

УДК 669.295

Г.А. КОЛОБОВ<sup>(1)</sup>, профессор-консультант, кандидат технических наук  
 С.А. ВОДЕННИКОВ<sup>(1)</sup>, первый проректор, доктор технических наук  
 В.К. ЛИСИЦА<sup>(1)</sup>, профессор, доктор технических наук  
 А.В. БУБИНЕЦ<sup>(1)</sup>, аспирант  
 К.А. ПЕЧЕРИЦА<sup>(2)</sup>, генеральный директор

## ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ ТИТАНОВЫХ ОТХОДОВ В ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛУРГИИ

<sup>(1)</sup> Запорожская государственная инженерная академия

<sup>(2)</sup> ООО «Титан Трейд», г. Запорожье

Титановые отходы находят применение в черной металлургии для легирования, раскисления и модифицирования сталей, а также в производстве стандартного и высокопроцентного ферротитана. В цветной металлургии такие отходы используют при производстве титанового шлака и тетрахлорида титана, для легирования алюминиевых сплавов, в производствах вторичных титановых сплавов, заготовительного и фасонного литья, а также для получения порошков титана, гидрида титана и тугоплавких соединений титана.

Ключевые слова: титановые отходы, черная и цветная металлургия, титансодержащие стали, ферротитан, титановый шлак, тетрахлорид титана, алюминиевые сплавы, вторичные титановые сплавы, титановое литье, порошки, соединения титана.

*Введение.* Титановые отходы образуются в сферах производства и потребления титана и титановой продукции. В сфере производства титана – это отходы, образующиеся при получении губчатого титана, выплавке слитков, получении полуфабрикатов и готовых изделий, в сфере потребления – брак титановой продукции и амортизационный лом. Кондиционные титановые отходы используют как компонент шихты при выплавке слитков серийных титановых сплавов, а некондиционные отходы подвергают различным видам переработки с целью получения полезной продукции или эффективной их утилизации. Одной из областей использования некондиционных титановых отходов является черная и цветная металлургия. Причем одни технологии использования отходов в этой области оставляют титан в кругообороте титана от сырья до изделия, а другие выводят его за пределы этого кругооборота, уменьшая тем самым ресурсную базу титана.

*Использование отходов в черной металлургии.* В черной металлургии титановые отходы используют в производстве легированных титансодержащих сталей либо непосредственно, вводя их в процесс выплавки стали, либо опосредовано – через использование их в производстве ферротитана. В обоих случаях титан, содержащийся в отходах, теряется безвозвратно, то есть выходит за пределы своего кругооборота. Кроме того, используется в черной металлургии и титанистый чугун, получаемый как побоч-

ный продукт при плавке ильменитового концентрата в рудно-термических печах в процессе получения целевого продукта – титанового шлака (как пример, кооперация ОАО «Запорожский титано-магний комбинат» и ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь»). Успешность применения титана в сталеплавильном производстве обусловлена его способностью образовывать устойчивые соединения с кислородом (раскисление), азотом (деазотирование), углеродом (карбидообразование).

*Легирование сталей.* Титановые отходы используют для легирования и раскисления в производствах углеродистых и низколегированных, коррозионностойких (нержавеющих), а также высоколегированных качественных сталей (для которых применение стандартного ферротитана неэффективно из-за высокого содержания в нем кремния), а также в производствах стального и чугуна фасонного литья [1,2]. Присутствие в отходах титановых сплавов олова и меди исключает их использование для непосредственного легирования и раскисления стали.

При производстве литья, низколегированных и углеродистых сталей титан вводят в количестве 0,1 % в качестве так называемой технологической добавки. Действуя как сильный раскислитель и модификатор, титан измельчает зерно, уменьшает ликвацию примесей и, как следствие, повышает прочность, коррозионную стойкость и свариваемость сталей. В этом случае титановые отходы вводят в ковш перед заливкой его сталью в виде мелких кусков, дробленой стружки или брикетов губки ТГ-Тв. Поте-

ри титана из-за угара при такой технологии легирования составляют 45...65 %.

В нержавеющей стали типа X18H10T легирование титаном находится на уровне 1,0 %. В этом случае титан используют как карбидообразующую добавку: обладая большим сродством к углероду, титан связывает избыточный углерод в нержавеющей стали в карбиды, повышая тем самым стойкость стали к межкристаллитной коррозии [3].

Отходы титановых сплавов, содержащих алюминий, марганец и хром, служат для легирования большинства марок мартеновской стали и электростали. Отходы сплавов, содержащих молибден, ванадий, хром и цирконий, включают в шихту для выплавки хромомолибденованадиевой электростали и ряда марок мартеновской стали. Титановые отходы вводят в виде регулируемого потока измельченной стружки в струю стали при разливе ее в изложницы. Потери титана при этом снижаются до 10...15 %. Титановый скрап широко используют для легирования высокопрочных сталей, которые содержат 0,15...0,45 % титана.

