

УДК 669.295

КОЛОБОВ Герман Александрович ⁽¹⁾, профессор-консультант, кандидат технических наук
ВОДЕННИКОВ Сергей Анатольевич ⁽¹⁾, первый проректор, доктор технических наук
ПЕЧЕРИЦА Константин Арикович ⁽²⁾, генеральный директор
ЛИЧКОНЕНКО Наталья Владимировна ⁽¹⁾, старший преподаватель
БУБИНЕЦ Алексей Вадимович ⁽¹⁾, аспирант

ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРОТНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВАХ ТИТАНОВОГО ФАСОННОГО ЛИТЬЯ И СЛИТКОВ

⁽¹⁾ Запорожская государственная инженерная академия

⁽²⁾ ООО «Титан Трейд», г. Запорожье

Дана характеристика титановых литейных отходов и рассмотрены методы подготовки и вовлечения их в шихту для фасонного титанового литья путем изготовления расходуемых электродов и загрузки их непосредственно в тигель перед проведением плавки, а также типы печей для получения фасонных отливок из титановых сплавов. Оценена экономическая эффективность использования отходов в производстве титанового фасонного литья.

Ключевые слова: титановые отходы, фасонное литье, выплавка слитков, расходуемый электрод, плавильные установки

Введение. Титановое фасонное литье является наиболее сложным и трудоемким видом титановых полуфабрикатов. Литейные свойства титановых сплавов, технология и оборудование титанового литейного производства, получение фасонных отливок из титановых сплавов описаны в монографиях [1-3] и в основополагающих статьях К.К. Ясинского [4,5]. Использование в шихте для производства титанового фасонного литья отходов значительно снижает стоимость этого дорогостоящего вида титановых полуфабрикатов [6,7]. Вообще, при сравнительном исследовании экономической эффективности выяснилось [8,9], что использование титановых отходов в производстве фасонного литья имеет коэффициент эффективности в интервале 5,2-12,5 (за единицу принят экономический эффект при использовании отходов для выплавки титановых шлаков).

Характеристика титановых литейных отходов. Типичными титановыми отходами, образующимися в фасонно-литейном производстве [2], являются центральные стояки, литники и прибыли. Их количество в общем балансе литейных отходов цеха (или участка) составляет около 75-80 %. Часть отходов (3-5 %) образуется при браке отливок по геометрии и литейным дефектам. К литейным отходам относятся также остатки металла в приемно-направляющих лотках и сплески в плавильных печах, а также гарнисаж тиглей, вышедших из строя (их суммарное количество составляет 13-15 %). И наконец, небольшую часть отходов (около 2 %) состав-

ляют стружка и опилки от первичной механической обработки отливок.

По степени загрязненности все литейные отходы титановых сплавов классифицируют на сортовые и несортовые. Сортовые отходы подразделяют на отходы первого и второго сорта. К отходам первого сорта относятся элементы литниковых систем, остатки металла в приемно-направляющих лотках, бракованные по геометрии и рентгеноконтролю отливки, химический состав которых известен и соответствует установленным стандартам. Ко второму сорту относятся отливки, забракованные по химическому составу, и отходы, образовавшиеся при их производстве.

К несортовым отходам относят стружку и опилки от черновой механической обработки отливок, гарнисаж забракованных графитовых тиглей, а также мелкокусковые отходы, перепутанные по маркам сплавов. Использование несортовых отходов при производстве фасонных отливок сопряжено с длительной и трудоемкой их регенерацией, так как эти отходы в значительной мере загрязнены углеродом и газами (гарнисажи), частицами режущего инструмента, охлаждающими эмульсиями и материалом литейной формы (пригар) и др. При литье в керамические формы на отливках наблюдается поверхностный альфированный слой. В отливках по выплавляемым моделям возможно загрязнение кремнием (до 3,5 %), железом и кислородом. Поэтому экономически эффективным является использование только сортовых отходов.

Сортовые отходы загрязнены примесями, в основном, тонкий поверхностный слой. В результате взаимодействия титана с графитовой

формой происходит загрязнение углеродом (до 0,2-0,4 %) поверхностного слоя металла на глубину до 0,3-0,8 мм. С увеличением сечения отливки и уменьшением плотности формы толщина науглероженного слоя возрастает. Возможно также увеличение содержания в поверхностном слое азота, кислорода и водорода.

