

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

ОБРАЩЕНИЕ С ТИТАНОВЫМИ ОТХОДАМИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ НА 2026 ГОД

Введение

Титановые отходы – второй по объему исходный материал (после губчатого титана) для производства продукции дальнейших переделов (в первую очередь, слитков), а также титановый компонент для производства ферротитана и титановых порошков.

По физическим признакам титановые отходы, в соответствии с ГОСТ 1639-93 [1], делят на кусковые, листовую обрезь и стружку, а по показателям качества – на кондиционные и некондиционные. В производстве слитков для подшихтовки в плавку могут быть использованы только кондиционные отходы [2]. Оборотные литейные отходы и низкосортный губчатый титан (марки ТГ-150 и ТГ-Тв) используют в производствах фасонного литья и ленточных литых заготовок [3, 4].

За рубежом титановые отходы делят также на так называемые «новые отходы» и «старые отходы». Новые отходы – это материал, полученный при производстве титановой губки, а также слитков, проката, литья и деталей, тогда как старые отходы – это материал, образовавшийся в результате переработки вышедших из эксплуатации титановых изделий, например, деталей самолетов, двигателей или промышленного (в основном, химического) оборудования. По оценкам Управления международной торговли США, около половины мирового объема отходов составляют «технологические отходы», получаемые при производстве проката, а треть – «внутренние отходы», получаемые при производстве изделий. Таким образом, около 80 % образующихся отходов – это новые отходы, а остальная часть – старые отходы из отработанных изделий.

Образование и использование отходов

За последние несколько десятилетий большое количество факторов повлияло на относительную долю составляющих сырья для получения слитков, обеспечиваемого губчатым титаном и отходами. По данным фирмы *Roskill* [5], во второй половине 2000-х годов мировой коэффициент применения отходов в шихте для производства слитков значительно сократился вследствие роста производства слитков в Китае, так как китайские производители применяли очень небольшое количество отходов. Такая ситуация была связана с тем, что китайский рынок был ориентирован на титановую продукцию промышленного назначения с формированием малого количества отходов по сравнению с аэрокосмической отраслью, а также с тем, что Китай располагал избыточным количеством губчатого титана. Таким образом, вследствие влияния Китая и перенасыщенности общемирового рынка губчатым титаном коэффициент применения отходов в 2011–2012 гг. снизился до 5-7%. Однако уже в 2013 г. общемировой коэффициент применения отходов увеличился вследствие снижения объемов производства губчатого титана, невысоких цен на отходы, а также постепенной модернизации китайскими компаниями своих мощностей с увеличением ими объемов использования отходов. Считается, что в 2016 г. доля отходов в сырье для производства слитков составляла 20%.

В США расположены пять компаний, которые обладают мощностями для переплава в печах с холодным тиглем мелкофракционных отходов и в их сочетании с губчатым титаном. В том числе благодаря этому в 2016 г. в США было переработано 51 тыс. т титановых отходов. Из этого количества 9,72 тыс. т было использовано в сталелитейной промышленности (непосредственно или в виде ферротитана), 500 т – для производства высоколегированных сплавов и 1,3 тыс. т потреблено другими отраслями. Оставшиеся 35,9 тыс. т отходов были использованы в шихте для производства новых слитков. Приблизительно 1 тыс. т старых отходов в 2016 г. также была утилизирована для повторного использования.

Потребление титановых отходов в США начиная с 2000 г. претерпело несколько циклических изменений. В начале 2000-х гг. оно снизилось, затем стало увеличиваться и к началу 2010-х гг. стабилизировалось на уровне 25 тыс. т/год. При этом потребление в производствах стали, высоколегированных сплавов и других сферах было устойчивым на уровне 10–12 тыс. т/год. С 2012 г. значительно увеличилось потребление отходов для переплава в слитки.

Доля отходов в шихте для получения слитков снизилась с 35 % в 1995 г. до 20 % в 2004 г. в связи с доступностью губчатого титана на рынке и низкими ценами на него. В 2008–2010 гг. доля отходов в шихте составляла около 40 %, в 2011 г. снизилась до 23 %, к 2014 г. резко возросла (до 66 %), а в 2015 г. упала до 63 %. В компании *Timet* доля отходов в объемах сырья для производства слитков сократилась с 51 % в 2009 г. до 41 % в 2010 г. и 36 % в 2011 г.

Ситуация с потреблением титановых отходов в Китае была описана выше, а в Великобритании и России основная часть отходов потребляется производством ферротитана, хотя в России доля отходов в сырье для производства слитков титановых сплавов стабильно составляет 30–35 %.

Торговля титановыми отходами

При использовании титановых отходов в международной торговле руководствуются техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013), принятым решением Совета евразийской экономической комиссии от 2 июля 2013 г. № 41 [6]. В этом регламенте титановые отходы находятся в товарной позиции 8108 «Титан и изделия из него, включая отходы и лом».

