

ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

К.В. Князьков, М.В. Радченко, А.Н. Смирнов, Э.В. Козлов, В.Л. Князьков

Увеличение срока службы деталей машин, за счет повышения твердости наплавленных слоев бронз.

Ключевые слова: повышение срока службы, режимы наплавки, управление процессом образования структуры.

С каждым годом количество выработки угольной породы увеличиваются. Современные тенденции интенсификации производственных процессов, увеличения рабочих давлений, скоростей, температуры приводят к ускоренному изнашиванию деталей, а в сочетании с необходимостью автоматизации производства, делают проблему повышения долговечности изнашиваемых узлов машин еще более быстрой.

Широко распространенный метод наплавки слоев бронз, имеющих высокие антифрикционные свойства, имеет и недостатки, такие как относительно низкую твердость. Поэтому повышение твердости слоя бронзы, может существенно увеличить срок службы венцов зубчатых колес и шестерен, втулок, поршней, электродов машин контактной сварки и других деталей машин, работающих в условиях экстремальных нагрузок.

Порошок бронзы марки ПГ-19М-01 [1], фракция 40-100 мкм наплавляли на установке УПН-303. Структура наплавленного слоя бронзы представлена на рисунке 1.

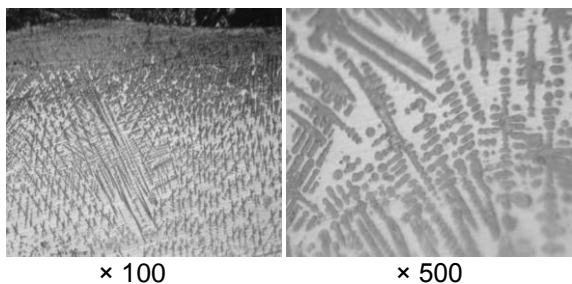


Рисунок 1 - Структура слоя плазменно-порошковой наплавки материала ПГ-19М-01

Микротвердость наплавленного слоя составляет $H_{\mu 50} = 229 - 236 \text{ кгс/мм}^2$. Измерение микротвердости наплавленного металла проводилось с использованием микротвердоме-

ра ПМТ-3, нагрузкой 50 гс в соответствии с ГОСТ 9450.

С целью изменения условий кристаллизации слоя бронзы, в процессе наплавки (режимы наплавки не изменялись) вводили в низкотемпературную (хвостовую) часть ванны расплавленного металла порошок Al_2O_3 [2], основные характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные характеристики порошка Al_2O_3

№ п/п	Наименование показателя	Норма для марок
		Марка А
1	2	3
1	Внешний вид	Высокодисперсный порошок белого цвета
2	Структура кристалла	Бемит
3	Размер кристаллитов, Å, не более	1000
4	Массовая доля примесей (в пересчете на прокаленное вещество), %, не более: диоксид кремния (SiO_2), оксид железа (Fe_2O_3), оксид натрия (Na_2O)	0,05 0,05 0,05
5	Удельная специфическая поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$, в пределах	$10 \div 400$

Состояние порошка керамики Al_2O_3 перед применением исследовалось методом просвечивающей электронной микроскопии с помощью угольных реплик. Просмотр угольных реплик, на которые осаждались исследуемые порошки, осуществлялся на электронном микроскопе ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 125 кВ и рабочих увеличениях в колонне микроскопа от 25000 до 80000 крат.

Измерение размеров частиц проводилось по методу случайных секущих. Было

измерено ~500 частиц. Средний размер частиц определялся по гистограмме (распределению частиц по размерам), представленной на рисунке 2.