Введение титанового скрапа практикуют в конце разлива стали, модифицированной алюминием. При плавке стали из шихты, содержащей значительное количество скрапа и вследствие этого имеющей высокое содержание азота, по границам зерен образуется нитрид алюминия, снижающий прочность. При введении обезжиренной стружки титана удается это явление предотвратить.

Технологические добавки марок ДТ, изготовленные из некондиционных титановых отходов (в виде измельченной стружки), а также алюминиевых, магниевых и других отходов, были использованы в качестве раскислителей, модификаторов и лигатур для обработки сталей взамен ферротитана, ферроалюминия, алюминиевых чушек, магниевых лигатур [4].

Большинство исследователей указывают на нерациональность непосредственного применения титана в том или ином виде для улучшения свойств сталей и чугунов. Считается, что эффективнее использовать титановые отходы в производстве высокопроцентного ферротитана.

*Производство ферротитана.* Ферротитан используют как титансодержащую лигатуру в производстве нержавеющей и жаропрочных сталей, а также при изготовлении электросварочных электродов.

Отходы титановых сплавов, не содержащие медь и олово, применяют в производстве стандартного (20...40 % титана) и высокопроцентно-

го (65...75 % титана) ферротитана [2,5]. Сплав «железо-72 % титана» в системе «железо-титан» соответствует эвтектическому составу с температурой плавления 1085 °С. В связи с этим высокопроцентный ферротитан имеет более низкую температуру плавления (~1100 °С) по сравнению со стандартным (1400...1500 °С). Однако он является более твердым и вязким, труднее измельчается и поэтому его сложнее дозировать. Усвоение высокопроцентного ферротитана при легировании сталей выше, чем стандартного, особенно при введении его в ковш. Это является причиной все более широкого использования в черной металлургии высокопроцентного ферротитана по сравнению со стандартным.

Стандартный ферротитан получают в классическом варианте алюмотермическим восстановлением ильменитового концентрата, содержащего оксиды железа и титана. Стандартный ферротитан с использованием титановых отходов производят двумя способами: алюмотермическим восстановлением и электропечным способом. Оба этих способа позволяют использовать в составе шихты отходы титановых сплавов: стружку в брикетированном виде и кусковые и листовые отходы – в измельченном виде.

При алюмотермическом способе получения стандартного ферротитана извлечение титана из отходов в ферротитан составляет: для кусковых отходов 85...90 %, для стружки – до 40 %. При электропечном способе производства стандартного ферротитана отходы титановых сплавов смешивают с остальными компонентами шихты (ильменитовым концентратом, алюминием, железной рудой и известью) и также, как и в алюмотермическом способе, растворяют в ферротитане в процессе плавки. Расход титанового скрапа при использовании первого способа составляет не выше 180 кг на одну тонну ферротитана, а при использовании второго доходит до 200 кг [6].

Способ получения ферротитана из ильменита с добавлением отходов титана характеризуется большим расходом алюминия как восстановителя, низким извлечением титана и большим выходом шлаков. На выплавку 1,0 т ферротитана расходуется 965 кг ильменитового концентрата (45 %  $TiO_2$ ), 420 кг вторичного алюминиевого порошка (90 %  $Al$ ), 73 кг железной руды, 45 кг отходов титана, 95 кг извести и 14 кг ферросилиция. В таком ферротитане содержание титана не превышает 30...35 %, а выход шлака составляет до 600 кг на тонну ферротитана [7].

Титановые отходы используют в алюмотермическом процессе в качестве металлодобавки.

Введение в процесс металлических отходов титана позволяет уменьшить расход алюминия – восстановителя, так как отпадает необходимость в восстановлении части шихты, и улучшает тепловые условия процесса. Кроме того, разбавление ферротитана титановыми отходами позволяет уменьшить относительное содержание в нем вредных примесей серы и фосфора, которые попадают в ферротитан из природного сырья.

Высокопроцентный ферротитан получают путем сплавления отходов титановых сплавов с ломом низко- и среднеуглеродистых сталей. В производстве высокопроцентного ферротитана используют преимущественно кусковые титановые отходы, хотя могут быть использованы также низкокачественный губчатый титан, листовая обрезь и стружка. Для выплавки высокопроцентного ферротитана используют индукционные канальные печи промышленной частоты с магнетитовой футеровкой. Загрузку печи ведут порционно: вначале загружают стальной лом, расплавляют его, перегревают до температуры 1550...1600 °С, затем добавляют порциями титановые отходы до получения расплава эвтектического состава, охлаждают расплав до температуры 1150...1250 °С и так последовательно выполняют загрузку по мере расплавления шихты. Плавку ведут без применения флюсов, так как их роль выполняют оксиды титана, образующиеся на поверхности жидкого металла и надежно защищающие ферротитан от окисления (угар не превышает 5 %).

