан-2011 в СНГ : сб. тр. междунар. конф., г. Львов, 25–28 апр. 2011 р. – К. : ИМФ НАНУ, 2011. – С. 405–408.
2. Костыгова Л. А. Методические аспекты процесса формирования добавленной стоимости при производстве продукции из титана с высокой степенью готовности на примере ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» / Л. А. Костыгова, А. А. Хотинский, Д. Ю. Санников // Титан-2011 в СНГ : сб. тр. междунар. конф., г. Львов, 25–28 апр. 2011 р. – К. : ИМФ НАНУ, 2011. – С. 409–416.
3. Ковальчук Д. В. Комплексный подход к созданию и эксплуатации титановых металлургических производств / Д. В. Ковальчук // Титан. – 2011. – № 4. – С. 28–32.
4. Колобов Г. А. Основные тенденции совершенствования магнетермического способа производства титана губчатого / Г. А. Колобов, К. А. Печерица, С. В. Прохоров // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 5–6. – С. 43–45.
5. Овчинников С. Е. Изучение возможностей аппарата с цикловым съемом 7 т в области качества получаемого губчатого титана / С. Е. Овчинников, В. Н. Нечаев, А. В. Патраков // Титан-2011 в СНГ : сб. тр. междунар. конф., г. Львов, 25–28 апр. 2011 р. – К. : ИМФ НАНУ, 2011. – С. 110–114.
6. Ивасишин О. М. Основные тенденции в развитии титановой промышленности и научных исследований в области титана в СНГ / О. М. Ивасишин, А. В. Александров // Титан-2011 в СНГ : сб. тр. междунар. конф., г. Львов, 25–28 апр. 2011 р. – К. : ИМФ НАНУ, 2011. – С. 7–18.
7. Пат. № 2425164 Российская Федерация, МПК С 22 С 14/00 (2006.01), С 22 В 9/20 (2006.01). Вторичный титановый сплав и способ его изготовления / Тетюхин В. В., Левин И. В., Пузаков И. Ю., Таренкова Н. Ю.; заявитель и патентообладатель ВСМПО-АВИСМА. – № 2010101764/02 ; заявл. 20.01.2010 ; опубл. 27.07.2011.
8. Особенности выплавки титановых сплавов в электронно-лучевой гарнисажной установке в зависимости от вида шихтовых материалов / [Н. И. Левицкий, В. И. Мирошниченко, Е. А. Матвиец, Т. В. Лапшук] // Металл и литье Украины. – 2010. – № 11. – С. 34–36.
9. Ясинский К. К. Создатель российского титана / К. К. Ясинский // Современные титановые сплавы и проблемы их развития : сборник. – М. : ВИАМ, 2010. – С. 3–8.
10. Отходы титановых сплавов как возможная сырьевая база порошковой металлургии титана / [Г. А. Колобов, Д. В. Прутцков, А. И. Щербина и др.] // Титан-2010 в СНГ : сб. тр. междунар. конф., г. Екатеринбург. – К. : ИМФ НАНУ, 2010. – С. 79–84.
11. Отходы титановых сплавов как возможная сырьевая база порошковой металлургии титана (Сообщение 2) / [Г. А. Колобов, Д. В. Прутцков, А. И. Щербина и др.] // Титан-2011 в СНГ : сб. тр. междунар. конф., г. Львов, 25–28 апр. 2011 р. – К. : ИМФ НАНУ, 2011. – С. 68–70.
12. Титан высокой чистоты. Перспективы применения и получения / [М. Л. Коцарь, В. В. Антипов, С. Г. Ахтонов и др.] // Титан. – 2009. – № 3. – С. 34–38.
13. Боровинская И. П. Применение титана в процессах СВС / И. П. Боровинская, В. К. Прокудина, В. И. Ратников // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2010. – № 4. – С. 26–33.
14. Отработанные литиевые химические источники тока – перспективный источник вторичных лития, титана, никеля, марганца и других ценных материалов / [М. Л. Коцарь, В. И. Никонов, В. П. Тарасов и др.] // Титан-2011 в СНГ : сб. тр. междунар. конф., г. Львов, 25–28 апр. 2011 р. – К. : ИМФ НАНУ, 2011. – С. 53–56.

*Одержано 03.04.2013*

© Канд. техн. наук Г. А. Колобов

Государственная инженерная академия, г. Запорожье

**Kolobov G. Recycling of waste titanium and titanium alloys**

---

## ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МЕТАЛЛУРГОВ В ДЮССЕЛЬДОРФЕ (ГЕРМАНИЯ) «СТАЛЬ 2012»

В этом году конференция проходила под девизом «Будущее начинается со стали». На конференции, как и обычно, присутствовали представители металлургической промышленности, технических университетов и высших школ, отраслей-потребителей, экономисты, экологи, политики, представители прессы из различных стран мира. 8 ноября работали следующие секции:

- изменение энергетической политики: следствия для промышленности;
- будущее достигается развитием нержавеющей сталей;
- техническое развитие оборудования и технологии формообразования с целью повышения эффективности и гарантии качества;