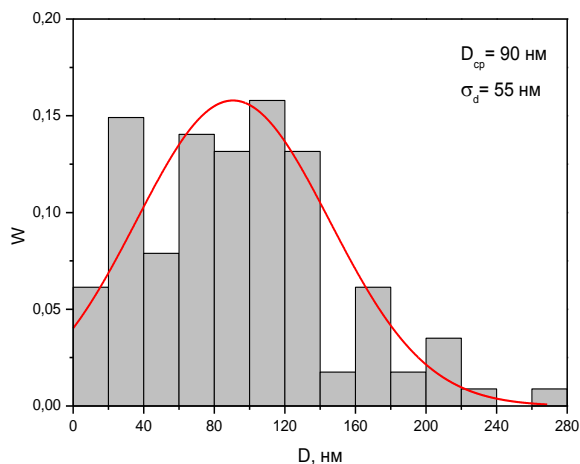


Рисунок 2 - Гистограмма распределения частиц Al_2O_3 по размерам

Установлено, что средний размер частиц ($\langle D \rangle = 90$ нм) не является наиболее вероятным значением. Как следует из распределения, наиболее вероятными значениями являются интервалы значений 20–40 нм и 100–120 нм. Обнаружено, что количество частиц, имеющих размеры <20 нм, составляет ~6%.

Примеры изображений частиц, полученных при увеличении в колонне микроскопа 25000 крат, представлены на рисунке 3.

На рисунке 3 а и 3 б, показано, что все частицы, во-первых, обладают округлой формой и, во-вторых, частицы присутствуют только группами. При этом плотность частиц в группе может быть так велика, что такая группа может быть принята за отдельную частицу, размер которой составляет величину >1 мкм (см. рисунок 3 в)[3]. Однако доказательством того, что это не отдельная частица, а группа частиц, служит тот факт, что края конгломерата частиц имеют волнистый вид, а не идеальный овал, как на отдельных частицах, представленных на рисунке 3 а - б.

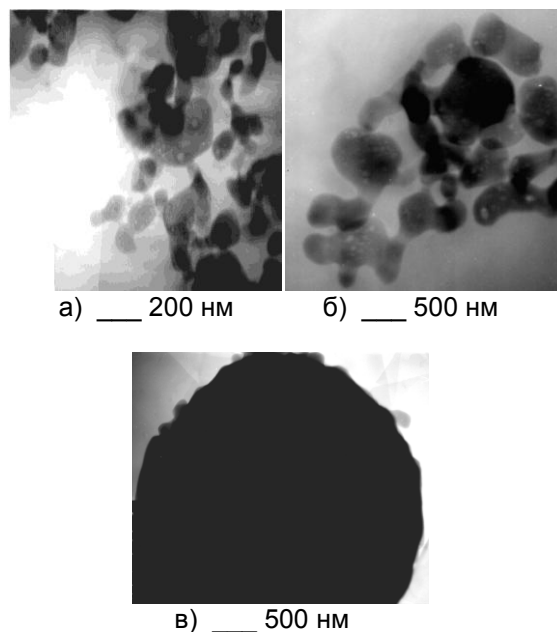


Рисунок 3 - Электронно-микроскопическое изображение частиц Al_2O_3

Был проведен фазовый анализ и изучена структура частиц представленных на рисунке 3 а - б при больших увеличениях (~70000 крат) в колонне микроскопа с применением дифракционного анализа. Один из примеров идентификации фаз представлен на рисунке 4.

Микродифракционная картина (рисунок 4 в), полученная с отдельной частицы (на рисунке 4 а она указана стрелкой), свидетельствует о том, что:

1) частица – это фаза $\alpha-Al_2O_3$ (корунд), обладающая ромбоэдрической кристаллической решеткой (пространственная группа $R\bar{3}c$) с параметрами $a = 0.4758$ нм и $c = 1.2991$ нм;

2) частица является монокристаллом, т.к. на микродифракционной картине (рисунок 4 в) присутствует только одна плоскость, а именно $(\bar{7}.10.2)$ фазы Al_2O_3 , и на темнопольном изображении (рисунок 4 б) эта частица «светится» целиком и равномерно.

ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

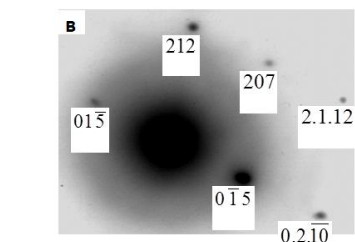
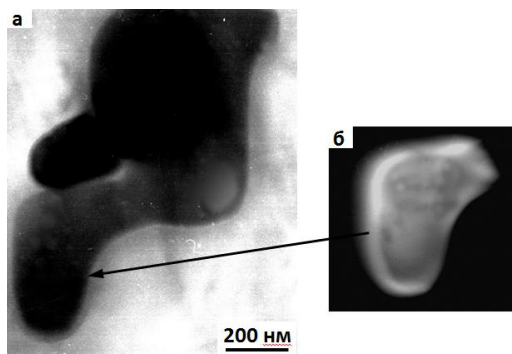