При использовании в шихте мелкой листовой обрезки и стружки (при дефиците кусковых титановых отходов) оптимальным является следующий состав шихты, %: стальной лом – 20, листовая обрезь титана – 50, стружка титана – 30. Оптимальный режим плавки: загрузка в «болото» 120...140 кг стального лома; титановой листовой обрезки и стального лома ~ 125 кг; титановой стружки ~ 30 кг; остальной части листовой обрезки и стального лома. Мощность печи 230...270 кВт, продолжительность плавки – 60 мин. Для уменьшения зарастания тигля периодически выполняют промывную плавку на кусковых отходах [8].

В работе [9] в качестве шихты использовали губчатый титан марки ТГ-Тв (содержание железа и углерода менее 2,0 и 0,15 %, соответственно) и отходы среднеуглеродистой стали (содержание примесей, %: 0,1...0,8 С; < 0,4 Si; < 0,05 P; < 0,05 S). Технология плавки была следующей: вначале выполняют 25...30 плавков с заливкой жидкой стали для образования гарнисажа, затем расплавление твердых отходов стали с

достижением температуры 1550...1600 °С, далее порционная загрузка титановой губки, снижение мощности печи после загрузки 40 % от расчетного количества губки, загрузка остального количества губки и слив ферротитана при температуре 1250...1350 °С в чугунные изложницы. Сразу после разливки поверхность слитков ферротитана охлаждают водой для подготовки к дроблению. Конечная продукция отвечала следующему составу, %: ~ 60 Ti; ≤ 0,05 S; ≤ 0,2 С.

Для получения стандартного и высокопроцентного ферротитана может быть использована «лежалая» титановая стружка, специальным образом подготовленная. Схема очистки стружки, примененная в работе [10], позволила полностью удалить из нее инородные примеси, а содержание углерода снизить до 0,06...0,12 %. Освоение разработанного процесса позволило использовать в качестве титаносодержащего компонента шихты 100 % стружки при производстве 25...50 %-го ферротитана внепечным способом и 40...70 % стружки в составе шихты при выплавке 65...75 %-го ферротитана в индукционной печи ИЛТ-1/04-М2.

Различные разновидности подготовки шихты и технологии плавки для получения стандартного и высокопроцентного ферротитана с использованием титановых отходов представлены в многочисленных патентах, в частности в патентах РФ 2020181, 2039101, 2102516, 2118394, 2118992, 2131479, 2196843, 2221893, 2243280 и др. [11].

Высокопроцентный ферротитан может быть получен и способом электрошлаковой плавки, которая позволяет использовать в качестве исходного сырья стружковые отходы [12]. Преимущество этого способа заключается в том, что титановая стружка плавится в слое шлака, в результате чего исключаются ее потери за счет сгорания на воздухе и обеспечивается большая приведенная поверхность взаимодействия стружки и шлака. При этом улучшаются условия теплопередачи от шлака к стружке, повышается производительность переплава. Если в индукционных печах дисперсность шихты является недостатком, то при электрошлаковом переплаве это положительный фактор. Кроме того, использование при ЭШП активных флюсов позволяет снизить в получаемом ферротитане содержание вредных примесей серы и фосфора. Электрошлаковый переплав титановых отходов используют и для получения комплексных Ti-Mn-Si лигатур, применяемых для обмазки сварочных электродов.

В способе электрошлаковой выплавки ферротитана по патенту [13] в качестве исходных материалов для получения продукта высокого качества также использовали титановую и стальную стружку. Сплавление смеси стружек выполняют в шлаковой ванне водоохлаждаемого кристаллизатора путем подвода тока в шлак через нерасходуемый графитовый электрод. Стружку загружают порциями в количестве 20...50 % от общей массы стружки. После сплавления каждой порции стружки снижают плотность тока на электроде на 50...70 % относительно плотности тока сплавления и производят выдержку при сниженной плотности тока в течение 1...5 минут. Затем сплавляют следующую порцию стружки.

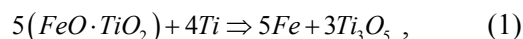
Технология утилизации таких низкокачественных титановых отходов как шлаки огневой резки титана при выплавке 70 %-го ферротитана в электрошлаковой печи заключается в следующем. Перед плавкой шлаки огневой резки измельчают до крупности менее 10 мм и подвергают прокатке при температуре 600...800 °С в течение 8 ч. Состав шихты для плавки был следующим, %: шлак огневого реза – 20; титановая стружка – 52; стальная стружка (Ст.3) – 28. Результаты химического анализа выплавленного ферротитана показали его однородность по всему объему слитка. Куски ферротитана в изломе не имели включений шлака и ничем не отличались от ферротитана, выплавленного на серийной шихте без использования шлака огневого реза.

