

УДК

**ПОВЫШЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И АНТИФРИКЦИОННЫХ  
СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН  
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ  
ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ СМЕСЬЮ ПОРОШКОВ  
БрАЖ9-4 и  $Al_2O_3$**

Е.Е. Петрова, магистрант гр. ТСм-131, II курс

Научные руководители: В.Л. Князьков к.т.н.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

О.С. Назаров, инженер-технолог (ООО «НПЦ ГМИК»)

г. Междуреченск

Поверхности втулок гидроцилиндров, опорных втулок стрел экскаваторов ЭКГ-5 и ГШ и т.д., изготавливаемых методом литья и последующей механической обработкой имеют недостаточную твердость и, зачастую, в результате воздействия высоких нагрузок - деформируются.

Представленные в работе [1] способы повышения твердости и антифрикционных свойств способом плазменно-порошковой наплавки слоя, модифицированного ультрамелкодисперсными частицами  $Al_2O_3$ , наряду с высокими свойствами покрытия имеют ряд недостатков, таких как, разложение в процессе наплавки некоторой части частиц  $Al_2O_3$ , высокое качество покрытий достижимо в узком интервале режимов, наличие основного металла в наплавленном, снижает антифрикционные свойства таких покрытий. Применение детонационного напыления взамен плазменного, вследствие значительного различия технологических особенностей, а именно: отсутствие перемешивания основного и напыляемого металлов, малое, относительно плазменно-порошкового способа время контакта веществ в нагретом состоянии, значительно снижает склонность ультрамелкодисперсных частиц  $Al_2O_3$  к разложению. При детонационном нанесении покрытий, вследствие циклического характера процесса, температура нагрева детали, как правило, ниже уровня структурных изменений, прочность сцепления напыленного слоя может достигать 200-240 МПа. Гипотеза заключается в том, что высокие антифрикционные свойства и твердость частиц  $Al_2O_3$  в сочетании с основой из антифрикционного сплава БрАЖ9-4 могут сформировать, в результате напыления, покрытие с новыми свойствами.

Детонационное напыление выполняли на автоматической установке «Обь» при следующих параметрах: давление воздуха 0,2 – 0,18 МПа, расход воздуха  $G < 0,01$  кг/с; давление кислорода 0,14 МПа, расход –  $< 0,002$  кг/с;

давление ацетилен 0,135 МПа, расход - <0,001 кг/с; давление пропан-бутана 0,135 МПа, расход – <0,001 кг/с.

Основные характеристики ультрамелкодисперсных частиц керамики  $Al_2O_3$ , представлены в таблице 1. При напылении на поверхность образца из стали 20, использовали смесь частиц  $Al_2O_3$  и порошка ПР-БрАЖ9-4-3 (фракция 20 – 40 мкм), свойства порошка представлены в технических условиях [2].

Таблица 1. – Основные характеристики порошка  $Al_2O_3$

Наименование показателя	Норма для марок
	Марка А
Внешний вид	Высокодисперсный порошок белого цвета
Структура кристалла	Бемит
Размер кристаллитов, Å, не более	1 000
Удельная специфическая поверхность, м <sup>2</sup> /г, в пределах	10 ÷ 400

Состояние керамического порошка  $Al_2O_3$  перед применением исследовали в лаборатории физики ГОУ ВПО Томского архитектурно-строительного университета методом просвечивающей электронной микроскопии с помощью угольных реплик. Просмотр угольных реплик, на которые осаждали исследуемые порошки, осуществляли на электронном микроскопе ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 125 кВ и рабочих увеличениях в колонне микроскопа от 25 000 до 80 000 крат.

Характеристики керамического порошка  $Al_2O_3$  более подробно описаны в работе [3].

В таблице 2 представлены результаты спектрального анализа напыленных слоев с различным процентным соотношением  $Al_2O_3$ .

Таблица 2. – Химический состав напыленного слоя  $Al_2O_3$ +ПР-БрАЖ9-4-3

Напыляемые материалы	Доля химических элементов (%)			
	Fe	Al	Cu	Примеси
1:9	3,072	6,244	88,98	1,704
2:8	3,014	7,308	88,36	1,318
3:7	3,276	8,535	86,75	1,439
4:6	3,131	7,917	87,36	1,592
5:5	3,458	8,872	86,20	1,470

Показано, что в процессе напыления в атмосфере смеси ацетилена ( $C_2H_2$ ) и пропан  $C_3H_8$  - бутана  $C_4H_{10}$ , происходит неравномерное распределение элементов Fe, Al, Cu.

Исследование микротвердости проводили в лаборатории КузГТУ на кафедре «Технологии машиностроения». Измерения выполняли в 9-и точках (в каждой, не менее 4-х измерений) прибором Dura Scan по ГОСТ 9450-76 вдавливанием наконечника (четырехугольной пирамидой с квадратным основанием) под нагрузкой 0,1 кг приложенной в течение 15 с при увеличении 10 крат, результаты измерений микротвердости и характер микроструктуры представлены в таблицах 3 и 4.