Рисунок 4 - Электронно-микроскопическое изображение группы частиц Al_2O_3 : а – светлопольное изображение; б – темнопольное изображение частицы, полученное в рефлексе $[0\bar{1}5]$ фазы Al_2O_3 ; в – микродифракционная картина участка (б) содержит рефлексы, принадлежащие плоскости $(\bar{7}.10.2)$ фазы Al_2O_3

При наплавке образцов вводили 1,5% Al_2O_3 в качестве модификатора. На рисунке 5 представлены изменения структуры слоя в результате введения в расплав наноразмерных частиц Al_2O_3 .

Микротвердость поверхности составляет: светлая фаза $H_{0.05} = 549-746$ кгс/мм², темная фаза $H_{0.05} = 500-524$ кгс/мм².

В ходе экспериментальных работ концентрация наноразмерных частиц Al_2O_3 увеличивалась, однако твердость поверхности наплавленных слоев существенно не изменялась. Исследован слой плазменно-порошковой наплавки материала ПГ-19М-01 полученного в результате введения в качестве модификатора 15% наноразмерных частиц Al_2O_3 .

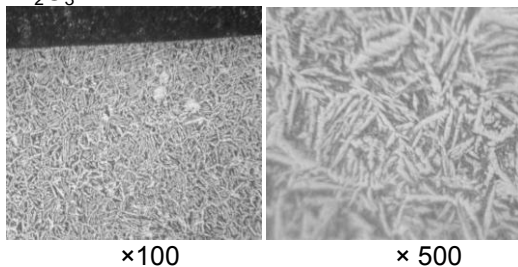


Рисунок 5 - Изменения структуры слоя выполненного способом плазменно-порошковой наплавки материалом ПГ-19М-01 в результате введения 1,5% наноразмерных частиц Al_2O_3

Для установления характера распределения наноразмерных частиц Al_2O_3 выполнена сканирующая электронная микроскопия образца размерами $2 \times 5 \times 0,1$ мм поверхность, которого подготовлена электрохимическим травлением с использованием растрового электронного микроскопа JSM-7500FA.

На рисунке 6 а) представлен участок поверхности образца и рисунке 6 б) спектрограммы распределения элементного состава образца

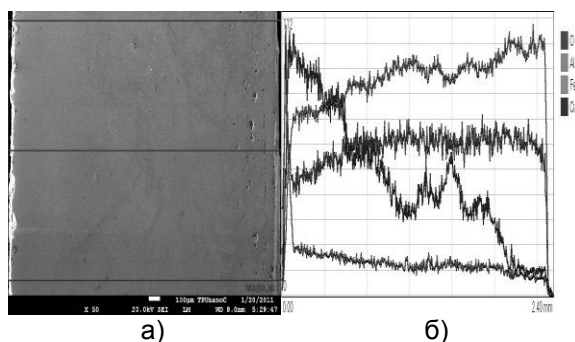


Рисунок 6 - а) Поверхность образца, б) спектрограмма, распределения элементов в исследуемой плоскости образца

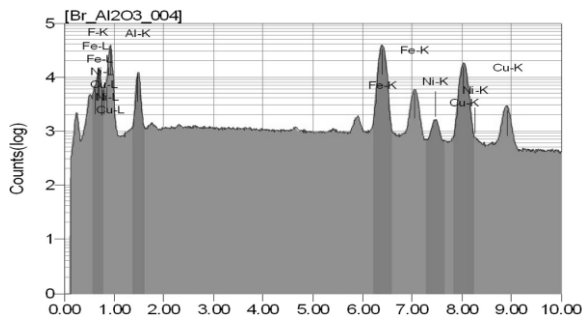


Рисунок 7 - Количественный элементный состав в исследуемой плоскости образца

На основании данных о распределении элементов и их количестве в исследуемом образце можно предполагать, что наноразмерные частицы Al_2O_3 распределены относительно равномерно. С целью определения микротвердости слоя бронзы модифицированной введением 1,5% наноразмерных частиц Al_2O_3 провели исследование шлифов в виде тонких пленок вырезанных в поперечном сечении образца, после электрохимического травления. Результаты измерения микротвердости поверхности наплавленных образцов представлены ниже.