Методом электронно-лучевой плавки в работе [14] был получен ферротитан, который использовали (в виде порошка) в качестве составляющей обмазки электродов, предназначенных для сварки низкоуглеродистых, низколегированных и высоколегированных (коррозионно-стойких и жаростойких) сталей. При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей титан выполняет функцию раскислителя, а при определенных условиях – еще и модификатора металла шва, регулирующего «выход» игольчатого феррита, с увеличением доли которого в структуре металла шва возрастает ударная вязкость. При сварке высоколегированных сталей титан связывает углерод в прочные карбиды и подавляет образование карбидов хрома, снижая, таким образом, межкристаллитную коррозию и улучшая свариваемость нержавеющей хромоникелевых сталей. Также для использования в электродном покрытии в работе [15] была разработана технология производства ферротитана с использованием титановой стружки и скрапа

вместо дефицитных кусковых отходов титановых сплавов и губчатого титана.

*Использование отходов в цветной металлургии.* В цветной металлургии использование некондиционных отходов титановых сплавов, как и отходов губчатого титана, может осуществляться по различным направлениям в зависимости от качества отходов и экономической конъюнктуры на продукцию, получаемую в результате переработки отходов. Во-первых, это использование отходов в производстве губчатого титана на двух переделах: получение титанового шлака и получение тетрахлорида титана. Использование отходов в производстве губчатого титана оставляет отходы в сфере кругооборота титана, однако не является эффективным направлением, так как возвращает металл к исходным стадиям процесса получения титана.

*Получение титанового шлака.* В этом случае отходы используют как часть шихты при выплавке шлака в рудно-термических печах. По этой технологии отходы вводят в печь в количестве 80...100 кг на 1,0 т ильменитового концентрата после расплавления концентрата в период доводки шлака. Отходы металлического титана, частично восстанавливая железо из концентрата по реакции



повышают выход шлака и содержание диоксида титана в нем. Кроме того, вовлечение отходов в рудно-термическую плавку снижает расход электроэнергии и основного восстановителя – антрацита, применяемого в процессе восстановительной плавки ильменитового концентрата. Также повышается коэффициент использования объема печи, сокращается количество отходящих из печи газов и, следовательно, снижается пылеунос и потери шлака с отходящими газами [6,16].

По мнению авторов работы [17], использование некондиционных титановых отходов в производстве титанового шлака термодинамически нецелесообразно, поскольку тепловой эффект экзотермической реакции (1) является очень незначительным. Однако, на наш взгляд, практические соображения в данном случае преобладают над термодинамической невыгодой.

Основное достоинство этого способа использования титановых отходов заключается в том, что он предъявляет к отходам самые минимальные требования: можно перерабатывать измельченные несортные отходы в виде мелких кусков, обрезки, стружки различных сплавов,

смешанных между собой и загрязненных до 3...5 % посторонними примесями (маслом, эмульсиями, пылью, отходами черных металлов). Из легирующих элементов, содержащихся в отходах титановых сплавов, только олово может оказывать вредное влияние на качество губчатого титана, полученного с использованием таких шлаков. Усвоение титана из отходов составляет 97...98 % [18].

Способ получения титанового шлака из мелкой стружки от обдирки титановых слитков предложен в патенте [19]. Стружку дробят, просеивают, прессуют со связующим (бентонит, гидролизный крахмал, меласса, сахар) в брикеты, сушат и плавят в электропечи в бескислородной атмосфере (азоте, аргоне, гелии). Связующее не должно содержать более 0,1 % щелочных или щелочноземельных металлов, так как при последующем хлорировании полученных титановых шлаков они образуют вязкую фазу, затрудняющую работу хлоратора кипящего слоя.

*Получение тетраоксида титана.* В этом случае отходы титановых сплавов подвергают хлорированию газообразным хлором или анодным хлорсодержащим газом. Однако этот процесс осложняется тем, что во взаимодействие с хлором вступает не только титан, но и все легирующие компоненты титановых сплавов. Они могут образовывать хлориды или оксихлориды, растворимые в тетраоксида титана.

Титановые металлические отходы (стружку сплавов, губку ТГ-Тв) можно использовать в качестве добавки к титановому шлаку, подвергнутому хлорированию, однако возможно и хлорирование шихты, состоящей только из отходов. Авторами работ [20-22] установлено, что при хлорировании стружки титановых сплавов в расплаве хлоридов калия и натрия анодным хлоргазом при температуре 650...700 °С в образующийся тетраоксид титан переходят не менее 97 % титана, практически полностью ванадий (72...97 %) и олово (62...90 %) и частично молибден (27...70 %), хром (1,5 %) и алюминий (1 %). В отработанном солевом расплаве остаются хлориды марганца, циркония, железа, а также хлориды хрома и алюминия. Очистка тетраоксида титана от примесных хлоридов весьма затруднена. Если тетраоксидное олово можно отделить от  $TiCl_4$  ректификацией, то для очистки тетраоксида титана от молибдена и хрома необходимо выполнять дополнительную операцию восстановления их соединений метал-

лической стружкой (титановой, цинковой, алюминиевой, магниевой) или медным порошком.

