

обработанной поверхности, производительность и себестоимость обработки.

- Преимуществом статистического подхода является возможность установления для конкретных режимов и условий доводки оптимальной комбинации входных и других факторов системы резания (свойства связки, зернистость круга, СОТС). При этом проявляется возможность учета влияния физико-механических и структурных особенностей обрабатываемого материала на параметры качества изделия.

#### Литература

- Technische Keramik: Aufbau, Eigenschaften, Herstellung, Bearbeitung, Prüfung / Hrsg.: Horst-Dieter Tietz. Düsseldorf: VDI-Verl, 1994. 364 с.
- Бахарев В.П. Конструкторско-технологическое сопровождение производства изделий из керамических и композиционных материалов // Конструкции из композиционных материалов. 2008. Вып. 3. С. 34 – 46.
- Орлов П.Н. Алмазно-абразивная доводка деталей. Сер. С-Х-4, М.: НИИмаш, 1972. 200с.
- Кашеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. М.: Машиностроение, 1978. 213 с.
- Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. М.: Машиностроение, 2009. 640с.

### **Отработанные автомобильные катализаторы – крупный источник вторичных драгоценных металлов**

д.т.н. проф. Бобович Б.Б., Савко А.П.

Университет машиностроения

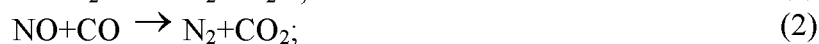
8 (495) 223-05-23 доб. 1313, [eco@mami.ru](mailto:eco@mami.ru)

*Аннотация.* Отработанные автомобильные катализаторы являются крупными источниками вторичных драгоценных металлов. Проведён анализ гидрометаллургической и пирометаллургической технологий извлечения драгоценных металлов из отработанных автомобильных катализаторов. Показана целесообразность использования для утилизации нового поколения катализаторов на металлическом носителе коллекторной плавки в плазменно-дуговой печи с использованием самообразующегося стального коллектора. Намечены направления исследовательских работ по обоснованию параметров процесса утилизации автокатализаторов.

*Ключевые слова:* катализатор дожигания, пирометаллургическая технология утилизации, вторичные драгоценные металлы.

В соответствии с современными требованиями к экологической безопасности наземных транспортных средств все легковые автомобили комплектуются катализаторами дожигания выхлопных газов, что позволяет резко сократить содержание в них токсичных продуктов.

В катализаторах дожигания происходят реакции окисления и восстановления токсичных продуктов сгорания углеводородных топлив и превращения их в безвредные газы:



Такие реакции протекают на поверхности каталитически активных металлов – платины, палладия, родия, которые нанесены на высокоразвитую поверхность носителя катализатора. Величина поверхности зависит от объёма двигателя и достигает несколько сотен м<sup>2</sup>, а толщина активного слоя составляет несколько нанометров. В зависимости от конструкции автомобиля в катализаторе содержится от 0,09 до 0,13% драгоценных металлов, что составляет от 2 до 4 граммов [1]. В качестве носителя драгметаллов в катализаторах используется пористая алюмооксидная керамика либо гофрированная стальная фольга (рисунок 1).

Благодаря меньшей толщине стенки металлического носителя (0,04 мм) по сравнению

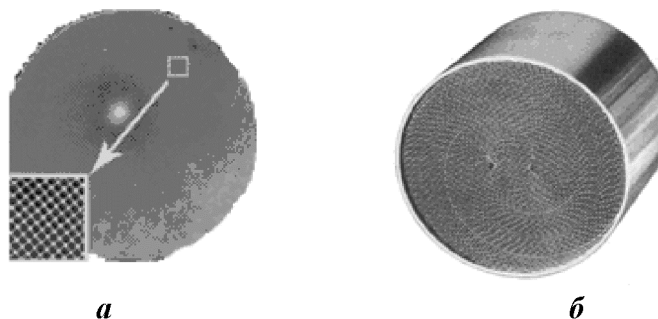
со стенкой керамического носителя (0,4 мм), у него существенно более высокий размер проходного сечения для истечения выхлопных газов. Это позволяет уменьшить потери мощности двигателя на работу катализатора и уменьшить размеры и массу носителя.

