

### **Заключение**

1. Средний размер частиц увеличивается с 1 до 5 мкм, а диапазон размеров частиц увеличивается с 1-6 до 1-30 мкм.

2. Насыпная плотность обоих типов порошковых смесей увеличивается с увеличением времени активации и изменяется в пределах от 2,42 до 3,18 г/см<sup>3</sup> для порошковой смеси без углерода и от 2,3 до 2,87 г/см<sup>3</sup> для порошковой смеси с добавкой 1% углерода.

3. Микротвердость спеченных образцов увеличивается в 1,5-1,7 раза с увеличением времени активации.

4. Спеченные образцы без содержания углерода имеют ферритную структуру с включениями титановых частиц. Спеченные образцы с содержанием 1% углерода имеют хорошо различимую перлитно-цементитную структуру.

Таким образом, по результатам проведенных исследований не удалось выявить положительного влияния механической активации исходной порошковой смеси на свойства спеченных образцов композиции Fe-Ti. Это связано с пластичностью основного компонента – железного порошка, что в процессе механической активации приводит к слипанию частиц порошка и образованию крупных конгломератов из слипшихся частиц. Для предотвращения прилипания частиц во время механической активации необходимо применять дополнительные меры – например, вводить специальные добавки, предотвращающие прилипание частиц друг к другу.

### **Список литературы**

1. Технология конструкционных материалов: учебник/ О.С. Комаров, В.Н. Ковалевский, А.С. Чаус и др.; под общей редакцией О.С. Комарова. - Мн.: Новое знание, 2005. - 560 с.
2. Технология металлов. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В., Арутюнова И.А., Шабашов С.П., Ефремов В.К., «Металлургия», 1974. 648 с.

### **КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА СИЛУМИНОВЫХ СПЛАВАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В КАМЕРАХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ДВС**

*П.В. ЛИТВИНОВ<sup>1,2</sup>, В.А. БОРИСОВ<sup>3,4</sup>, С.С. СИГАЕВА<sup>3</sup>, Е.А. АНОШКИНА<sup>3</sup>, В.А. МУХИН<sup>5</sup>,  
В.Л. ТЕМЕРЕВ<sup>3</sup>, Д.А. ШЛЯПИН<sup>3</sup>, А.Л. ИВАНОВ<sup>2</sup>, В.Р. ВЕДРУЧЕНКО<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Омский государственный университет путей сообщения

<sup>2</sup>Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)

<sup>3</sup>Институт проблем переработки углеводородов СО РАН

<sup>4</sup>Омский государственный технический университет

<sup>5</sup>Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

E-mail: [p\\_vasilich55@mail.ru](mailto:p_vasilich55@mail.ru)

Требования к чистоте выхлопных газов (ВГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) ужесточаются не реже, чем раз в пять лет [1]. Основными компонентами выхлопных газов являются оксид углерода (СО), оксид азота (NOx) и продукты неполного окисления углеводородов (СН). Наиболее опасным компонентом, является окись углерода т.к. связывает гемоглобин крови, блокирующий перенос кислорода к тканям и органам. СО образуется в процессе сгорания углеводородов в недостатке кислорода, а именно такие условия поддерживаются в ДВС. В настоящее время для очистки ВГ применяют каталитические нейтрализаторы [2], однако, они не являются надёжными при низких

температурах и в период холодного запуска ДВС. Перспективным может быть использование каталитических покрытий деталей камеры сгорания ДВС. В работе [3] было показано, что наибольшей конверсии СО можно достичь при использовании каталитических палладиевых покрытий на силуминовых сплавах. В работе [4] показано, что при использовании каталитических покрытий может быть достигнута экономия топлива от 2 до 9 % масс. Использование благородных металлов повышает стоимость ДВС. Поэтому, целью работы был поиск каталитических покрытий на силумине, не содержащих благородные металлы.

В работе использовались образцы, изготовленные из поршня автомобиля ВАЗ-2108, которые изготавливаются из силумина марки АК12М2. Дополнительно был проведён анализ методом атомно-эмиссионной спектроскопии, подтвердивший, что состав сплава соответствует силумину марки АК12М2 по ГОСТ 1583-93.

Катализаторы готовили следующим образом: образцы силумина подвергали плазменно-электролитической оксидации (ПЭО), а затем активировали предшественниками активных компонентов, сушили и прокачивали при 500 °С в течение 3 часов. ПЭО проводили при плотности постоянного тока, равного 1.1-1.7 А/дм<sup>2</sup> в растворах различных электролитов. Электролит РВВ содержал 10,8 г/л Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 6,9 г/л Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, 1,8 г/л Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, а полученный на его основе РВВФ содержал также 3 г/л NH<sub>4</sub>F. Электролит КВВАI содержал 4 г/л KOH, 40 г/л Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, 3 г/л NH<sub>4</sub>F и 3 г/л AlF<sub>3</sub>. Электролит KSiAl содержал 3 г/л KOH, 30 г/л Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 1,5 г/л AlF<sub>3</sub>. Фториды были добавлены в электролиты для подтравливания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на поверхности силумина, чтобы развить поверхность носителя за счёт роста покрытия вглубь образца и пассивировать медь. Наибольший привес получали при использовании электролита KSiAl и КВВАI за счёт осаждения SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> из состава электролита. Электролиты РВВ и РВВФ давали меньший привес, т.к. образование покрытия происходит в основном из силумина, а не из раствора электролита.