В работе [23] низкотемпературному хлорированию газообразным хлором подвергали стружку титанового сплава ВТ3-1, содержащего, %: 6,0 Al; 2,5 Mo; 2,0 Cr; 0,5; Fe 0,3 Si. После удаления хлора из полученного тетраоксида титана ( $TiCl_4$ ) его содержание в нем составляет 0,039 мас. %, что ниже нормы (0,07 мас. %) для первого сорта  $TiCl_4$ , полученного при хлорировании брикетированной шихты. В работе делается вывод о возможности применения этого процесса для утилизации титановых отходов.

К недостаткам способа хлорирования титановых отходов относится также необходимость применения довольно трудоемкой и сложной операции подготовки отходов перед подачей их на хлорирование. Так, при использовании стружки ее предварительно необходимо подвергнуть обезжириванию и измельчить до крупности менее 50 мм. В стружке не должно быть более 1,0 % мелких кусковых титановых отходов, а содержание других цветных металлов не должно превышать 3 % [24].

Интересной представляется двухстадийная схема получения губчатого титана из некондиционного титанового скрапа (рис. 1) [25,26].

Переработке по этой схеме подвергают несортовые титановые отходы различного химического состава, измельченные до крупности менее 12,5 мм, а также обезжиренные, содержащие оксиды и посторонние включения. На первой стадии (хлорирование) отходы направляют в реактор, содержащий расплав  $NaCl$ ,  $KCl$  или  $MgCl_2$  при температуре ~ 800 °С, и подают, в него аргон и очищенный  $TiCl_4$ . Целевым продуктом данной стадии является расплав хлоридов щелочных металлов, содержащий ~27 % растворенного титана в виде низших хлоридов. Отходами являются летучие хлориды V, Al, Fe, W, Sn, Mo и твердые примеси, отделяемые отстаиванием или фильтрацией. Затем расплав, содержащий низшие хлориды титана, направляют в реактор второй стадии на восстановление магнием (или натрием).

Продуктами второй стадии являются реакционная масса, состоящая из кристаллов (или гранул) титана, смешанных с остатком солей и избыточным восстановителем, и загрязненный расплав, содержащий оксиды, нитриды и остатки посторонних включений.

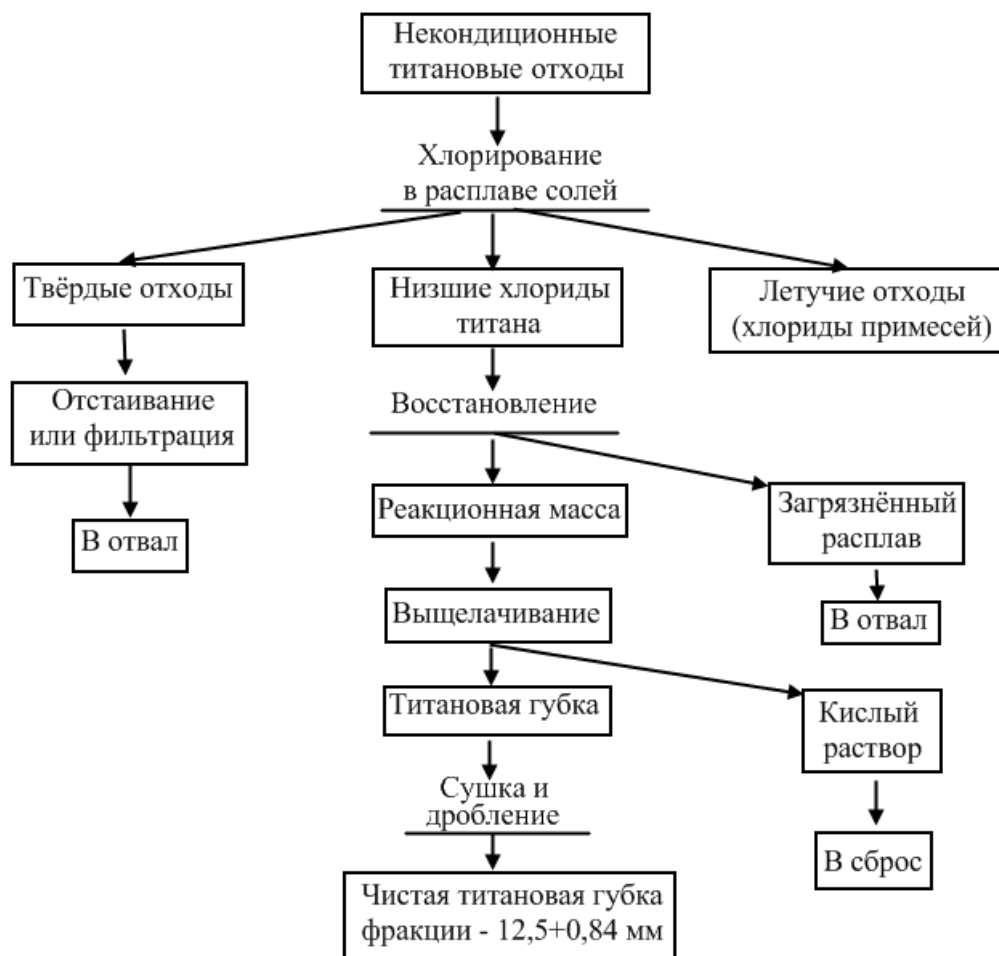


Рисунок 1 – Технологическая схема двухстадийного способа получения губчатого титана из титановых отходов [25]