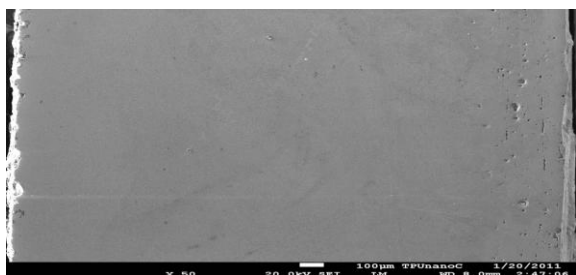
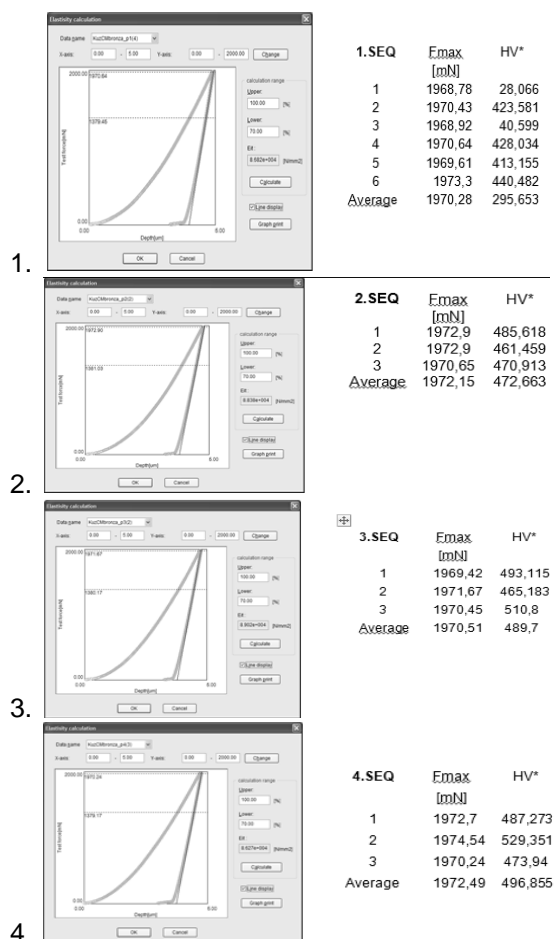


Рисунок 9 - Поверхность пленки и схема измерения ультрамикротвердости (методом наноиндентирования)

Результаты измерений ультрамикротвердости на участках 1 – 5 рисунок 9 соответственно, представлены ниже



5.

* Принятые обозначения

- SEQ Номер измерения
- F_{max} Максимальная нагрузка измерения
- HV* Твёрдость по Виккерсу (= 0.0924*Hit)
- Average Среднее арифметическое значение по всем измерениям

Рисунок 10 - Результаты измерений ультрамикротвердости

Наличие включений в зоне сплавления вероятно связано с условиями кристаллизации наплавляемого слоя.

Выводы

1. Показана возможность модификации слоя бронзы в процессе плазменно-порошковой наплавки наноразмерными частицами Al₂O₃.
2. Результатом модификации является изменение структуры бронзы и значительное повышение твердости наплавленного слоя.
3. Для управления процессом образования структуры и свойствами наплавленного металла необходимо проведение дополнительных исследований*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТУ 48-19-383-91. Порошки для наплавки и напыления. Технические условия. М.: Торезтвёрдосплав, 1991. ТУ 2133-001-76634032-2006. Алюминия оксидгидроксид (бемит). – М.: АЛЮМ-Э, 2006. – 18с.
2. Соболев В.В., Шпалыгин И.С. Химические и физические свойства окислов. М.: Наука, 1993. 254 с.

Князьков К.В., аспирант;
Радченко М.В., д.т.н., профессор
 e-mail: mirad_x@mail.ru тел. 8-3852-290-765;
 ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
Козлов Э.В., д.т.н., профессор,
 ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск,
Смирнов А.Н., д.т.н., профессор,
Князьков В.Л. – к.т.н.,
 ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.