При резке и измельчении отходов происходит дополнительное загрязнение их поверхности в местах реза. Так, в зоне ацетилено-кислородного реза образуются различного вида соединения титана с кислородом, азотом, углеродом и водородом. Толщина газонасыщенного слоя при оптимальном режиме резки составляет около 0,10-0,15 мм. При анодно-механической резке поверхность металла насыщается продуктами взаимодействия расплавленного металла с жидким стеклом и атмосферными газами на глубину до 0,2 мм и более.

В некоторых случаях при частичном оплавлении гарнисажа в графитовом тигле и отклонении давления остаточных газов в плавильно-заливочной камере от оптимального значения может повыситься содержание углерода, кислорода и азота по всему сечению отходов. Промышленный опыт показывает, что за цикл плавки и заливки прирост содержания в металле кислорода и азота за счет натекания (в случае плавки при натекании меньшем или равном допустимому) составляет 0,003-0,005 %.

Количество кондиционных оборотных литейных отходов (возврат собственного производства) в балансе шихты при производстве отливок достигает 60-80 %, поэтому их использование существенно (не менее, чем на 15-20 %) снижает стоимость титанового литья [2,6]. Как показано в работе [4] использование титанового скрапа, вводимого в плавку, является важной проблемой, так как литниковая система при центробежном литье составляет 40-50 %, а для мелких деталей – до 70 % от массы отливки. Некондиционный литейный скрап (всплески, брызги, заливы, гарнисаж тиглей и пр.) частично применяют в производствах губчатого титана и ферротитана, а наибольшую его часть используют для изготовления литых деталей химического машиностроения или художественного литья.

Подготовка отходов. Вследствие повышенного содержания примесей в литейных отходах (кислорода, азота, водорода, углерода и др.) введение их в шихту приводит к загрязнению расплава. Для получения отливок при многократном использовании отходов в цикле переплава их допустимое количество в шихте N при заданном

содержании примеси в отливке $C_{отл}$ может быть определено по формуле [4]:

$$N = \frac{C_{отл} - C_{pz} - \Delta C_n}{C_{отл} - C_{pz} + \Delta C_o}, \quad (1)$$

где N – доля отходов в шихте; $C_{отл}$ – допустимое содержание примеси в отливке, %; C_{pz} – содержание примеси в расходуемом электроде, %; ΔC_n – прирост содержания примеси в отливке в процессе цикла плавки и заливки, %; ΔC_o – прирост содержания примеси в отливке за счет введения отходов в шихту, %.

Анализ формулы (1) показывает, что загрязнение отливки примесями из отходов значительно сокращает возможность использования последних в шихте. Поэтому перед введением в шихту отходы очищают от поверхностных загрязнений. При этом тонкостенные отходы (толщина стенки менее 20 мм) требуют более глубокой очистки, так как они имеют более развитую загрязненную литейную поверхность по сравнению с толстостенными. Перед очисткой отходы измельчают до размеров, обеспечивающих их компактную укладку при переплаве. В случае использования отходов второго сорта выполняют дополнительно операцию расшихтовки до требуемого химического состава.

Для измельчения отходов применяют резку вулканитовыми кругами, а также механическую, анодно-механическую, плазменную и ацетилено-кислородную резку. В работах [10,11] предложено для измельчения литейных кондиционных отходов (элементов литниково-питательной системы отливок) использовать локальное водородное охрупчивание. Преимуществами этого метода являются минимально возможные энергетические затраты, сокращение расхода водорода по сравнению с объемным наводороживанием в 10-20 раз, исключение операции вакуумной дегазации измельченных отходов перед повторным переплавом и отсутствие безвозвратных потерь дефицитного материала по сравнению с огневой резкой. Измельчение тонкостенных отходов может производиться под прессом в бронированной камере.

С целью удаления поверхностных загрязненных слоев отходов, а также остатков материала литейной формы с их поверхности, применяют механическую и химическую очистку. Механическую очистку производят в галтовочных барабанах, на дробеструйных и дробеметных установках, в дробеметных барабанах и на дробеструйных установках с вращающимся колоколом [12].