Далее реакционная масса поступает на выщелачивание и, очищенная от хлористых солей и восстановителя, подвергается сушке и дроблению. С целью получения титановой губки заданного состава в расплав, подвергаемый на данной стадии восстановлению, можно вводить расчетное количество хлоридов легирующих элементов. Полученный губчатый титан направ-

ляют на изготовление расходуемых электродов для последующей переплавки их в слитки.

Расходные коэффициенты на получение титановой губки из титанового скрапа в сравнении с показателями процесса обычного магнитермического восстановления тетрахлорида титана приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Расход основных и вспомогательных материалов на получение 100 кг титановой губки [26]

Показатели	Величина показателя	
	из отходов титана	из тетрахлорида титана
Расход магния, кг	55	143
Количество тетрахлорида титана ( $TiCl_4$ ), кг	200	406
Получаемый хлорид магния ( $MgCl_2$ ), кг	190	385
Расход соляной кислоты ( $HCl$ ) на выщелачивание, кг	50	105
Потери $MgCl_2$ при выщелачивании, кг	30	164
Потери титана при выщелачивании, кг	1,0	2,0
Титановые отходы, кг	51	-
Инертный газ (аргон), $m^3$	1,6	2,5
Выход титановой губки, кг	100	100

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что расход основных и вспомогательных мате-

риалов ( $TiCl_4$ ,  $Mg$ ,  $Ar$ ,  $HCl$ ), а также потери  $MgCl_2$  и титана при выщелачивании значительно

сокращаются в случае получения титановой губки из скрапа. Согласно оценке, себестоимость титановой губки, полученной при переработке отходов на предприятии производительностью 18 т/сутки, составляет 82 % от себестоимости магнетермического губчатого титана.

**Легирование алюминиевых сплавов.** Титан в литейных алюминиевых сплавах повышает твердость и измельчает зерно, то есть используется как упрочнитель и модификатор [27]. Содержание титана в алюминиевых сплавах составляет до 0,2 % по массе. Для введения в алюминий таких количеств титана используют лигатуру «титан-алюминий» с содержанием титана 5...10 %. Для выплавки лигатуры «титан-алюминий» применяют низкокачественный губчатый титан марки ТГ-Тв или мелкие отходы титановых сплавов (кусковые, листовые, дробленую стружку), в которых допускается низкое содержание олова. Лигатуры применяют в производстве первичного алюминия, где окончательная продукция содержит 0,04...0,05 % титана. Возможно использование титановых отходов для производства лигатуры «титан-алюминий» в процессе электролитического получения алюминия [28]. В этом случае титановые отходы вводят в ванну алюминиевого электролизера как в виде кусков губки ТГ-Тв, так и в виде стружки титановых сплавов.

Низкокачественные титановые отходы используют также как основной компонент шихты в производствах *вторичных титановых сплавов* [11] и *фасонного литья* [29].

С использованием технологий гидрирования – дегидрирования, механохимического измельчения и электролитического рафинирования из низкокачественного губчатого титана и некондиционных отходов титановых сплавов получают *порошки* для применения в самых разных областях, в том числе и для изготовления из них изделий методами порошковой металлургии.

Методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза из некондиционных титановых отходов могут быть получены *тугоплавкие соединения титана* (нитриды, карбиды, карбонитриды), а методом жидкофазного спекания – *карбидостали*.

**Выводы.** Титановые отходы в черной и цветной металлургии используют для получения различных продуктов, применяя технологии легирования, раскисления, плавки, хлорирования, восстановления, механохимического и термохимического измельчения, электролитического рафинирования, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, жидкофазного спекания.

