

**Галеев И.М., Бланк Е.Д., Тополянский П.А., Чижиков В.В., Колесов С.С.**  
**Повышение износостойкости поверхностей трения деталей из алюминиевых сплавов газотермическими покрытиями. Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня. Материалы 11-й Международной научно-практической конференции 14-17 апреля 2009 г. Санкт-Петербург. Изд. СПбГПУ, 2009. Ч.1. - С. 204-206**

## **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

**ГАЛЕЕВ И.М., БЛАНК Е.Д. (ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ»), ТОПОЛЯНСКИЙ П.А. (НПФ «ПЛАЗМАЦЕНТР»), ЧИЖИКОВ В.В., КОЛЕСОВ С.С. (ООО «НТЦ ТПА»), Санкт-Петербург, Россия**

Приведены результаты исследований нанесения износостойких детонационных и HVOF покрытий на детали из высокопрочных алюминиевых сплавов. Определены микромеханические характеристики и износостойкость покрытий.

Ключевые слова: покрытия, износостойкость, детонационное, высокоскоростное (HVOF) напыление.

Современное развитие техники и технологий диктует как необходимое требование минимизацию массы машин при сохранении прочностных свойств входящих в них деталей. Одним из решений этой задачи является применение конструкционных высокопрочных алюминиевых, магниевых и титановых сплавов.

В данной работе приведены некоторые результаты исследований по возможному применению газотермических методов нанесения износостойких покрытий на детали из высокопрочных алюминиевых сплавов.

Основной задачей работы являлся выбор технологии нанесения покрытий с твердостью не менее 44-48 HRC, обеспечивающей снижение прочностных свойств не более, чем на 20%. Снижение прочности алюминиевой основы при газотермическом напылении связано с ее нагревом при формировании покрытий. Известно, что температура нагрева исследуемого в работе сплава Д16 до 200-210<sup>0</sup>С вызывает его разупрочнение и снижает  $\sigma_{0,2}$  на величину до 20%. Для нанесения газотермических покрытий использовались детонационный метод и метод HVOF.

### **Материалы и методы исследований**

В качестве материалов износостойких покрытий были выбраны: никелевый сплав ПРХ16С3Р3 и композиционный материал  $Al_2O_3+30\%$  ПРХ16С3Р3. Нанесение детонационных покрытий производилось на детонационной установке «Прометей-2» с использованием пропан-бутаново-кислородной смеси. Покрытия HVOF наносились на устройстве Mikrojet HVOF (GMA). Для нанесения использовались порошки ПРХ16С3Р3 фракцией до 53 мкм и оксид алюминия  $Al_2O_3$  фракцией 20-53 мкм. Перед нанесением покрытий образцы подвергались абразивно-струйной обработке электрокорундом фракцией 1200-1600 мкм.

Прочность сцепления покрытий определялась на адгезионных образцах из сплава Д16Т с диаметром штифта 2 мм, микротвердость покрытий и трещиностойкость  $K_{1c}$  по методике Эванса определяли на приборе ПМТ-3,

триботехнические характеристики оценивались на машине трения ЛПИ. Измерение температур производилось термопарами «хромель-алюмель», приваренными к внутренним стенкам втулок Ø147 мм в месте покрытия на расстоянии 0,5 мм от внешней поверхности втулки. Толщина стенки втулки 10 мм. Измерения производились микропотенциометром МР-64.

### Результаты исследований

В табл. 1 приведены значения микромеханических характеристик и прочности сцепления покрытий.

Таблица 1. Микромеханические характеристики и прочность сцепления покрытий

Материал покрытия	Метод нанесения	Прочность сцепления, МПа	Микро-твердость, ГПа	Трещиностойкость, $K_{1c}$ мн·м <sup>-3/2</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +30%ПРХ16С3Р3	Детонационный	48-52	9,2-11,8	2,8-3,6
ПРХ16С3Р3	Детонационный	52-56	4,8-6,1	4,6
ПРХ16С3Р3	HVOF	46-52	4,8-5,6	6,8
20Х13	HVOF	38-54	5.4-7.8	2.6

Влияние процесса нанесения покрытий на нагрев металла основы определялось измерением температуры с внутренней стороны на трубчатых образцах.

Измерения производились при нанесении покрытия в одну точку образца с обратной стороны и при нанесении покрытия на всю поверхность образца. Толщина покрытий составляла 0,5-0,6 мм. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2. Температуры нагрева металла основы

Способ нанесения	Материал покрытия	Температура металла основы, °С	
		при напылении в точку	при напылении кольца шириной 50 мм
Детонационный	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +30%ПРХ16С3Р3	130-140	120-130
	ПРХ16С3Р3	130-140	110-120
HVOF	ПРХ16С3Р3	190-200	150-170
	20Х13	190-200	150-170

Для оценки степени разупрочнения металла основы на шлифах, вырезанных из напыленных образцов втулок, производилось измерение твердости HV по толщине через 0,5 мм. Результаты измерений на образцах приведены в табл. 3.

Таблица 3. Распределение твердости HV, МПа по толщине образца

Состояние образца	Расстояние от наружной поверхности трубы, мм											
	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Исходное, без покрытия	202	205	203	205	204	203	206	203	201	203	202	204
С детонационным покрытием Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +30% ПРХ16С3Р3	193	195	193	196	194	192	195	196	197	194	195	196
С покрытием HVOF 20Х13	148	152	149	150	153	147	148	150	151	153	152	154

Исследования распределения твердости показали идентичные результаты по разупрочнению алюминиевой основы и для других материалов покрытий, нанесенных детонационным и HVOF методами. Для детонационных

покрытий разупрочнение достигает 3-4 %, а у HVOF покрытий - 20%, что объясняется различной степенью нагрева при формировании покрытий.

Триботехнические испытания проводились по схеме кольцо–палец. Покрытия наносились на кольца и пальцы, изготовленные из сплава Д16Т.

Оценивалась по существу нагрузочная способность системы: алюминиевая основа с покрытием. Для испытаний было выбрано детонационное покрытие  $Al_2O_3+30\%PRX16C3P3$ , обеспечивающее минимальное разупрочнение основы и наибольшую твердость. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты триботехнических испытаний

Условия испытаний				Коэффициент трения	Интенсивность изнашивания $I=h/L$
Материал основы	Путь трения	Скорость, м/с	Давление, МПа		
сталь	5	0.25	10	0.18	$7.2 \cdot 10^{(-11)}$
сталь	5	0.25	15	0.21	$8.8 \cdot 10^{(-11)}$
сталь	5	0.25	20	0.22	$8.2 \cdot 10^{(-11)}$
Д16Т	5	0.25	10	0.20	$8.1 \cdot 10^{(-11)}$
Д16Т	5	0.25	15	0.19	$8.6 \cdot 10^{(-11)}$
Д16Т	5	0.25	20	0.21	$8.4 \cdot 10^{(-11)}$

В результате испытаний разрушений, выкрашиваний и других повреждений покрытий не обнаружено.

#### Выводы

Исследования показали, что при нанесении детонационных и HVOF покрытий на детали, изготовленные из высокопрочных алюминиевых сплавов:

- микромеханические характеристики покрытий, микротвердость и трещиностойкость не зависят от материала основы;
- прочность сцепления снижается до 25-30% от уровня покрытий, нанесенных на стальные основы;
- при нанесении детонационных покрытий разупрочнение основы из Д16Т не более 3-4%;
- при нанесении HVOF покрытий разупрочнение основы из Д16Т достигает 20-25%;
- триботехнические свойства детонационного покрытия нанесенного на основу из Д16Т практически аналогично уровню свойств покрытия нанесенного на стальную основу.