Продолжительность очистки отходов на глубину около 0,1 мм в галтовочных барабанах типа ОБ-780 или ОБ-800 составляет 8 ч при загрузке барабанов на 75 % по объему. Для улучшения качества очистки вместе с отходами рекомендуется загружать битые абразивные круги в количестве 5 % от массы отходов. Продолжительность такой же очистки в дробебетных барабанах моделей 323, 324 М или 324 и на дробеструйных установках с вращающимся колоколом составляет 1,0-1,5 ч. Продолжительность очистки на дробеструйных установках со стационарным (модели 334 М) или вращающимся (модели 345) столом можно определить, исходя из средней скорости очистки литой поверхности 0,04 мм/мин с учетом соотношения площадей поверхности очищаемых отходов и факела дробы на этой поверхности.

Галтовкой производят очистку открытых поверхностей отходов и, прежде всего, от остатков материала литейной формы, а также от шлака и оксидов, образующихся при газовой резке. Независимо от продолжительности галтовки практически не очищаются закрытые и труднодоступные поверхности и незаконченные резы. Галтовка не обеспечивает удаление пригара даже с открытых поверхностей. Она счищает лишь верхние, слабо связанные слои пригара, сглаживая его.

Дробеструйная или дробебетная обработка очищает литую поверхность титановых отходов более эффективно, чем галтовка. Однако для удаления пригара с открытых поверхностей требуется значительно увеличить продолжительность обработки. Пригар, образовавшийся в поднутрениях и глубоких карманах, так же как при галтовке, практически не удаляется. Поэтому участки, пораженные пригаром, должны быть удалены резкой или зачисткой на наждачных кругах.

После механической очистки производят разрыхление окисленных поверхностных слоев отходов в растворах следующих составов, г/л: 600-650 $NaOH$; 200-250 $NaNO_3$ и 50-60 $NaNO_2$ или 500-700 $NaOH$ и 150-250 $NaNO_2$; температура раствора 130-145 °С, время обработки от 20-30 мин до 2 ч.

После этого отходы промывают в теплой и холодной воде, а затем подвергают травлению в кислотном растворе состава, мл/л: 60-70 H_2SO_4 (плотность 1,84 г/см³) и 60-140 HF (плотность 1,13 г/см³) при комнатной температуре. Скорость травления составляет 0,2-0,5 мм/ч. Очищенные отходы промывают в холодной воде и сушат при температуре 110-150 °С, после чего со-

бирают в тару с плотно закрывающимися крышками и направляют на шихтовый двор. Химическим травлением отходов достигается равномерный съем поверхностного слоя металла, удаляется налет железа и абразива. Отходы после травления приобретают характерный серебристый цвет.

Литейный скрап алюминидов титана сильно загрязнен примесями кислорода и других элементов, в связи с чем нуждается в предварительном раскислении и рафинировании. В работе [13] предложена новая технология утилизации скрапа алюминидов титана, которая состоит из следующих последовательных операций: вакуумная индукционная плавка в специальных керамических тиглях, раскисление переплавкой под активным шлаком, рафинирование вакуумной дуговой плавкой.

Вовлечение отходов в шихту. Введение отходов в шихту для фасонного литья может быть произведено двумя основными способами: изготовлением из отходов расходуемых электродов и загрузкой отходов в гарнисажный тигель перед проведением плавки. При плавке в гарнисажных печах непосредственно в тигле переплавляется до 15-20 % литейного кондиционного скрапа, остальной скрап применяют для изготовления расходуемого электрода путем загрузки мерных заготовок в изложницу с последующей их заливкой жидким металлом [4].

Расходуемые электроды из одних отходов изготавливают сваркой в инертной среде, укладывая куски таким образом, чтобы полученный электрод имел более или менее правильную геометрическую форму. Сварные швы выполняют сравнительно большого сечения во избежание разрушения электрода в процессе плавки.

Расходуемые электроды из компактных кусковых отходов, сечение которых примерно равно площади электрода, изготавливают последовательной приваркой кусков к огарку электрода. Приварку выполняют непосредственно на плавно-заливочной установке. Если диаметр расходуемого электрода больше размера кусковых отходов, то из них предварительно изготавливают при помощи аргоно-дуговой сварки заготовки, которые затем последовательно приваривают к огарку до получения электрода требуемой массы.

