

УДК 669.054.8:669.849

Колобов Герман Александрович ⁽¹⁾, профессор-консультант, кандидат технических наук
Павлов Василий Владимирович ⁽²⁾, главный инженер, кандидат технических наук
Печерица Александр Константинович ⁽³⁾, директор
Прохорова Анастасия Дмитриевна ⁽⁴⁾, магистрант

РЕЦИКЛИНГ РЕНИЯ ИЗ ОТХОДОВ СУПЕРСПЛАВОВ

⁽¹⁾ Запорожская государственная инженерная академия

⁽²⁾ Запорожский опытно-промышленный завод ПАО «Институт титана»

⁽³⁾ ООО «ПГС Энергия», г. Запорожье

⁽⁴⁾ Карагандинский государственный технический университет, Казахстан

Приведены свойства рения, масштабы его производства и области применения. Показана роль рециклинга данного металла и указаны основные виды его вторичного сырья. Рассмотрены технологии извлечения рения из лома и отходов суперсплавов.

Ключевые слова: рений, производство и применение, суперсплавы, рециклинг, технологии извлечения

Введение. Рений по промышленной классификации относится, наряду с галлием, индием, таллием, германием, селеном и теллуром, к расеянным редким металлам. Основаниями для включения рения в эту подгруппу редких металлов являются, во-первых, достаточно низкое содержание его в природе ($7 \cdot 10^{-8}$ %) и, во-вторых, отсутствие собственных минералов (извлекают рений, в основном, из молибденовых и медно-молибденовых руд как побочный продукт). В то же время, рений по физическим и химическим свойствам резко отличается от своих соседей по подгруппе: его плотность составляет $21,0 \text{ г/см}^3$ (четвертое место после осмия, иридия и платины), температура плавления – $3180 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (второе место после вольфрама). Рений с тугоплавкими редкими металлами (вольфрамом, молибденом, танталом и ниобием) образует твердые растворы с его предельным содержанием до 50 мас. %, что является основанием для создания сплавов рения с этими металлами (а также с никелем, кобальтом и хромом).

Производство и применение. Рений производят в очень небольших количествах: в 2015 г. мировой объем его производства составил порядка 70 т. Стоимость рения (в виде перрената аммония) в последние годы удерживается на уровне 1000 дол./кг.

Впервые рений нашел применение в нефтехимии как частичный заменитель платины в составе катализаторов. В последние десятилетия произошли значительные изменения в структуре потребления рения. В настоящее время до 80 % суммарного спроса на данный металл приходится на авиакосмическую отрасль, где его используют как компонент высокожаропрочных сплавов на основе никеля (так называемых суперсп-

лавов), применяемых для литья монокристаллических турбинных лопаток, работающих в критических секциях авиационных и ракетных двигателей. Наибольшая часть остальных 20 % его потребления связана с производством катализаторов дегидрогенизации и крекинга нефти [1-5].

Высокий спрос на рений и его дороговизна предопределили повышенное внимание к рециклингу рения, то есть получению его из вторичного сырья. В общем балансе производства рения получение его из первичного (минерального) сырья занимает порядка 80 %, остальное приходится на вторичное, причем доля рения, извлекаемого из вторичного сырья, непрерывно возрастает. По сообщению Центра использования ресурсов и их рециклирования (CR³, США, 2012 г.), степень рециклинга рения в секторе жаропрочных сплавов ежегодно повышается на 5 %.

Переработка вторичного сырья. К вторичным ресурсам рения относятся отходы производства порошкового металлического рения, его сплавов с молибденом, вольфрамом и никелем, отходы суперсплавов, отработанные алюмоплатинорениевые катализаторы, отходы производства полуфабрикатов и изделий из рения. Практически все образующиеся ренийсодержащие отходы перерабатываются, что обусловлено, в том числе, и установлением высокой цены на них. Для извлечения рения из вторичного сырья применяют различные пиро- и гидрометаллургические методы, основными из которых являются окислительный обжиг, вакуумная плавка, хлорирование и фторирование, а также анодное растворение [4-9]. Выбор той или иной технологической схемы переработки в каждом отдельном случае определяется видом вторичного сырья, типом сплава, а также имеющимся технологическим оборудованием. В любом случае при

выборе технологии утилизации рения, в первую очередь, используют те, которые обеспечивают максимальную степень его извлечения. В настоящем сообщении рассмотрены варианты переработки отходов суперсплавов с целью извлечения из них рения в той или иной форме.