Официальная статистика по международной торговле титановыми отходами и ломом включает отходы от низкокачественных в виде титаносодержащих материалов до высококачественных в виде кускового лома, листовой обрезки и стружки. В валовом выражении объем международной торговли титановыми отходами достиг максимума в 43 тыс. т/год в середине 2000-х гг., а далее снизился до 21 тыс. т в 2009 г. Частичное восстановление объема произошло в 2011–2012 гг., а в 2012–2013 гг. он стабилизировался на уровне 37,5 тыс. т. С 2013 г. произошло быстрое увеличение объемов торговли, достигнув максимума в 55 тыс. т в 2016 г.

Торговлю титановыми отходами можно разделить на торговлю отходами более высокого качества для использования в производстве слитков и отходами более низкого качества для использования в производстве легированной стали (зачастую в виде ферротитана). Отходы высокого качества импортируются, главным образом, США, Францией и Японией, а отходы низкого качества – Великобританией, Эстонией и Канадой. Примечательно почти полное отсутствие Китая в международной торговле титановыми отходами (по причинам, указанным выше).

Экспорт титановых отходов и лома с 2009 г. ежегодно увеличивался, достигнув в 2016 г. 55,2 тыс. т. В десятку крупнейших экспортеров в 2016 г. входили: США (9,95 тыс. т), Германия, Франция, Великобритания, Япония, Россия (4,54 тыс. т), Южная Корея, Канада, Мексика (890 т.). На долю этих стран пришлось 83 % от общего объема поставок.

Основная часть импорта титановых отходов приходится на США, Великобританию и Германию, хотя их общая доля в импорте снизилась с 80 % в 2010 г. до 70 % в 2015 г. и до 58 % в 2016 г. С 2010 г. более важными целевыми импортерами стали Канада (импорт из США) и Эстония (импорт из России). Общий объем импорта титановых отходов и лома в 2016 г. составил 50,35 тыс. т. Крупнейшими импортерами в 2016 г. являлись США (18,1 тыс. т), Великобритания, Эстония, Канада, Германия, Украина (2,3 тыс. т), Россия (1,4 тыс. т), Япония.

Колебания цен на титановые отходы зависят от спроса на ферротитан и, в меньшей степени, на титановые слитки. В середине 2000-х гг. в связи с увеличением спроса цены на титановые отходы резко возросли (в 2006 г. до ~15 долл. США/кг), но в 2009 г. они вернулись на уровень 2002 г. (~4 долл. США/кг). В период с 2010 г. до 2014 г. цены находились на среднем уровне, а в 2015–2016 гг. цены обрушились и находились на минимальном уровне, который не наблюдался с середины 1970-х гг. Цены на отходы в США в 2016 г. находились на уровне 1 долл. США/кг.

Большая часть отходов, импортируемых в Великобританию, применяется в производстве ферротитана и имеет более низкую сортность, чем отходы, импортируемые в США, где их в основном шихтуют с губчатым титаном для переплавки в слитки и слэбы. Средняя стоимость импорта отходов в Великобританию в 2016 г. составляла 2,22 долл. США/кг, в то время как стоимость импорта в США – 4,43 долл. США/кг. Канадский импорт в 2016 г. также был дешевый – 1,58 долл./кг, а Эстония импортировала отходы по цене всего 1,73 долл./кг, что свидетельствует о том, что их импорт также предназначен для производства сталей или ферротитана. Импорт Японии и Франции, аналогично США, имеет высокую стоимость (5,54 долл. США/кг и 3,89 долл. США/кг соответственно, 2016 г.), что свидетельствует об импорте отходов высших сортов, предназначенных для переплавки в слитки.

Прогноз на период до 2026 года

Наблюдаемая в настоящее время интеграция производства слитков, полуфабрикатов и готовых изделий изменила условия образования и использования титановых отходов. Повышенная интеграция означает, что большая часть отходов формируется и потребляется внутри интегрированной компании и не выходит на внешние рынки. Следствием этого является увеличение количества отходов, используемых в производстве слитков. В целом, по прогнозам фирмы *Roskill*, коэффициент использования отходов в шихте для производства слитков увеличится от 20 % в 2016 г. до 30 % в 2026 г. В этом случае потребление отходов к 2026 г. составит более 85 тыс. т, а объем производства губчатого титана увеличится до ~234 тыс. т. Что касается цен на титановые отходы, то ожидается, что на протяжении большей части прогнозируемого периода они будут составлять в среднем 5–7 долл. США/кг с некоторым потенциалом роста к концу прогнозируемого периода и в 2026 г. составят 7,04 долл. США/кг.