В период освоения фасонного титанового литья на ОАО «Запорожский титано-магний комбинат» [14] расходуемые электроды диаметром 240 мм изготавливали прессованием сортовой и несортовой (марки ТГ-ЧМ) титановой губки фракции +12 -70 мм и сваркой невозврат-

ных отходов производства слитков титановых сплавов 3 и 3В. На опытном участке, оборудованном электродуговой вакуумной печью ВДЛП-626 и различным вспомогательным оборудованием, из такой шихты было освоено производство деталей насосов ТН-70 (улита массой 23 кг, крышка 13 кг, рабочее колесо 7 кг) и вентиляторов Д-13,5. Освоение литья из расходных электродов, спрессованных из несортной губки, представляет большие трудности из-за значительной ее загрязненности примесями железа, кислорода, азота, водорода, хлора, достигающими в сумме 1,5-2,0 %. Детали насосов, полученные литьем из низкосортного и некондиционного титана, имели, по сравнению с изготовленными из титановых отходов высоких сортов, пониженную пластичность и повышенную твердость, однако вполне удовлетворительную обрабатываемость. Коррозионная стойкость литых деталей из титановых отходов не отличалась от стойкости деталей из кондиционного титана.

Для использования в вакуумно-дуговых литейных печах могут быть применены комбинированные расходные электроды, в состав которых входят спрессованная из губчатого титана штанга и цилиндрические заготовки от литниковой системы [15]. Полученные с использованием таких электродов фасонные отливки соответствовали техническим условиям.

Для изготовления расходного электрода из стружки в патенте [16] предложена следующая технология. Дробленую и очищенную стружку подвергают вакуум-термической дегазации (температура 550-650 °С, выдержка 1-2 ч) и брикетируют. Затем брикеты загружают с зазором в изложницу, которую перед заливкой одноименным сплавом нагревают до температуры 400-450 °С. Предложенный способ позволяет использовать шихту, состоящую из 100 % стружки, при получении вторичных литейных сплавов, исключить из процесса изготовления расходных электродов дорогостоящую титановую губку и улучшить качество вторичных сплавов за счет уменьшения содержания примесей внедрения.

Целесообразно изготавливать расходные электроды заливкой отходов расплавом той же марки сплава в разъемную или вытряхную изложницу. Чистота обработки рабочей полости изложницы должна соответствовать классу 5 или 6, литейный уклон вытряхных изложниц – составлять 1-2 °, толщина стенки – 0,20-0,25 диаметра изготавливаемого электрода. Изложницы следует изготавливать из углеродистой стали.

Применение чугунных изложниц менее целесообразно, так как после 15-20 заливок появляются следы эрозии на их рабочей поверхности. В изложницу можно загружать до 50 % мелкокусковых или до 70 % крупнокусковых отходов.

Для получения качественных заготовок (электродов) из титановых отходов с последующим изготовлением из них отливок приоритетным является соблюдение технологических параметров нагрева изложницы, а также рациональное процентное соотношение отходов к объему изложницы [17].

В случае расшихтовки изготавливаемого электрода (например, при использовании отходов второго сорта) совместно с отходами загружают шихтовые материалы в требуемой пропорции. Эффективность данного метода изготовления электродов может быть повышена поочередной заливкой нескольких изложниц за один цикл откачки плавления-заливочной установки или одновременной заливкой нескольких изложниц через общую литниковую чашу.

На ОАО «Мотор Сич» (г. Запорожье) используют следующие методы изготовления фасонных титановых отливок: литье по выплавляемым моделям, литье в кокиль и литье в оболочковые формы [18]. В качестве расходных электродов для переплава в вакуумно-дуговом плавильном агрегате ВДЛ-4 применяют титановые прутковые заготовки диаметром 360 мм из сплава ВТ1-0 производства ВСМПО, а также заготовки собственного производства с использованием 50 % губчатого титана марки ТГ120 (ООО «ЗТМК») и 50 % прутковой шихтовой заготовки из сплава ВТ1-0. В развитие работы [18] на ОАО «Мотор Сич» для получения литых деталей из титанового сплава ВТ 5Л-МС были успешно применены, наряду с расходными электродами, изготовленными из спрессованных брикетов губчатого титана с алюминием, электроды с использованием до 40 % возвратных кондиционных литейных отходов собственного производства [19].