Металлический носитель обладает более высокой теплопроводностью и меньшей хрупкостью, что позволяет быстрее выйти на стационарный рабочий режим при запуске двигателя и исключить опасность его разрушения от ударных нагрузок.

Таким образом, катализаторы на металлическом носителе обладают следующими преимуществами:

- меньшей потерей мощности двигателя;
- меньшим объёмом и массой;
- более высокой устойчивостью к ударным нагрузкам;
- более быстрым прогревом до рабочей температуры при запуске двигателя.

Однако утилизация катализаторов на металлическом носителе и извлечение из них металлов платиновой группы более сложна. В их конструкции помимо гофрированного носителя и каталитически активных металлов имеется и третий вид материала- тончайший промежуточный слой из керамики, нанесённый на стальную фольгу [2].



**Рисунок 1 – Структура носителей каталитически активных металлов:  
а- пористая керамика; б- гофрированная фольга**

Упомянутые каталитически активные металлы, как известно, в химические реакции не вступают, и потому в процессе эксплуатации автомобиля не расходуются. Однако долговечность катализатора не бесконечна. В процессе эксплуатации автомобилей они разрушаются от механических нагрузок, а активный слой из драгоценных металлов дезактивируется в результате зауглероживания, действия каталитических ядов, содержащихся в бензине и продуктах его сгорания. Когда разрушение катализатора и дезактивация активного слоя превышает допустимые пределы, катализатор перестаёт выполнять свои функции и требует замены.

Утилизация катализаторов дожигания представляет значительный экономический интерес, так как стоимость металлов платиновой группы (МПП) высока и имеет тенденцию к росту из-за практического отсутствия конкуренции на рынке этих металлов. Следует также сказать и о значительном экологическом эффекте от переработки отработанных катализаторов, поскольку при крайне низком содержании платиноидов в минеральном сырье (менее 0,01) их производство связано с образованием значительных количеств отходов: как побочных продуктов, содержащихся в руде, так и различных химических веществ, являющихся промежуточными продуктами при её переработке и выплавке металлов.

Мировое производство МПП составляет более 450 т/год, в том числе платины и палладия по 215-220 т/год (в 2011г.- 227 т). Крупнейшими их производителями являются ЮАР и Россия. Наиболее крупными потребителями этих металлов (до 33% от мирового производства) является автомобильная промышленность. Значительная часть мирового спроса на платиноиды удовлетворяется за счёт утилизации вышедших из эксплуатации катализаторов, прежде всего автомобильных.

Объём выработки восстановленных металлов платиновой группы постоянно растёт. В настоящее время более 20% мирового спроса на платиноиды удовлетворяется за счёт вторич-

ных драгоценных металлов. Максимальные объёмы производства восстановленных платиноидов приходится на США и страны ЕС.

В России промышленные технологии утилизации отработанных катализаторов дожигания выхлопных газов автомобилей применяются недостаточно, что связано, во-первых, с малым объёмом выводимых из эксплуатации автомобилей, оснащённых катализаторами, во-вторых, с известными трудностями сбора отходов потребления.

Основными покупателями отработанных автокатализаторов являются многочисленные посредники, поставляющие их на утилизацию в другие страны, в том числе страны Восточной Европы.

В связи со значительным увеличением парка автомобилей импортного и отечественного производства, в конструкции которых используются катализаторы дожигания выхлопных газов, и ожидаемым ростом объёмов их утилизации, следует считать, что возможный годовой объём производства вторичных драгметаллов при этом может составить более 3 тонн. Для создания промышленного производства вторичных металлов платиновой группы необходима разработка нормативно-правовой базы, позволяющей организовать централизованный сбор и утилизацию автокатализаторов. Кроме того, необходима разработка доступной технологии извлечения драгметаллов из отработанных катализаторов.

Однако отделение каталитически активных металлов от их носителя при большой площади поверхности их контакта и малой толщине активного слоя представляет значительные трудности, которые связаны с уникальными свойствами платины: высокой тугоплавкостью и химической инертностью.

