

Библиографический список

1. Лебедь А. Б., Набойченко С. С., Шунин В. А. Производство селена и теллура на ОАО «Уралэлектромедь»: учеб. пособие. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 112 с.
2. Шламы электролитического рафинирования меди и никеля: монография / С. А. Мастюгин, Н. А. Волкова, С. С. Набойченко и др.; под ред. чл.- корр. РАН С. С. Набойченко. — Екатеринбург: УрФУ, 2013. — 257 с.
3. ГОСТ 17614-2018. Теллур технический. Технические условия. — М., 2018. Ц, 3 с.

УДК 546.9

К проблеме повышения эффективности переработки автомобильных катализаторов

М. В. Коновалов¹, Н. В. Жестков², В. Г. Лобанов¹,
С. В. Никифоров², Д. И. Дружинин¹

¹Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

²ООО «Градара», г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследований, целью которых являлась разработка технологических основ извлечения платиновых металлов из автокатализаторов на керамической основе. Выполнен критический анализ известных методов, включая пирометаллургические, выщелачивание целевых металлов щелочное разложение керамической основы. Обоснован выбор автономной плавки катализаторов на железный коллектор в качестве головной операции. Отмечено негативное влияние углерода и кремния на последующее растворение получаемого сплава. Для устранения отмеченных затруднений на втором этапе проводят индукционный переплав сплава-коллектора в присутствии окислителей.

Разработанная технология внедрена и успешно эксплуатируется на производственной площадке ООО «Градара».

Ключевые слова: металлы платиновой группы, автомобильные катализаторы, индукционная плавка, концентрат.

Большую долю сырья в металлургии вторичных платиновых металлов составляют отходы [1, 2], представляющие собой многослойные или объемные металлокерамические системы, в частности отработанные катализаторы химической и нефтехимической промышленности, автомобильные катали-

заторы и др. Ценным компонентом автокатализаторов являются платиновые металлы платина, палладий, родий; суммарное содержание МПГ 0,1–0,5 % [3, 4]. Высокая химическая стойкость керамической основы, частично обволакивающей металлические частицы, при использовании гидрометаллургических методов обуславливает низкое извлечение даже при очень тонком измельчении. Принципиально отличный вариант вскрытия катализаторов включает растворение керамической основы в растворах плавиковой кислоты и последующее извлечение платиновых металлов из нерастворенного остатка. Применение данного метода сопряжено с использованием агрессивных сред и соответствующей аппаратуры.

Плавка указанного сырья с коллектированием МПГ медью, никелем или свинцом на специализированных предприятиях обеспечивает более высокое извлечение в промпродукт, чем гидрометаллургические технологии [5–11]. Вместе с тем сложность и длительность последующего выделения платиновых металлов обуславливают высокие суммарные удельные затраты и позволяют рассматривать этот вариант экономически приемлемым только для относительно бедного сырья (не более 0,1 %). Сырье с большим содержанием МПГ целесообразно перерабатывать по автономной технологии, включающей целевую плавку на коллектор и гидрохимическое растворение полученного сплава. В качестве нерастворенного остатка получают концентрат платиновых металлов. Важнейшим преимуществом данной технологии является высокое извлечение платиновых металлов, включая родий, в товарный продукт.

Ранее в качестве металлов-коллекторов опробованы серебро, свинец, медь, никель, железо и их сульфиды. В оптимальном температурном режиме испытанные коллекторы обеспечивают близкое извлечение МПГ. Важнейшее значение имеет отношение массы катализатора и конечной массы сплава, в котором концентрируются платиновые металлы. Для всех апробированных металлов-коллекторов оптимальное соотношение должно быть не более 5:1, при этом извлечение МПГ в товарный сплав достигает не менее 97 %, при этом суммарное содержание превышает 2 %. По совокупности технико-экономических показателей предпочтение было отдано железному коллектору.

Специалистами ООО «Градара» с участием ученых кафедры МЦМ УрФУ данная технология реализована в промышленном масштабе с использованием на первой стадии электродуговой плавки. Оптимизирован состав шихты, позволяющий получить при плавке жидкие шлаки на основе $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ для типовой керамической композиций $(\text{Al}_2\text{O}_3)_m \cdot (\text{SiO}_2)_n \cdot \text{MeO}$; где Me: La, Ce, Y, Zr, Ba в различных пропорциях. В оптимальных режимах плавки возможно получение шлака с суммарным содержанием платины, палладия и родия

не выше 20–30 г/т, что позволяет оценивать извлечение благородных металлов в коллектор на уровне 98–99 %.