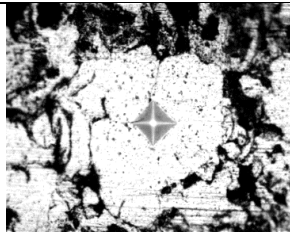
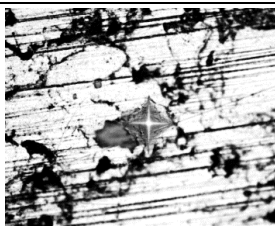
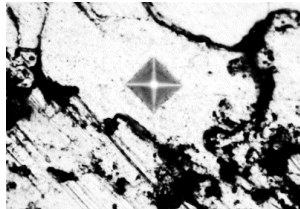
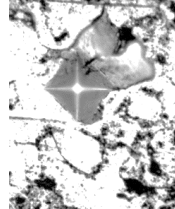
Результаты измерений обработаны методами математической статистики.

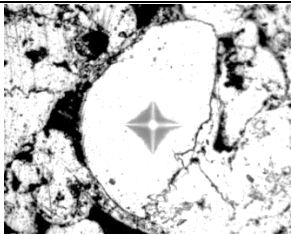
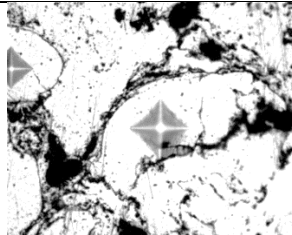
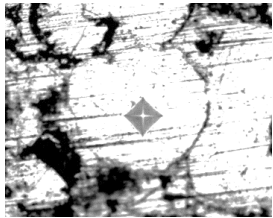



Таблица 3. – Микротвердость поверхности напыленного образца, HV

В МПа

Содержа- ние ком- понентов	Расстояние между точками, мм									Среднее значение	Среднее откло- нение
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5		
1:9	202	200	222	213	209	297	222	239	220	224,8889	29,5315
2:8	309	<b>196</b>	198	254	263	247	251	214	<b>321</b>	250,3333	44,2041
3:7	267	301	<b>167</b>	169	<b>337</b>	270	179	301	218	245,4444	<b>64,0198</b>
4:6	258	240	289	280	235	<b>218</b>	295	<b>301</b>	248	<b>262,6667</b>	<b>29,6226</b>
5:5	263	<b>300</b>	275	213	270	271	<b>200</b>	235	235	251,3333	32,4769

Таблица 4. – Характер структуры напыленного детонационным методом слоя

Содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и ПР- БрАЖ9-4-3	Max	Min
1:9	 297 МПа	 200 МПа
2:8	 321 МПа	 196 МПа

3:7	 337 МПа	 167 МПа
4:6	 301 МПа	 218 МПа
5:5	 300 МПа	 200 МПа

Видно (рисунок 1), что наибольший разброс значений микротвердости соответствует отношению 3:7, более высокие и стабильные значения микротвердости с незначительным разбросом, получены при детонационном напылении порошков в соотношении 4:6.

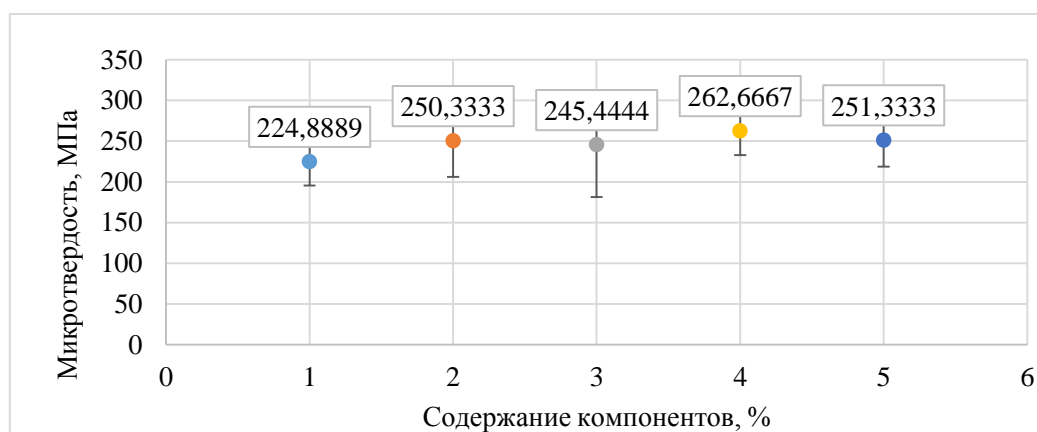


Рисунок 1. Влияние процентного содержания  $Al_2O_3$  на микротвердость ( $Al_2O_3$  и ПР-БрАЖ9-4-3): 1 – 1:9; 2 – 2:8; 3 – 3:7; 4 – 4:6; 5 – 5:5

Следует отметить, что полученные результаты значений микротвердости, которые представлены в таблице 3, характеризуются высоким разбросом и зависят от структуры поверхности. Однако микротвердость модифицированного слоя выше, чем немодифицированного, что свидетельствует об эффекте упрочнения.