В работах 2013-2014 г.г. [7-9] для переработки отходов жаропрочных ренийсодержащих сплавов на никелевой основе (ЖНС, ЖС-32, ВЖМ4-ВИ) были рассмотрены следующие технологии: высокотемпературная окислительная отгонка Re_2O_7 , спекание с окислительной шихтой и последующим выщелачиванием, прямое гидрохимическое выщелачивание концентрированными растворами минеральных кислот, электрохимические методы, основанные на анодном растворении материала. В работе [10] для комплексной переработки отходов сложнoleгированных жаропрочных сплавов ЖС-32 на основе никеля, содержащих 2,6 мас. % рения, предложены два варианта технологии, предусматривающие безокислительное и окислительное выщелачивание измельченных отходов с концентрированием рения в твердом остатке выщелачивания с последующим его извлечением методом высокотемпературной отгонки (рис. 1). Однако эти технологии, опробованные в укрупненных масштабах, имеют выход рения менее 70 % при затратах ~3000 долларов США на производство одного килограмма вторичного металла [11].

Ранее в ГНЦ «Гиредмет» (Российская Федерация, г. Москва) была разработана гидрохимическая технология селективного извлечения рения из отходов многокомпонентного жаропрочного сплава на никелевой основе ЖС-32 [12]. Было установлено, что наиболее эффективным растворителем для извлечения рения является смесь соляной (1:1) и азотной кислот. Для извлечения рения из таких растворов применяли метод сорбции на ионообменной смоле АН-251 (низкоосновной анионит), как наиболее селективной по отношению к перренат-иону. Наиболее полно рений поглощается данной смолой из раствора выщелачивания, содержащего 20 г/л нитрат-иона. В этом случае степень извлечения рения составила ~90 %, а емкость смолы по рению – 28,5 %. Вымывание рения со смолы осуществляли 8 %-ым раствором NH_4OH со степенью извлечения 98...99 %. Из аммиачных элюатов упа-

риванием выделяли перренат аммония. Разработанная гидрометаллургическая схема, включающая кислотное выщелачивание, сорбцию рения на ионообменной смоле и электродиализную очистку NH_4ReO_4 , позволяет достичь сквозного извлечения рения из отходов сплава ЖС-32 на уровне 93 %. Товарной продукцией является NH_4ReO_4 высокой чистоты марки АР-0.

Применение предлагаемой в работе [13] схемы позволяет отделить от рения металлы-примеси в одну стадию и избежать его безвозвратных потерь. Выход рения в АР-0 составил 99,2 % его начального содержания в сплаве.

Значительное распространение при извлечении рения из полученных тем или иным способом ренийсодержащих растворов получили экстракционно-сорбционные технологии. Так, способ извлечения рения из отходов никелевых жаропрочных сплавов, описанный в патенте [14], предусматривает обработку отходов серной кислотой при повышенной температуре и подаче пероксида водорода (окислительное выщелачивание) с переводом в раствор выщелачивания рения, никеля и кобальта и последующим концентрированием в нерастворимом остатке вольфрама, ниобия и тантала. Затем осуществляют отделение раствора от нерастворимого остатка и селективную экстракцию рения из раствора выщелачивания вторичным алифатическим спиртом. После экстракции выполняют промывку экстракта и реэкстракцию рения щелочным раствором с получением раствора перрената аммония. Эта технология применима также для извлечения рения из шлифовальных отходов, образующихся при полировании изделий из ренийсодержащих многокомпонентных никелевых суперсплавов [15].

При анодном растворении отходов сплава ЖС-32 в сернокислом электролите рений на 70 % концентрируется в шламе, а на 25...30 % переходит в электролит, из которого его доизвлекают жидкостной экстракцией аминами с последующей аммиачной реэкстракцией. При реализации этой комплексной технологии в качестве товарных продуктов получают перренат калия $KReO_4$, искусственный шеелит $CaWO_4$, танталониобиевый концентрат и никель-кобальтовый полупродукт [16].