### Библиографический список

1. **Комсток, Дж. Ф.** Титан в чугуне и стали [Текст] / Дж. Ф. Комсток; перевод с англ. – М. : ИЛ, 1956. – 356 с.
2. **Ситтиг, М.** Извлечение металлов и неорганических соединений из отходов [Текст] / М. Ситтиг ; перевод с англ. – М. : Металлургия, 1985. – 371 с.
3. **Хорн, Г.** Переработка титановых отходов [Текст] / Г. Хорн // Титан. Металловедение и технология : труды 3-й Международ. конф. по титану, Ч.1). – М. : ВИЛС, 1977. – С. 131-137.
4. **Шаповалова, О. М.** Переработка отходов цветных металлов [Текст] / О. М. Шаповалова // Состояние, проблемы и направления развития производства цветных металлов в Украине : сборник научных трудов ЗГИА; под ред. Г.А. Колобова. – Запорожье : РИО ЗГИА, 1997. – С. 65-72.
5. **Колобов, Г. А.** Использование титановых отходов в производстве ферротитана [Текст] / Г. А. Колобов, К. А. Печерица, А. Г. Колобова // Сучасні медико-екологічні та економічні аспекти при поводженні з відходами виробництва і споживання. – Київ : Тов. «Знання» України, 2007. – С. 30-32.
6. **Кипарисов, С. С.** Переработка титанового скрапа [Текст] / С. С. Кипарисов, А. Л. Бескин, А. П. Петров. – М. : Цветметинформация, 1984. – 55 с.
7. **Плинер, Ю. Я.** Восстановление окислов металлов алюминием [Текст] / Ю. Я. Плинер, Г. Ф. Игнатенко. – М. : Металлургия, 1967. – 298 с.
8. **Тарасов, А. В.** Металлургия титана [Текст] / А. В. Тарасов. – М. : Академкнига, 2003. – 328 с.
9. **Пименов, Ю. Г.** Применение титановой губки низших сортов для получения высокопроцентного ферротитана [Текст] / Ю. Г. Пименов // Цветные металлы. – 1978. – № 5. – С. 51-52.
10. **Саубанов, М. Н.** Переработка титановых отходов [Текст] / М. Н. Саубанов, Н. В. Панина, А. В. Ефимов // Литейное производство. – 2000. – № 11. – С. 19.
11. **Колобов, Г. А.** Титан вторичный. Часть 2 [Текст] / Г. А. Колобов, В. И. Пожуев, В. В. Тэлин. – Запорожье : РИО ЗГИА, 2006. – 124 с. – ISBN 978-966-7101-88-6.
12. **Паздников, И. П.** К вопросу оптимизации технологии производства высококачественного ферротитана [Текст] / И. П. Паздников, А. Я. Дубровский, А. В. Зеленский и др. // Титан. – 2005. – № 2. – С. 21-22.

13. Пат. 2346994 Российская Федерация: МПК С 22 В 9/18, С 22 С 33/04. Способ электрошлаковой выплавки ферротитана. В. В. Дидковский, В. Д. Дашевский, С. Г. Коновалов. – № 2007109714/02. – заявл. 16.03.2007; опубл. 20.02.2009.
14. Тригуб, Н. П. Производство ферротитана методом электронно-лучевой плавки [Текст] / Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин, Г. В. Жук и др. // Сварщик. – 2004. – № 4. – С. 38-39.
15. Саубанов, М. Н. Производство ферротитана из отходов титановых сплавов [Текст] / М. Н. Саубанов, В. М. Сенопальников // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 7. – С.36-37.
16. Петров, А. П. Применение отвальных титановых сплавов при выплавке титановых шлаков в рудно-термических печах [Текст] / А. П. Петров, О. А. Бугацкая, Б. П. Титомер // Цветная металлургия. – 1989. – № 8. – С. 34-35.
17. Трегубенко, Г. Н. Термодинамический анализ возможности использования сильнозагрязненных титаносодержащих отходов при производстве титанового шлака [Текст] / Г. Н. Трегубенко, Г. А. Поляков, С. Н. Подгорный // Титан-2016 : виробництво та використання в авіабудуванні : збірка тез IV міжнарод. наук.-практ. конф., 03-04.11.2016, – Запоріжжя. – С. 31-32.
18. Колобов, Г. А. Первичная обработка некондиционных титановых отходов [Текст] / Г. А. Колобов, К. А. Печерица, А. Г. Колобова // Екологічні проблеми промислових підприємств і перспективи їх вирішення в рамках співробітництва з Євросоюзом. – Київ : Тов. «Знання» України, 2007. – С. 58-61.
19. Pat. 5968224 USA: IPC<sup>6</sup> С 22 В 34/12. Recovery of titanium from granular chip by melting in electrical furnace. S. J. Gerdemann, J. C. White. – No 9/126867. – pat. 31.07. 1998; publish. 19.10.1999.
20. Галицкий, Н. В. Переработка отходов титановых сплавов методом хлорирования в расплаве хлоридов калия и натрия [Текст] / Н. В. Галицкий, В. И. Дрожжев, В. Н. Завадовская, М.К. Байбеков // Металлургия и химия титана. – М. : Металлургия, 1970. – Вып. IV. – С. 46-50.
21. Галицкий, Н. В. Взаимодействие металлического титана с хлором в среде расплавленных хлоридов [Текст] / Н. В. Галицкий, В. И. Дрожжев, В. Н. Завадовская // Металлургия и химия титана. – М. : Металлургия, 1970. – Вып. V. – С. 33-36.
22. Галицкий, Н. В. Переработка отходов титана и его сплавов в расплаве хлористых солей [Текст] / Н. В. Галицкий, М. К. Байбеков, В. И. Дрожжев и др. // Металлургия и химия титана. – М. : Металлургия, 1970. – Вып. VI. – С. 135-140.
23. Синенко, А. П. Исследование процесса низкотемпературного хлорирования соединений титана и металлических отходов титана [Текст] / А. П. Синенко, Л. К. Кузина, Л. А. Гаманенко // Цветные металлы. – 1991. – № 5. – С. 48-50.
24. Сергеев, В. В. Металлургия титана [Текст] / В. В. Сергеев, А. Б. Безукладников, В. М. Мальшин. – М. : Металлургия, 1979. – С. 240-250.
25. Glasser, J. Titanium Science and Technology [Text] / J. Glasser. – New York. – L., 1973. – Vol. 1. – Pp. 285-297.
26. Алексеева, Ю. А. Новые способы переработки титанового скрапа за рубежом [Текст] / Ю. А. Алексеева // Цветная металлургия. – 1975. – № 12. – С. 41-42.
27. Добаткин, В. И. Алюминиевые сплавы. Плавка и литье алюминиевых сплавов [Текст] / В. И. Добаткин. – М. : Металлургия, 1970. – 246 с.
28. Напалков, В. И. Производство лигатур в условиях получения алюминия электролизом [Текст] / В. И. Напалков, В. В. Нерубашенко, Б. И. Бондарев и др. // Технология легких сплавов. – 1976. – № 2. – С. 24-27.
29. Гавриленко, Ю. П. Освоение литья из низкосортного и некондиционного титана [Текст] / Ю. П. Гавриленко, А. Н. Кучеренко, Г. М. Вассерман // Применение титана в народном хозяйстве СССР: сборник трудов. – М. : Цветметинформация, 1967. – С. 119-126.