Известны две принципиально различные технологии производства металлов: гидрометаллургическая и пирометаллургическая. Гидрометаллургическая технология позволяет извлекать металлы из руды и отходов с использованием химических реакций в водных растворах. В случае с утилизацией отработанных катализаторов мы сталкиваемся с уникальной устойчивостью платины к любым индивидуальным реактивам. Она способна вступать во взаимодействие при повышенной температуре только с «царской водкой» (смесью концентрированных азотной и соляной кислот в соотношении 1:3).

При гидрометаллургической технологии платина и другие металлы платиновой группы переводятся с помощью «царской водки» в раствор с образованием комплексных солей, а затем после многочисленных операций обработки растворов с использованием массообменных, химических и других процессов из них извлекаются ценные металлы. Процессы обогащения отходов, содержащих металлы платиновой группы с помощью смеси азотной и соляной кислот, являются малопродуктивными. Многократные процедуры выщелачивания и промывки приводят [3, 4] к неизбежным реагентным и энергетическим затратам из-за необходимости переработки больших объёмов материалов с низкой концентрацией ценных компонентов. Учитывая чрезвычайно высокую агрессивность «царской водки», многостадийность этого процесса, мы считаем гидрометаллургические технологии утилизации катализаторов дожигания выхлопных газов неэкологичными и сложными с точки зрения обеспечения работоспособности технологического оборудования и безопасности производственного персонала, поэтому переработку платиносодержащих отработанных автокатализаторов следует проводить в два этапа. На первом этапе целесообразно произвести обогащение отходов, содержащих платину в количестве 0,02...0,05%. Именно таким сырьём и являются отработанные автокатализаторы.

Второй этап следует осуществлять на аффинажных заводах, где производят драгоценные металлы высокой пробы. Аффинажные предприятия применяют для переработки только обогащённого сырья с содержанием платины не менее 10%. Технология аффинажного производства платиноидов включает десятки взаимосвязанных операций и многочисленные обороты продуктов химических реакций с постепенным выделением соединений платины, пригодных для получения чистого металла высокой пробы. В России существует лишь несколько аффинажных заводов, их деятельность разрешается специальным постановлением правительства страны.

Обогащение бедных платиносодержащих отходов (автокатализаторов) до требований аффинажных заводов рационально, на наш взгляд, проводить по пирометаллургической технологии выплавки металлов в восстановительной среде с использованием шихтовых материалов и образованием шлаков. Наибольшую сложность при этой технологии представляет расплавление тугоплавких металлов платиновой группы и керамического носителя, обладающих высокими температурами плавления и плотностью [5].

Для реализации пирометаллургических процессов выделения платиноидов из носителей катализаторов необходимы печи, способные обеспечить столь высокие температуры. Для этих целей пригодна плазменно-дуговая печь.

Высокая температура в печи создаётся с помощью электрической дуги и образующейся в результате этого плазмы [6]. Катодом для образования дуги в плазменно-дуговой печи является элемент печи (вольфрамовый или другой тугоплавкий сплав), а анодом может служить расплав металла (либо выплавляемого, либо специально введённого в печь). Температура в плазменно-дуговой печи может составлять 3000 °С и более.

Таблица

**Температура плавления и плотность металлов платиновой группы и алюмооксидной керамики**

№ п/п	Материал	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	Платина	1772	21450
2	Палладий	1554	11970
3	Родий	1960	12420
4	Керамика Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2050	3400

Учитывая чрезвычайно низкое содержание МПГ в катализаторах по отношению к массе носителя, мы считаем, что для пирометаллургической технологии их утилизации необходимо использовать коллекторную плавку, заключающуюся в накоплении расплава металлов и периодическом сливе образующихся шлаков. Как правило, при коллекторной плавке в качестве анода используют медь. В нашем случае, поскольку часть автомобильных катализаторов изготавливается на носителе из стальной фольги, мы считаем, что возможно использовать самообразующийся стальной коллектор.

В плазменно-дуговой печи при температуре свыше 3000 °С будет происходить расплавление всех компонентов шихты: драгметаллов, керамики и стального носителя. Образовавшийся расплав будет расслаиваться за счёт высокой разницы плотностей этих металлов и керамики. При этом расплав шихты из неметаллических материалов (керамики и др.) будет всплывать.