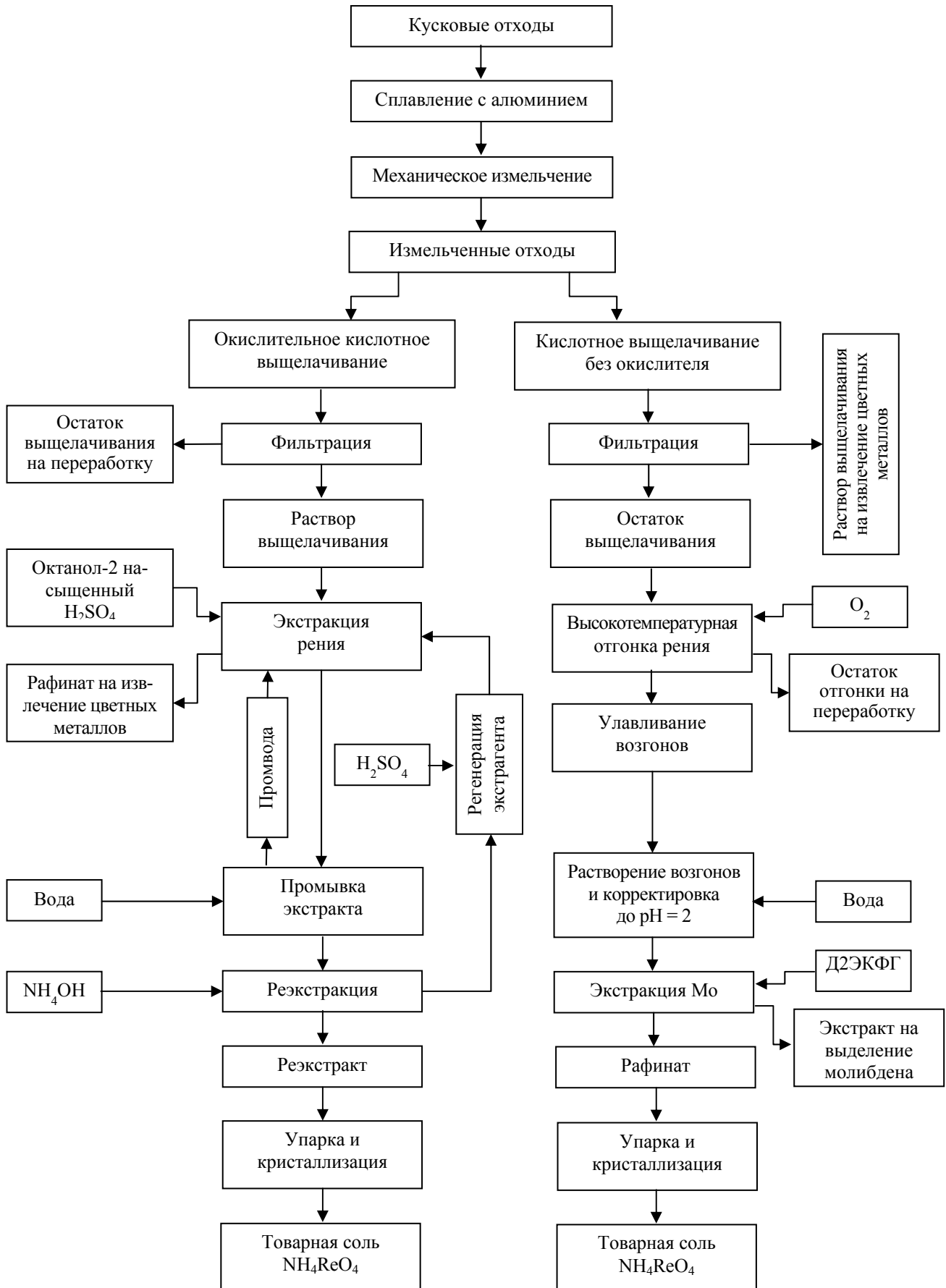


Рисунок 1 – Два варианта кислотного выщелачивания отходов ренийсодержащего сплава ЖС-32 [10]

В патенте [17] предложен способ извлечения рения из лома суперсплавов разложением его в расплаве солевой смеси, содержащей 60...95 мас. % $NaOH$ и 5...40 мас. % Na_2SO_4 . При охлаждении расплава до комнатной температуры продукт разложения переходит в твердую фазу. Солевой плав измельчают и после обработки водой при температуре ~ 80 °C получают водную суспензию, которую подвергают фильтрованию. Из водной фазы извлекают рений, тантал и вольфрам известными методами.