Литейный титановый сплав ВТ 5Л широко применяется для изготовления фасонных отливок и силовых деталей сложной конфигурации, длительно (до 2000 ч) работающих при температурах до 400 °С. На ОАО «Мотор Сич» разработан и внедрен в производство технологический процесс получения расходных электродов из сплава ВТ 5Л-МС [20]. Способ вакуумно-дуговой гарнисажной плавки с расходным электродом в печи ВДЛ-4 показал преимущества использования для его изготовления 10-20 % кондиционных отходов сплава ВТ 5Л и 80-90 %

прессованных брикетов из губчатого титана, легированного алюминием марки А99. Использование возвратных отходов сплава ВТ 5Л исключает необходимость их контроля на соответствие марке сплава. Химический состав и механические свойства сплава ВТ 5Л-МС, полученного в результате переплавки электродов собственного производства, соответствует требованиям нормативной документации.

Более экономичным, чем использование отходов для изготовления расходных электродов, является вовлечение их в шихту путем загрузки в тигель перед плавкой, так как при этом не требуется выполнение операций по изготовлению электродов и применения дополнительного оборудования. Максимальное количество отходов, которое может быть загружено в тигель, составляет 30-35 % от массы плавки. При этом требуется увеличение мощности плавильной установки и соответствующее изменение режимов плавки.

Для получения фасонного титанового литья первоначально использовали гарнисажные печи серий ВДЛ и позднее ДТВГ и ВДПА с весьма высокими коэффициентами использования металла. В настоящее время наиболее перспективными для получения фасонных отливок из титановых сплавов считаются индукционные печи (установки) с холодным тиглем типа ИПХТ (или УПХТ) [21]. Индукционные печи с холодным тиглем могут использовать, кроме первичной шихты, титановые отходы любого вида (в том числе стружку и листовую обрезь) с различным процентным соотношением в шихтовой садке (вплоть до 100 % отходов) и введением их в тигель свободной завалкой перед плавкой. Эти печи обеспечивают получение широкой номенклатуры литых деталей и заготовок из титана, а также вторичных титановых сплавов. Несмотря на значительные энергозатраты, характерные для печей такого типа, технологические и металлургические возможности позволяют использовать их для переплава отходов, получая конечный продукт за один переплав, без последующих переделов [22].

Применение технологии индукционной плавки в холодном тигле (ИПХТ) для фасонного литья титановых сплавов создает высокую экономическую эффективность и обеспечивает доступность этого вида полуфабрикатов для широких потребительских нужд [23].

Крупногабаритный лом и отходы фасонно-литейного производства могут быть использованы и для изготовления слитков. В работах К.К. Ясинского [5,24] сообщалось об использовании электронно-лучевых установок ЭЛУТО-1 и ЭЛУТО-2 для вакуумного переплава титановых литейных отходов в слитки. Эти установки работали на ряде моторных заводов, а также нашли применение в других отраслях промышленности.

Из отходов сплавов ПТ-3В и ТЛ-3 на установке УЭ-108 конструкции ИЭС им. Е.О. Патона были получены слитки диаметром до 0,55 м и длиной до 1,0 м методом наплавления и вытягивания из медного проходного кристаллизатора [25]. В другой работе тех же авторов [26] изложены результаты работ по созданию технологий получения расходных электродов для фасонно-литейного производства в судостроительной отрасли, а также передельных слитков из титановых сплавов с использованием лома и отходов.

Выплавка слитков титановых сплавов из литейных отходов в плазменно-вакуумных печах, в которых расплавление металла производится магнитоуправляемой дугой, позволяет, за счет интенсивного перемешивания жидкого металла в ванне, эффективно удалять растворимые примеси, определяющие глубину рафинирования сплава [27].

Заключение. Обратные литейные отходы титановых сплавов, подготовленные до кондиционного состояния, используют для изготовления из них расходных электродов или непосредственно вовлекают в шихту для получения фасонного литья путем переплавки в гарнисажных и индукционных печах. Использование отходов позволяет значительно снизить стоимость титановых фасонных отливок.

Библиографический список

1. **Магницкий, О. Н.** Литейные свойства титановых сплавов [Текст] / О. Н. Магницкий. – Л. : Машиностроение, 1968. – 120 с.
2. **Бибиков, Е. Л.** Производство фасонных отливок из титановых сплавов [Текст] / Е. Л. Бибиков, С. Г. Глазнов, А. А. Неуструев и др. – М. : Металлургия, 1983. – 296 с.
3. **Андреев, А. Л.** Плавка и литье титановых сплавов [Текст] / А. Л. Андреев, Н. Ф. Аношкин, Г. А. Бочвар и др. – М. : Металлургия, 1994. – 368 с.
4. **Ясинский, К. К.** Влияние технологии литья на свойства титановых сплавов [Текст] / К. К. Ясинский // Титан. – 1995. – № 1-2. – С. 48-53.
5. **Ясинский, К. К.** Фасонное литье титана [Текст] / К. К. Ясинский // Титан. – 2004. – № 1. – С. 11-15.