Нанесение активных компонентов осуществляли пропиткой подготовленных носителей растворами предшественников. В качестве предшественников использовали: Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> и Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, т.к. образующиеся при их разложении дисперсные оксиды активны в окислении СН и СО. Активности полученных катализаторов в реакции окисления СО исследовали в проточном реакторе при времени контакта ~ 0,4 с в исходной газовой смеси состава: 1% СО + 99% воздуха. Концентрацию СО до и после реакции определяли хроматографически.

Результаты исследования интересны тем, что позволяют выбрать наиболее оптимальный способ получения каталитических покрытий на поршнях ДВС. Образцы не обработанные и после ПЭО обработки, активированные раствором солей Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O и Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O показали, что на необработанном образце степень превращения СО при 500 °С составляет 20,5 %, на образце обработанном в электролите РВВФ – 23,2 %, а на образце обработанном в электролите KSiAl – 68,1 %. Данные результаты объясняются тем, что в электролите KSiAl получается наиболее пористое и массивное покрытие, вследствие чего активный компонент работает лучше. Образцы активированные только раствором Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O показали худшие результаты. Так, на образце обработанном в электролите РВВ степень превращения СО при 500 °С составляет 19,6 %, а на образце обработанном в электролите KSiAl – 38,4 %. Наилучшие результаты показали образцы активированные раствором солей Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O и (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>. Так, на образце обработанном в электролите KSiAl в течение 40 минут степень превращения СО при 500 °С составляет 71,2 %, на образце обработанном в электролите КВВАI – 83,8 %, а на образце обработанном в электролите KSiAl в течение 10 минут – 87,8 %. Так как было выявлено влияние времени ПЭО обработки на активность каталитических покрытий – было решено провести полный факторный эксперимент (ПФЭ) 2<sup>3</sup>.

Варьировали три фактора: время ПЭО обработки (X<sub>1</sub>), объем пропиточного раствора (X<sub>2</sub>) и мольное соотношение Си:Се в пропиточном растворе (X<sub>3</sub>). Факторы варьировали на 2

уровнях: -1 и +1. Время ПЭО обработки ( $X_1$ ) задавали: 20 и 40 минут. Объем пропиточного раствора ( $X_2$ ) задавали: 1 и 2 мл. Соотношение Cu:Ce в пропиточном растворе ( $X_3$ ) задавали: 1:1,5 и 1,5:1. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты, полученные по методике ПФЭ  $2^3$

№	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Степень конверсии CO, % (Y)
1	+	+	+	77,8
2	-	+	+	65,0
3	+	-	+	46,0
4	-	-	+	65,3
5	+	+	-	73,1
6	-	+	-	82,2
7	+	-	-	47,6
8	-	-	-	35,6

Математическая модель была рассчитана в программе Microsoft Office Excel 2003. Полная модель первого порядка, включающая все эффекты взаимодействия:

$$Y_f = 61,3 - 0,7X_1 + 13,2X_2 + 1,71X_3 + 1,63X_1X_2 - 1,42X_1X_3 - 4,83X_2X_3 + 6,93X_1X_2X_3$$

Расчетные и экспериментальные данные имеют хорошую корреляцию, незначимый коэффициент  $b_1$ . Упрощенная модель имеет вид:

$$Y_e = 61,3 + 13,2X_2 + 1,71X_3 + 1,63X_1X_2 - 1,42X_1X_3 - 4,83X_2X_3 + 6,93X_1X_2X_3$$

здесь  $Y_f$  - это репрезентативная полная (full) модель второго порядка, а  $Y_e$  это представительная (established) модель второго порядка. Видно, что наиболее влияющим фактором оказался объем пропиточного раствора. Его эффект в 8 раз больше чем эффект мольного соотношения Cu:Ce. Однако, эффекты взаимодействия очень важны, причём их влияние не однозначно. Из этого можно заключить, что самое важное это количество катализатора, а также из уравнения видно, что первый и третий факторы влияют, только в совокупности со вторым.

На основании полученных результатов можно сделать заключение. Модифицированные каталитически активными компонентами исходные и обработанные методом ПЭО образцы проявляют заметную активность. В случае если ПЭО покрытие не пористое, например PWBF – каталитическая активность на нем меньше, чем у более пористого и массивного, например KSiAl – даже если они модифицированы одним и тем же активным компонентом. Согласно ПФЭ  $2^3$  можно сделать вывод, что наибольший эффект оказывает количество активного компонента, в то время как остальные факторы влияют только в совокупности с ним.

#### Список литературы

1. Ведрученко В. Р. Анализ требований к нормативам выбросов вредных веществ / В. Р. Ведрученко, П. В. Литвинов / Архитектура, строительство, транспорт [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-практической конференции. – Омск : СибАДИ, 2015. - С. 970-976. (дата обращения 7.05.2016)
2. Heck R.M., Farrauto R.J. Catalytic air pollution control: commercial technology. 2nd ed. NY.: John Wiley & Sons. Inc., 2002.
3. Osipov A.R., Borisov V.A., Suprunov G.I., Mukhin V.A., Ivanov A.L., Sigaeva S.S., Anoshkina E.A., Temerev V.L., Hohlov A.A., Tsyurul'nikov P.G., Catalytic coatings for improving the environmental safety of internal combustion engines // Procedia Engineering, 2016, V. 152, pp. 59 – 66.
4. Parlak A., Yaşar H. & Şahin B. (2003), Performance And Exhaust Emission Characteristics Of A Lower Compression Ratio LHR Diesel Engine, Energy Conversion and Management, 44, 163-175.