Ярко выраженный восстановительный характер плавки обуславливает получение сплава с повышенным содержанием углерода и кремния — до 25 % в сумме. Растворение такого сплава в сернокислом растворе и фильтрование полученного концентрата вызывает большие затруднения. Важнейшей задачей при внедрении технологии являлось выбор рационального метода удаления указанных выше элементов из сплава-коллектора. Из числа апробированных способов по результатам исследований предпочтение отдано индукционной плавке в присутствии окислителя. Режимы плавки и кондиционирования сплава являются предметом патентования.

Промышленная эксплуатация технологии в течение почти двух лет показала ее высокую эффективность. Конечным продуктом является концентрат с содержанием МПГ не менее 15–20 %. С учетом умеренных передельных затрат, высокой степени извлечения МПГ и весьма короткого технологического цикла данная технология уверенно может конкурировать с технологиями, используемыми на других предприятиях.

Библиографический список

1. Переработка вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы / науч. ред. Ю. А. Карпов. — М. : Гиналмаззолото, 1996. — 290 с.
2. *Алексахин А. В., Кириченко А. С.* Автомобильные катализаторы — основной резерв отечественного и мирового производства вторичных металлов-платиноидов // Экономика в промышленности. — 2013. — № 4. — С. 3–6.
3. О некоторых методах определения содержания металлов платиновой группы в отработанных автомобильных катализаторах и продуктах их переработки / Н. Н. Федюнина, А. С. Кириченко, И. Ф. Серегина и др. // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2014. — № 1. — С. 73–78.
4. *Айсуева Т. С.* Определение Pd, Pt, Re в катализаторах рентгенофлуоресцентным методом // VII Всероссийская конференция по рентгеноспектральному анализу, тезисы докладов. — Новосибирск : Изд-во СО РАН. 2011. — С. 82.
5. *Девярых Е. А., Девярых Т. О., Швыдкий В. С.* Переработка автомобильных и химических катализаторов в плазменных печах // Вестн. гор.-металлург. секции Рос. академии естеств. наук. Отделение металлургии. — 2018. — № 41. — С. 90–94.
6. Коллектирование платиновых металлов сплавами на основе железа / В. Г. Лобанов, М. В. Соловьев, А. В. Евдокимов и др. // XIX Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов. — Новосибирск, 2010. — С. 61.
7. Патент № 2778336 С1 Российская Федерация, МПК C22B 11/00, C22B 7/00, B01J 23/96. Способ извлечения платиновых металлов из катализаторов : № 2021137057 :

заявл. 15.12.2021 : опубл. 17.08.2022 / В. Г. Лобанов, С. В. Мамяченков, М. В. Коновалов и др. ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

8. Патент № 2306347 С1 Российская Федерация, МПК С22В 11/00, С22В 61/00. Способ переработки катализаторов, содержащих платиновые металлы и рений на носителях из оксида алюминия : № 2005140135/02 : заявл. 21.12.2005 : опубл. 20.09.2007 / С. А. Темеров, В. Н. Ефимов ; заявитель Открытое акционерное общество «Красноярский завод цветных металлов имени В. Н. Гулидова» (ОАО «Красцветмет»).

9. Патент № 2140999 С1 Российская Федерация, МПК С22В 11/00, В01J 23/96, С22В 7/00. Способ переработки отработанных катализаторов, содержащих металлы платиновой группы : № 98113577/02 : заявл. 13.07.1998 : опубл. 10.11.1999 / В. А. Ковтун, Ю. Н. Силаев, В. Е. Бару, И. С. Важенин.

10. Патент № 2778336 С1 Российская Федерация, МПК С22В 11/00, С22В 7/00, В01J 23/96. Способ извлечения платиновых металлов из катализаторов : № 2021137057 : заявл. 15.12.2021 : опубл. 17.08.2022 / В. Г. Лобанов, С. В. Мамяченков, М. В. Коновалов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

11. *Гречук А. А., Морозов А. Б., Морозова В. В.* Технология переработки дезактивированных автомобильных катализаторов // Актуальные вопросы современных научных исследований : сб. ст. V Международ. науч.-практ. конф., Пенза, 05 июля 2023 года. — Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2023. — С. 23–28.