Ресурсосберегающая технология переработки отходов [18], разработанная во ФГУП «ВИАМ» (Российская Федерация, г. Москва), позволяет использовать при выплавке сплава ВЖМ4-ВИ до 100 % отходов, в том числе некондиционных, и снизить стоимость сплава на 20...80 % в зависимости от количества вводимых в шихту отходов без снижения качества сплава. Сравнительный анализ сплава ВЖМ4-ВИ, выплавленного из 100 % некондиционных отходов, с зарубежным аналогом: сплавом CMSX-4 фирмы «Cannon Muskegon» (США), – показал, что отклонение по основным легирующим элементам не превышает $\pm 0,2$ %, а содержание кислорода, азота и серы составляет $\leq 0,001$ %.

В развитие этой темы в работе [19] сообщается, что в ФГУП «ВИАМ» разработана и реализована технология изготовления из 100 % литейных отходов сплава ЖС32-ВИ литых прутковых заготовок. Технология обеспечивает качество заготовок по содержанию примесей газов и механическим свойствам в соответствии с требованиями ТУ, стабильный химический состав сплавов по основным легирующим элементам, снижение стоимости сплавов и сокращение расхода дефицитных и дорогостоящих легирующих металлов, таких как никель, кобальт, молибден, вольфрам, рений и тантал.

В обзорной статье [20] сообщается о работах, где рассмотрены технологии переработки различных видов вторичного сырья рения: отходов ренийсодержащих сплавов, в том числе отходов суперсплавов и отработанных катализаторов. Так, в работе [21] рассмотрена переработка отходов жаропрочных суперсплавов на основе никеля CMSX-4 и CMSX-10, содержащих, кроме рения (3...6 %), Cr , Co , Mo , W , Ta , Al , Ti , Hf , Ni . Отходы сплавов подвергали анодному растворению в (1...7)М KOH при температуре 40...85 °C, анодной плотности тока $0,7$ А/см² с выходом по току 95...98 %. Полученный продукт (перренат калия) пропускали через ионообменную смолу «Purolite C 100» и на выходе переводили в пер-

ренат аммония. В работе делается вывод, что переработка ренийсодержащих сплавов может быть осуществлена электрохимически с получением соединения Re (VII) и очисткой его электролизом или ионным обменом без использования распространенного метода жидкостной экстракции.

Последние публикации свидетельствуют о продолжающемся интересе к проблеме утилизации отходов суперсплавов. В серии докладов на конференциях сотрудников Института металлургии и обогащения НАН Республики Казахстан [22-24] рассмотрена технология электрохимического вскрытия отходов жаропрочного сплава ЖНС следующего состава, %: 54,04 Ni ; 11,54 Co ; 7,25 Al ; 6,27 Cr ; 4,38 W ; 3,94 Ta ; 2,99 Re ; 1,93 Si ; 0,98 Mo и другие элементы. Отходы представляли собой довольно крупный кусковой лом рабочих лопаток роторов турбин авиационных двигателей. Основой материала отходов служит твердый раствор рения, вольфрама и тантала в никеле, имеющий кубическую решетку. Компактные куски отходов сплавов анодно растворяли в сернокислотном электролите (100 г/дм³ H_2SO_4) с добавками сульфатов аммония и натрия, хлорида натрия, соляной и азотной кислот. Опыты выполняли при анодной плотности тока 1000...2000 А/м², температуре 30 °C и перемешивании до полного растворения отходов (23...50 ч). Переход в раствор в зависимости от состава электролита составил: рения от 80 до 100 % от исходного содержания его в сплаве, никеля, молибдена и кобальта – свыше 60 %, хрома – около 80 %. Вольфрам и тантал, в основном, остаются в анодном шламе. Некоторое количество рения, никеля и кобальта, оставшееся в данном шламе, можно перевести в раствор при химическом вскрытии шлама в сернокислых растворах с добавлением H_2O_2 или HNO_3 . Из объединенных растворов от вскрытия отходов и анодных шламов рений может быть извлечен экстракцией в виде черного перрената аммония.