Разделение расплавов не должно представлять трудностей благодаря разности плотностей и конструкции плазменно-дуговой печи, позволяющей периодически сливать часть расплава (шлаков) и накапливать на коллекторе раствор МПГ в железе.

Жидкий коллектор, состоящий из железа и растворённых в нём драгметаллов, после слива из печи должен гранулироваться, а полученные гранулы являются ценным сырьём, содержащим МПГ в количестве не менее 10-15%, пригодным для аффинажного производства.

Таким образом, технология пирометаллургической утилизации катализаторов дожигания выхлопных газов автомобилей должна включать следующие стадии :

- разделку корпуса катализатора с отделением носителя с металлами платиновой группы;
- дробление носителя и классификацию измельчённого продукта по размеру;
- приготовление шихты требуемого состава;
- коллекторную плавку дроблёного продукта;
- декантацию расплава шлаков;
- гранулирование жидкого коллектора, состоящего из железа и растворённых в нём драгметаллов.

Для уточнения предлагаемой технологии необходимо проведение исследовательских

работ по обоснованию конкретных технологических режимов и состава шихты.

### **Заключение**

Рассмотрены вопросы утилизации катализаторов дожигания выхлопных газов автомобилей, являющихся ценными источниками вторичных драгоценных металлов.

Показано, что наиболее перспективными являются пирометаллургические технологии обогащения платиносодержащих отработанных автокатализаторов.

Для реализации промышленной технологии целесообразно использование коллекторной плавки в плазменно-дуговой печи.

Намечены направления исследований технологических параметров процесса утилизации отработанных автокатализаторов.

### **Литература**

1. Павловский В.А. Переработка автомобильных катализаторов Автомобильная промышленность, - 2002, № 9. с. 31-39.
2. Heinz Giegerich, Peterson R.D. A New Development in Recycling Second Generation Autocatalyst. Third international Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials Edited by P.V. Queneau and R.D. Peterson The Minerals, Metals & Materials Society. Germany, – 1995.
3. Пат. 2209843. Способ извлечения платиновых металлов из автомобильных катализаторов/ В.А. Шипачев; опубл. 14.01.2008.
4. Шипачёв В.А. Технология и аппаратурная схема извлечения металлов из автокатализаторов. Ж. Химическая технология, – 2011, № 2.
5. Бобович Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы. Учебное пособие. М.: МГИУ, 2009. 384 с.
6. Мастюков Б.С. Теория, конструкция и расчёты металлургических печей. М.: Металлургия. – 1986. 376 с.

### **Стратегическая задача утилизации автомобилей – комплексное использование всех вторичных ресурсов**

д.т.н. проф. Бобович Б.Б.  
Университет машиностроения  
+79161556506 [boris0808@yandex.ru](mailto:boris0808@yandex.ru);

*Аннотация.* Рассмотрены проблемы утилизации автомобилей. Показано, что утилизируемый автомобиль является источником не только вторичных черных и цветных сплавов, но и различных неметаллических конструкционных материалов: пластмасс, резин, тканей, стекла и др., рациональное использование которых возможно только при регламентированной разборке транспортного средства.

*Ключевые слова:* утилизируемый автомобиль, неметаллические конструкционные материалы, регламентированная разборка, вторичные материальные ресурсы.

Автомобильный транспорт является одним из основных загрязнителей окружающей среды, особенно в крупных городах. Несмотря на это, трудно представить жизнь современного общества без автомобилей, поскольку отказаться от тех возможностей, которые они предоставляют и обществу, и индивидуальному владельцу, мы уже никогда не сможем.

Мировой парк автомобилей превысил 700 млн. единиц. Россия, Китай, Индия и другие страны в настоящее время переживают автомобильный бум. Автопарк России ежегодно увеличивается на 1,6...1,8 млн. автомобилей. Общая численность зарегистрированных легковых автомобилей в Москве и Московской области в 2009 году приблизилась к 6 млн.

Интенсивная автомобилизация страны, начавшаяся в конце двадцатого века, выдвинула одну из важнейших экологических задач, имеющих, к тому же, и большое экономическое значение. Эта задача связана с утилизацией выводимых из эксплуатации автомобилей. Только