6. **Быков, И. Д.** Использование литейных отходов титановых сплавов [Текст] / И. Д. Быков // Вакуумно-дуговая плавка. – М. : ВИЛС, 1972. – Вып. VIII.
7. **Филин, Ю. А.** Переработка и использование титановых отходов в литейных цехах [Текст] / Ю. А. Филин, А. С. Баранцев, Л. Г. Круглов. и др. // Литейное производство. – 2000. – № 7. – С. 21-22.
8. **Грацерштейн, И. М.** Экономика использования отходов титанового производства [Текст] / И. М. Грацерштейн, А. И. Канюк. – М. : Цветметинформация. 1969. – 56 с.
9. **Гопиенко, В. Г.** Вторичная металлургия титана [Текст] / В. Г. Гопиенко, А. И. Канюк, Р. А. Сандлер и др. – М. : Цветметинформация (депонент), 1974. – 130 с.
10. **Надежин, А. М.** Комплексный производственный процесс получения высококачественных литых изделий из титановых сплавов на базе водородной технологии [Текст] / А. М. Надежин, Е. Л. Бибииков // Цветные металлы. – 1995. – № 5. – С. 52-56.
11. **Надежин, А. М.** Процесс измельчения литейных кондиционных отходов титановых сплавов с использованием метода локального водородного охрупчивания [Текст] / А. М. Надежин, Е. Л. Бибииков // Водородная обработка материалов : труды 3-й междунар. конф. ВОМ. – 2001, Ч. 1. – Донецк, 2001. – С. 211-213.
12. **Созинов, А. И.** Повышение эффективности черновой обработки заготовок титановых сплавов [Текст] / А. И. Созинов, А. Н. Строщков. – М. : Металлургия, 1990. – 206 с.
13. **Reitz, J.** Recycling of gamma titanium aluminum scrap from investment casting operations [Text] / J. Reitz, C. Lochbichler, B. Friedrich // Intermetallics. – 2011. – Vol. 19, No.6. – Pp. 762-768.
14. **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.
15. **Константинов, В. С.** Получение расходуемых электродов из губчатого титана для переплава в гарнисажных литейных печах [Текст] / В. С. Константинов, В. А. Шаповалов, С. М. Теслевич и др. // Современная электрометаллургия. – 2009. – № 2. – С. 39-42.
16. **Пат. 2197548 Рос. Федерация, МПК⁷ С 22 В 9/20, 9/18.** Способ получения расходуемых электродов из металлической стружки / ГУП «ЦНИИМ», В. Л. Гиршов, А. М. Подпалкин, А. Н. Трещевский, А. А. Абрамов. № 2001109063/02. Заявл. 28.03.2001, опублик. 27.01.2003.
17. **Баранцев, А. С.** Технологические особенности производства отливок из титановых сплавов [Текст] / А. С. Баранцев, М. А. Иоффе, А. В. Тихомиров // 8-й съезд литейщиков России: труды, Ч. 1. Черные и цветные сплавы. – Ростов-на-Дону, 2007. – С. 242-247.
18. **Ивченко, З. А.** Изготовление фасонных отливок и расходуемых электродов из титановых сплавов для авиадвигателей [Текст] / З. А. Ивченко, В. В. Лунев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2008. – № 1. – С. 33-36.
19. **Ивченко, З. А.** Изготовление расходуемых титановых электродов методом вакуумно-дуговой плавки из прессованных брикетов титана губчатого [Текст] / З. А. Ивченко, В. В. Лунев // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 3-4. – С. 21-25.
20. **Ивченко, З. А.** Методика и результаты переплава прессованных брикетов титана губчатого способом ВДП [Текст] / З. А. Ивченко, В. В. Лунев // 1-я науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов : сб. тезисов докладов, г. Запорожье, 01-02.10.2008. – Запорожье: ЗНТУ, 2008. – С. 65-69.
21. **Кудрявцев, Ю. Н.** Индукционные тигельные печи для плавки и литья титановых сплавов [Текст] / Ю. Н. Кудрявцев // Титан. – 1993. – № 1. – С. 39-42.
22. **Шейко, И. В.** Индукционная плавка в секционном кристаллизаторе, ее возможности и перспективы применения для получения литых изделий [Текст] / И. В. Шейко, В. А. Шаповалов, В. В. Якуша // Современная электрометаллургия. – 2008. – № 2. – С. 41-48.
23. **Кудрявцев, Ю. Н.** Титановый век (продолжение темы): технологии [Текст] / Ю. Н. Кудрявцев // Титан. – 2004. – № 1. – С. 65-73.
24. **Ясинский, К. К.** Создатель российского титана / Современные титановые сплавы и проблемы их развития: сборник статей [Текст] / К. К. Ясинский. – М. : ВИАМ, 2010. – С. 3-8.
25. **Уртьев, В. П.** Изготовление слитков титановых сплавов из крупногабаритного лома и отходов фасонно-литейного производства [Текст] / В. П. Уртьев // Наука, производство и применение титана в условиях конверсии. Сб. трудов 1-й междунар. науч.-техн. конф. стран СНГ. Ч. 1. – М. : ВИЛС, 1994. – С. 244-252.
26. **Уртьев, В. П.** Изготовление слитков титановых сплавов из крупногабаритного лома и отходов фасонно-литейного производства [Текст] / В. П. Уртьев // Титан. – 1995. – № 3-4(7-8). – С. 12.
27. **Костяков, В. Н.** Особенности технологии выплавки титановых сплавов в плазменно-вакуумных печах [Текст] / В. Н. Костяков // Процессы литья. – 2000. – № 1. – С. 63-72.