В работах МИТХТ (Российская Федерация, г. Москва) [25-27] для переработки отхода сплава ЖС32-ВИ также применяли электрохимическую технологию. Состав отходов был следующим, %: 60,05 Ni ; 9,3 Co ; 8,6 W ; 6,0 Al ; 5,0 Cr ; 4,0 Re ; 4,0 Ta ; 1,6 Nb ; 1,1 Mo ; 0,16 C ; 0,15 B ; 0,025 Ce ; 0,005 Y ; 0,005 La . Использовали азотнокислый электролит (100 г/л HNO_3) при различных значениях плотности тока. Наблюдали количественное разделение компонентов сплава: в анодном шламе концентрировались ниобий, тантал, молибден и вольфрам, а в электролит переходили частично кобальт и рений, а также

основное количество алюминия, хрома и никеля. Предложенная в работе [26] технологическая схема переработки отходов сплава ЖС32-ВИ предполагает получение и отделение основной массы никеля и кобальта на первой стадии с формированием никель-кобальтового концентрата. В патенте [27] предложен, с использованием той же электрохимической технологии, способ получения металлических порошков никеля и рения с различным соотношением компонентов. Способ предполагает анодное растворение отхода сплава при фиксированном значении плотности тока, а также последующее выделение никеля и рения при контролируемом катодном потенциале.

В работе [28] извлечение рения из скрапа суперсплавов осуществляли следующим образом. Отходы подвергали вакуумному распылению, и полученный порошок растворяли в кис-

лоте, извлекая в раствор 99,02 % рения в форме ReO . Раствор нейтрализовали $NaOH$ до $pH = 1,5$ и сорбировали рений анионообменной смолой Д2996, при этом степень адсорбции достигала 98,46 %. Из насыщенной смолы молибден десорбировали NH_4Cl (потеря рения 4,97 %), а рений – тиоцианатом аммония со степенью извлечения 94...98 %. Из раствора рений осаждали добавкой KCl или NH_4Cl , получая перренат аммония чистотой 99,58 %.

Заключение. Для перевода рения из лома и отходов суперсплавов в раствор используют, в основном, выщелачивание растворами кислот и анодное растворение. Для извлечения рения из полученных растворов применяют сорбцию на ионообменных смолах, электродиализ, экстракцию и химическое осаждение с получением рения в виде солей и металлических порошков.