**КОЛОБОВ ГЕРМАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ**, кандидат технічних наук, професор-консультант кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: kolobovgerman@rambler.ru

**ВОДЕНІКОВ СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ**, доктор технічних наук, перший проректор, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: Vodenikov\_dom@mail.ru

**ЛИСИЦЯ ВАДИМ КОСТЯНТИНОВИЧ**, доктор технічних наук, професор кафедри теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: admin@zgia.zp.ua

**БУБІНЕЦЬ ОЛЕКСІЙ ВАДИМОВИЧ**, аспірант кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: bavzp@mail.ru

**ПЕЧЕРИЦЯ КОСТЯНТИН АРІКОВИЧ**, генеральний директор ПАТ «Тітан Трейд» (Запоріжжя, Україна). E-mail: 15pak93@mail.ru

## ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ НЕКОНДИЦІЙНИХ ТИТАНОВИХ ВІДХОДІВ У ЧОРНІЙ ТА КОЛЬОРОВІЙ МЕТАЛУРГІЇ



Титанові відходи знаходять застосування у чорній металургії для легування, розкислення та модифікування сталі та у виробництві стандартного й високопроцентного феротитану. У кольоровій металургії такі відходи використовують під час виробництва титанового шлаку та тетрахлориду титану, для легування алюмінієвих сплавів, у виробництві вторинних титанових сплавів, заготовчого та фасонного лиття, а також для одержання порошків титану, гідриду титану та тугоплавких сполук титану.

Ключові слова: титанові відходи, чорна та кольорова металургія, титанвмісні сталі, феротитан, титановий шлак, тетрахлорид титану, алюмінієві сплави, вторинні титанові сплави, титанове лиття, порошки, сполуки титану

**KOLOBOV GERMAN**, Candidate of Technical Sciences, Professor-Consultant of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: kolobovgerman@rambler.ua

**VODENNIKOV SERGEY**, Doctor of Technical Sciences, First Pro-rector, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: Vodennikov\_dom@mail.ru

**LISITSA VADIM**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department Heat and Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: admin@zgia.zp.ua

**BUBINETS' ALEXEY**, Aspirant of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: bavzp@mail.ru

**PECHERITSA CONSTANTIN**, General Ddirector, OAJ «Titanium Trade» (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: 15pak93@mail.ru

### **TECHNOLOGIES OF USING NONSTANDARD TITANIUM WASTE IN FERROUS AND COLOURED METALLURGY**

Titanium waste is used in ferrous metallurgy for alloying, acidification and modification of steels and also in the production of standard and high-percent ferrotitanium. In coloured metallurgy, such waste is used at the production of titanium-new slag and titanium tetrachloride, for alloying aluminum alloys, for secondary titanium alloys, for procurement and shaped casting, and also for producing titanium powders, titanium hydride and refractory titanium compounds.

Key words: titanium waste, ferrous and coloured metallurgy, titanium-containing steels, ferrotitanium, titanium slag, titanium tetrachloride, aluminum alloys, secondary titanium alloys, titanium casting, powders, titanium compounds

Стаття надійшла до редакції 17.03.2017 р.  
Рецензент, проф. В.С. Ігнат'єв

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>