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

ВОДЕННИКОВ Сергій Анатолійович, доктор технічних наук, перший проректор, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: Vodenikov_dom@mail.ru

ПЕЧЕРИЦЯ Костянтин Арікович, генеральний директор ПАТ «Тітан-Грейд» (Запоріжжя, Україна). E-mail: 15pak93@mail.ru

ЛІЧКОНЕНКО Наталія Володимирівна, старший викладач кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: nvlickon75@ukr.net

БУБИНЕЦ Олексій Вадимович, аспірант кафедри металургії, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: admin@zgia.zp.ua

ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЗВОРОТНИХ ЛИВАРНИХ ВІДХОДІВ У ВИРОБНИЦТВАХ ТИТАНОВОГО ФАСОННОГО ЛИТВА ТА ЗЛИТКІВ

Подано характеристику титанових ливарних відходів і розглянуті методи їх підготовки та залучення до шихти для фасонного титанового литва шляхом виготовлення з відходів електродів, що витрачаються, і завантаження їх безпосередньо у тигель перед виконанням плавки, а також типи печей для одержання фасонних відливок з титанових сплавів. Оцінено економічну ефективність використання відходів у виробництві титанового фасонного литва.

Ключові слова: титанові відходи, фасонне литво, електрод, що витрачається, плавильні установки, виплавка зливків

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

VODENNIKOV Sergiy, Doctor of Technical Sciences, First Pro-rector, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: Vodennikov_dom@mail.ru

PECHERITSA Constantin, general director, OAJ «Titanium Trade» (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: 15pak93@mail.ru

LICHKONENKO Natalia, Senior Teacher of Metallurgy Department, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: nvlickon75@ukr.net

BUBINETS' Olexiy, Graduate Student of Metallurgy Department, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: admin@zgia.zp.ua

TECHNOLOGIES OF UTILIZATION OF CIRCULATING CASTINGS WASTES ARE IN PRODUCTIONS OF TITANIC SHAPED CASTING AND BARS

The characteristics of titanium foundry wastes are given and the methods of preparation of wastes and their involvement in the charge for shaped titanium casting by manufacturing waste electrodes from the waste and loading them directly into the crucible before melting heat, and types of furnaces for producing shaped castings from titanium alloys are examined. The economic efficiency of waste utilization in the production of titanium shaped castings is estimated.

Keywords: titanium waste, shaped casting, consumable electrode, melting plants, ingot smelting

Стаття надійшла до редакції 09.10.2017 р.
Рецензент, проф. Ю.Ф. Терновий

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