Библиографический список

1. **Lipmann, A.** Rhenium [Text] / A. Lipmann // Mining Annual Rev. – 2003. – P. XLIII / 1 – XLIII / 11 [nar. 1].
2. **Ellis, R.** Rhenium, a truly modern metal [Text] / R. Ellis // Mining Mag. – 2004. – Febr. – P. 32-33.
3. **Колобов, Г. А.** Металлургия редких металлов : Часть 4. Вторичный рений [Текст] / Г. А. Колобов. – Запорожье : РИО ЗГИА, 2006. – 27 с.
4. **Наумов, А. В.** Ритмы рения (Обзор мирового рынка) [Текст] / А. В. Наумов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2007. – № 6. – С. 36-41.
5. **Петрова, А. М.** Без рения ракеты не летают [Текст] / А. М. Петрова, А. Г. Касиков // Редкие земли. – 2013. – № 1. – С. 56-59.
6. **Никитина, Л. С.** Переработка отходов тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена, рения) [Текст] / Л. С. Никитина. – М. : Цветметинформация. – 1977. – 52 с.
7. **Колобов, Г. А.** Вторичный рений : новые технологии [Текст] / Г.А. Колобов, С.Г. Грищенко // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2013. – Вип. 1 (29). – С. 55-63.
8. **Колобов, Г. А.** Рений из вторичного сырья [Текст] / Г. А. Колобов // Вторичные металлы. – 2014. – № 2. – С. 42-46.
9. **Колобов, Г. А.** Извлечение из вторичного сырья и рафинирование тугоплавких редких металлов [Текст] / Г. А. Колобов, В. В. Павлов, Ю. В. Мосейко // Теория и практика металлургии. – 2014. – № 1-2. – С. 109-113.
10. **Петрова, А. М.** Извлечение рения из отходов сложнoleгированных жаропрочных сплавов на основе никеля [Текст] / А. М. Петрова, А. Г. Касиков, П. Б. Громов, В. Т. Калинин // Цветные металлы. – 2011. – № 11. – С. 39-43.
11. **Lipmann, A.** Rhenium 2009 and beyond [Электронный ресурс] / A. Lipmann, M. Husakiewicz. – Режим доступа: <http://www.lipmann.co.uk> 20.05.2010.
12. **Истрашкина, М. В.** Перспективные технологии извлечения рения из отходов никелевых сплавов [Текст] / М. В. Истрашкина, З. А. Передерева, С. С. Фомин // Гиредмет – 70 лет в металлургии редких металлов и полупроводников : юбилейный сборник. – Москва: ЦИНАО, 2001. – С. 111-119.
13. **Щипачев, В. А.** Некоторые технологические приемы выделения и очистки рения из жаропрочных сплавов [Текст] / В. А. Щипачев // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – Т. 20, № 3. – С. 365-368.
14. **Пат 2412267 Российская Федерация, МПК С 22 В 01/00 (2006.01), С 22 В 23/00 (2006.01).** Способ извлечения рения из металлических отходов никельсодержащих жаропрочных сплавов [Текст] / А. Г. Касиков, А. М. Петрова, Е. Г. Багрова, Н. В. Серба и В. Т. Калинин ; заявитель и патентообладатель ИХТРЭМС КНЦ РАН. – №2009145364 ; заявл. 07.12.2009 ; опубл. 20.02.2011. – Бюл. № 5.
15. **Касиков, А. Г.** Извлечение рения из шлифотходов жаропрочных сплавов с применением жидкостной экстракции [Текст] / А. Г. Касиков, А. М. Петрова, Е. Г. Багрова // Цветная металлургия. – 2009. – № 1. – С. 15-20.
16. **Палант, А. А.** Комплексная электрохимическая переработка металлических отходов ренийсодержащего жаропрочного никелевого сплава в сернокислых электролитах [Текст] / А. А. Палант, О. М. Левчук,

- В. А. Брюквин и др. // Электротехнология. – 2010. – № 7. – С. 29-33.
17. Пат 2447165. Российская Федерация, МПК С 22 В 7/00 (2006.01), С 22 В 61/00 (2006.01). Способ рекуперации ценных металлов из суперсплавов (варианты) [Текст] / А. Ольбрих, Ю. Меезе-Марктшеффель, М. Ян ; заявитель и патентообладатель Х.К. Штарк ГМБХ. – № 2009102948/02 ; заявл. 29.06.2007 ; опубл. 10.04.2012.
 18. Сидоров, В. В. Получение Re-Ru-содержащего сплава с использованием некондиционных отходов [Текст] / В. В. Сидоров, В. Е. Ригин, А. В. Горюнов и др. // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 3. – С. 15-17.
 19. Сидоров, В. В. Инновационная технология производства жаропрочного сплава ЖС32-ВИ с учетом переработки всех видов отходов в условиях сертифицированного серийного производства ФГУП «ВИАМ» [Текст] / В. В. Сидоров, В. Е. Ригин, А. В. Горюнов, П. Г. Мин // Труды ВИАМ за 2014 г. Металлические материалы и методы их испытаний : сборник статей. – М. : ВИАМ, 2015. – Т. 1. – С. 113-120.
 20. Колобов, Г. А. Новые технологии переработки вторичного редкометалльного сырья [Текст] / Г. А. Колобов, С. А. Воденников, Т. Н. Нестеренко и др. // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2016. – Вип. 2 (36). – С. 27-35.
 21. Гуро, В. П. Переочистка перената аммония и извлечение рения из отходов ренийсодержащих сплавов [Текст] / В. П. Гуро, А. А. Белов // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр : материалы 11-ой междунар. конф. – Москва-Усть-Каменогорск, 17.09-21.09.2012 г. – С. 165-166.
 22. Агапова, Л. Я. Вскрытие отходов жаропрочных никелевых суперсплавов электрохимическим методом [Текст] / Л. Я. Агапова, З. С. Абишева, С. К. Килибаева и др. // Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии : сборник матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2015. – С. 58-61.
 23. Килибаева, С. К. Распределение рения, никеля и кобальта по продуктам анодного вскрытия техногенных отходов жаропрочных никелевых сплавов [Текст] / С. К. Килибаева, Л. Я. Агапова, З. С. Абишева и др. // Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья: материалы междунар. конф., Санкт-Петербург, 26-30.09.2016. – С. 448-450.
 24. Агапова, Л. Я. Получение перената аммония и никель-кобальтового концентрата из техногенных отходов жаропрочных никелевых сплавов [Текст] / Л. Я. Агапова, З. С. Абишева, С. К. Килибаева и др. // Техноген-2017 : труды конгресса. – Екатеринбург, 2017. – С. 387-390.
 25. Чернышова, О. В. Варианты электрохимической переработки ренийсодержащего жаропрочного сплава [Текст] / О. В. Чернышова, Д. В. Дробот // Химическая технология. – 2017. – Т. 18, № 1. – С. 36-42.
 26. Чернышова, О. В. Получение никель-кобальтового концентрата при переплавке ренийсодержащего жаропрочного сплава [Текст] / О. В. Чернышова, Д. К. Канагатов, Д. В. Дробот // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2016. – № 6. – С. 42-48.
 27. Пат 2555317 Российская Федерация, МПК С 22 В 23/00 (2006.01), С 22 В 61/00 (2006.01), С 22 В 7/00 (2006.01), С 25 С 1/08 (2006.01), С 25 С 1/22 (2006.01). Способ получения металлических порошков никеля и рения с различным соотношением компонентов при переработке ренийсодержащих жаропрочных никелевых сплавов [Текст] / О. В. Чернышова, Д. В. Дробот, В. И. Чернышов; заявитель и патентообладатель МИТХТ. – № 2013146182/02 ; заявл. 16.10.2013 ; опубл. 10.07.2015.
 28. Chen, Kun-kun. Experimental study on rhenium extraction from waste superalloy [Text] / Kun-kun Chen, Hanqi Meng, Yong-qian Wu, Xian Wu // Rare Metals and Cem. Carbides. – 2016. – Vol. 44, No 6. – P. 26-30.