Топографию напыленной поверхности исследовали в лаборатории КузГТУ на сканирующем туннельном микроскопе, на напыленной поверхности

сти с содержанием 10%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Исследование выполняли на наноуровне, необходимо отметить, что данный эксперимент выполняли на не шлифованном осколке напыленной поверхности.

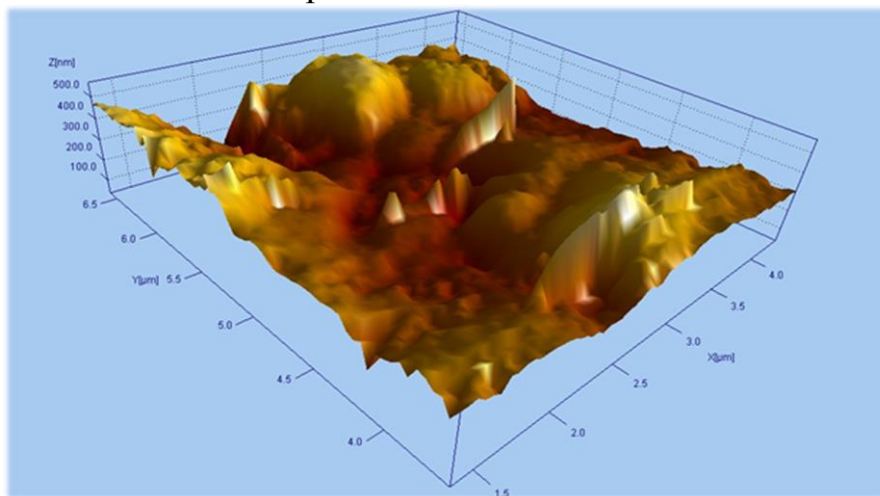


Рисунок 2. Осколок напыленной поверхности в сканирующем туннельном микроскопе НТК «УМКА» (разрешение  $10^{-8}$ )

Установлено (рисунок 2), что выступы на поверхности имеют овальную форму и составляют 500 нм. Как можно предположить, что отдельные выступы, являются нерасплавленными частицами порошка или зернами. Размер которых составляет  $1,25 \times 0,5 \times 500$  нм (рисунок 3).

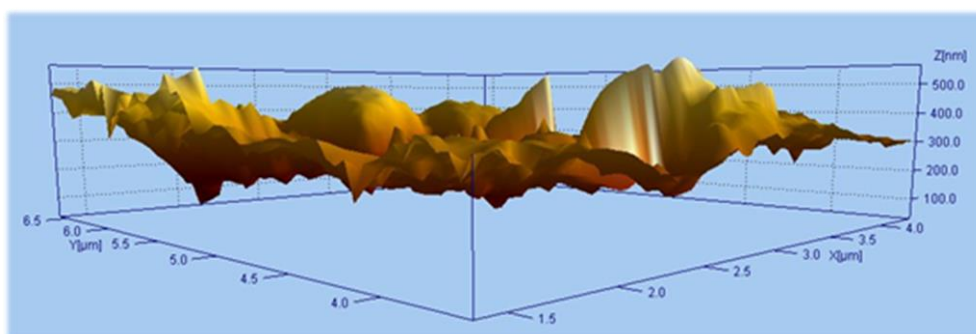


Рисунок 3. Размер осколка в сканирующем туннельном микроскопе по оси Z (разрешение  $10^{-8}$ )

#### Выводы:

1. Применение детонационного напыления с содержанием 40 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  привело к незначительному повышению микротвердости напыленного слоя, что подтверждает гипотезу о возможности повышения износостойкости путем использования  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
2. При детонационном методе напыления, частицы порошков полностью не расплавляются.

3. Для повышения твердости, износостойкости и антифрикционных свойств модифицированного слоя необходимо проведение дополнительных исследований.

### **Список литературы:**

1. Князьков В.Л., Смирнов А.Н., Козлов Э.В., Радченко М.В., Князьков К.В., Мазалов Ю.А. Плазменно-порошковая наплавка слоя бронзы, модифицированного наноразмерными частицами  $Al_2O_3$ . Сборник докладов 13-й международной научно-практической конференции «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано до макроуровня». Санкт-Петербург 2011 г. Ч. 1. С. 157-163.
2. ТУ 2133-001-76634032-2006. Алюминия оксигидроокись (бемит). – М.:АЛЮМ-Э, 2006. – 18 с.
3. Смирнов А. Н. Экспертиза промышленной безопасности в Сибирском регионе. – М.: Машиностроение, 2015. – С. 192-198.