Список литературы

1. ГОСТ 1639-93 Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ, 2005.
2. Колобов Г. А. Титан вторичный (монография) / Г. А. Колобов. – Запорожье : ЗГИА, 2017. – 272 с.
3. Колобов Г. А. Оборотные литейные отходы в производствах титанового фасонного литья и слитков / Г. А. Колобов,

- В. В. Лунев, В. В. Павлов // Титан-2018: производство и применение в Украине: тезисы докладов Междунар. конф., г. Киев, 11–13.06.2018. – К. : Междунар. асоц. «Сварка». – 48 с.
4. Калинюк А. Н. Особенности производства ленточных литых заготовок марки BT1-0 или GRADE2 из низкосортного губчатого титана / А. Н. Калинюк, А. Я. Дереча, В. В. Тэлин и др. // Современная электрометаллургия. – 2018. – №3. – С. 20–26.
 5. Titanium Metal: Global Industry, Markets and Outlook to 2026 [Text] (Seventh Edition, 2017). – London: Roskill inf. Services LTD, 2017. – 560 p.
 6. Зуева О. Н. Гармонизация международных и национальных требований в области технического регулирования изделий из титановых сплавов в условиях логистической интеграции / О. Н. Зуева, Л. А. Донскова // Вестник Удмуртского университета. Серия: Экономика и право. – г. Екатеринбург: ФГБОУ ВО «УГЭУ», 2016, Т.26, Вып. 2. – С. 15–22.

Одержано 30.05.2019

© **Канд. техн. наук Колобов Г. А.¹, д-р техн. наук Распорня Д. В.²,
Осипенко А. В.³, канд. техн. наук Павлов В. В.⁴, Панова В. О.¹, Печерица К. А.⁵**

¹Национальный университет «Запорізька політехніка», г. Запорожье

²Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина НАН Украины, г. Донецк

³ООО «Запорожский титано-магниевый комбинат», г. Запорожье

⁴ПАО «Институт титана», г. Запорожье

⁵ООО «Титан Трейд», г. Запорожье

**Kolobov G., Raspornia D., Osipenko A., Pavlov V., Panova V., Pecheritsa K. Handling
of titanium waste: modern state and forecast for year 2026**

ЖАРОМІЦНІ КОМПОЗИТИ НА МЕТАЛЕВІЙ, ІНТЕРМЕТАЛІДНІЙ І КЕРАМІЧНІЙ ОСНОВІ

Найважливіший елемент сучасного газотурбінного авіаційного двигуна – це його «гаряча» частина: камера згоряння, напрямні та турбінні лопатки, жарові труби тощо. Всі вони працюють в окиснювальному середовищі при температурах 1000 °С і вище. Серед них найвідповідальніший елемент – робоча лопатка – піддається механічній втомі та термоциклюванню, а її матеріал схильний до повзучості. Підвищити коефіцієнт корисної дії газотурбінного двигуна можна за рахунок підвищення температури на вході турбіни, а це у свою чергу підвищує вимоги до жароміцності матеріалів, з яких виготовляються її основні деталі.

Найпоширеніші на сьогодні жаростійкі хромонікелеві сплави поступово наближаються до своєї фізичної межі, яка становить 1100 °С [1] у зв'язку з чим виникає необхідність знайти їм заміну. Тому пошук способів подальшого підвищення температури експлуатації робочої лопатки газової турбіни здійснюється у трьох основних напрямках:

- розроблення сплавів на основі тугоплавких металів;
- розроблення композитів з металевою матрицею;
- розроблення композитів з керамічними або інтерметалідними матрицями.

За першим напрямком є певні досягнення при створенні жароміцних сплавів на основі ніобію. Зокрема високі характеристики за жароміцністю досягнуті шляхом введення у сплав частинок силіцидів тугоплавких металів [2]. Достатньо велика об'ємна частка силіцидів дозволяє підвищити жароміцність і жаростійкість при одночасному зменшенні тріщностійкості. Але для досягнення необхідного балансу характеристик необхідно ретельно домагатися заданої структури шляхом максимального дотримання розробленого технологічного процесу. Сплавами на основі ніобію, легованого кремнієм і тугоплавкими металами, досягнуто робочої температури, яка наближається до 1200 °С.

За другим напрямком найпоширенішими є армовані хромонікелеві сплави.

Великі перспективи мають нікелеві дисперсно-зміцнені сплави. Їх матриця – γ- твердий розчин у нікелі 20 % хрому, або 15 % молібдену, або 20 % хрому і молібдену.

Особливість дисперсно-зміцнених металевих композиційних матеріалів полягає у тому, що вони ізотропні за властивостями. Їх матриця служить основним елементом, який витримує навантаження, а дисперсні частинки гальмують рух дислокацій. Оптимальний ефект досягається при розмірі частинок 10...500 нм і відстані між ними – 100...500 нм при рівномірному розподілі у матриці. Введення у матрицю тонкодисперсних порошоків діоксидів торію (ThO₂) або цирконію (ZrO₂) дозволяє підвищити робочу температуру жаростійких деталей двигуна з 1000 до 1200 °С [3].

© Плескач В. М., Ольшанецький В. Ю., 2019

DOI 10.15588/1607-6885-2019-1-14

ISSN 1607-6885 Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні №1, 2019