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

Павлов Василь Володимирович, головний інженер, Запорізький металургійний дослідний завод ПАТ «Інститут Титану» (Запоріжжя, Україна). E-mail: pavlov_zp@mail.ru

Печериця Олександр Костянтинівич, директор ВАТ «ПГС-Енергія» (Запоріжжя, Україна). E-mail: 15pak93@mail.ru

Прохорова Настасія Дмитрівна, магістрант кафедри металургії, Карагандинський державний технічний університет (Караганда, Казахстан). E-mail: kargtu@kstu.kz

РЕЦИКЛІНГ РЕНІЮ З ВІДХОДІВ СУПЕРСПЛАВІВ

Наведено властивості ренію, масштаби його виробництва та сфери застосування. Показано роль рециклінгу даного металу та зазначено головні види вторинної сировини, що містить реній. Розглянуто технології вилучення ренію з брухту та відходів суперсплавів.

Ключові слова: реній, виробництво та застосування, рециклинг, суперсплави, технології одержання

Kolobov German, Candidate of Technical Sciences, Professor-Consultant of Metallurgy Department, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: kolobovgerman@rambler.ru

Pavlov Vasil', Candidate of Technical Sciences, Chief Engineer, Zaporizhzhia metallurgical pilot plant PJSC «Institute of Titanium» (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: pavlov_zp@mail.ru

Pecheritsa Alexander, Director, LTD «Energy», (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: 15pak93@mail.ru

Prochorova Anastasia, postgraduate of Metallurgy Department, Karaganda State Technical University, (Karaganda, Kazakhstan). E-mail: kargtu@kstu.kz

RECYCLING OF RHENIUM FROM WASTE OF SUPERALLOYS

The properties of rhenium, the scale of its production and the fields of its application are given. The role of rhenium recycling is shown and the main types of secondary rhenium-containing raw materials are highlighted. The technologies of rhenium extraction from scrap and waste of superalloys are considered.

Key words: rhenium, production and use, recycling, superalloys, technologies from extraction

Стаття надійшла до редакції 29.08.2018 р.

Рецензент, проф. В.С. Ігнат'єв

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