

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ



8

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ДЕФОРМАЦИЯ И РАЗРУШЕНИЕ
МАТЕРИАЛОВ И НАНОМАТЕРИАЛОВ



imetran.ru

УДК 669.66-96

ББК 34.2.34.3.95

Д 39

Д 39 VIII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. 19-22 ноября 2019 г./ Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН, 2019, 860с.

ISBN 978-5-4465-2550-8

Организаторы конференции:

- Министерство науки и высшего образования рф
- Российский фонд фундаментальных исследований
- Российская академия наук
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук
- ООО «Мелитэк»
- Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности
- Журнал «деформация и разрушение материалов»
- Journal of materials new horizons
- PiscoMed publishing pte ltd

*Мероприятие проведено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-08-20115*

Материалы публикуются в авторской редакции.

Сборник материалов доступен на сайте <http://dfmn.imetran.ru/>

© ИМЕТ РАН 2019

ISBN 978-5-4465-2550-8



данных с ранее полученными результатами для кремнийзамещенного ГАП $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{SiO}_4)_x(\text{OH})_{2-x}$ ($x=0.5; 1.0$) [1]. Был осуществлен механохимический синтез композиционных материалов на основе ГАП, состава $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ [2] оксида кремния (10, 15, 20 и 30 масс.% $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и порошка кремния (10 и 20 масс.% Si). Изучено взаимодействие в системе $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2/\text{Si}$ в широком интервале температур (25-1000°C).

Таблица 1. Микротвердость композитов на основе ГАП с армирующей добавкой при различных температурах

Исследуемый образец	Твердость по Виккерсу (HV)					
	25°C	200°C	400°C	600°C	800°C	1000°C
ГАП	52	71	53	75	87	183
10% $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ –ГАП	47	62	84	124	121	227
15% $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ –ГАП	43	60	79	118	152	277
20% $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ –ГАП	26	42	65	77	89	134
30% $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ –ГАП	22	34	64	62	86	146
10%SiO–ГАП	99	135	86	216	98	115
20%SiO–ГАП	92	148	73	166	75	105
$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_{5.5}(\text{SiO}_4)_{0.5}(\text{OH})_{1.5}$	111	–	53	90	177	147
$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_5(\text{SiO}_4)(\text{OH})_{1.5}$	111	–	65	93	130	232

Результаты исследований показали, что введение кремнийсодержащих добавок оказывает влияние на прочностные характеристики ГАП (табл. 1). Чистый кремний способствует упрочнению материала при температурах до 600°C, однако при дальнейшем повышении температуры происходит снижение прочностных характеристик. При температуре 800°C максимальными прочностными характеристиками обладает кремнийзамещенный ГАП. В области температур 800-1000°C на упрочнение материала начинает оказывать влияние добавка $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Установлено, что в случае композитов $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ –ГАП максимальными прочностными характеристиками обладает образец, содержащий 15 мас.% SiO_2 .

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования согласно плану НИР ИХТТ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Е.А. Богданова, Н.А. Сабирзянов. Материаловедение, 2014,10, 53-56.
2. Н.А. Сабирзянов, Е.А. Богданова, Т.Г. Хонина Патент РФ № 2406693. 2010.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ МИКРОТВЕРДОСТИ СИЛУМИНА АК10М2Н, МОДИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ

Бутакова К. А.¹, Загуляев Д. В.¹, Громов В. Е.¹, Иванов Ю. Ф.², Тересов А. Д.²

¹Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

²Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

ksusha.butakova@yandex.ru

ANALYSIS OF CHANGES IN MICROHARDNESS OF SILUMINE AK10M2N MODIFIED BY THE COMPLEX METHOD

Abstract: The purpose of this work was to establish the optimal (from the point of view of surface-sensitive properties) modes of electron-beam surface treatment of electroexplosive doping of silumin brand AK10M2N. It was established that, regardless of the processing modes, the microhardness of the samples in the treated area is greater than at distances of 20 and 50 μm from the edge of the sample and averages 72.64 HV in grain and 7.13 HV in eutectic.

Одним из наиболее перспективных методов поверхностного упрочнения изделий является комбинированная обработка, включающая в себя электровзрывное легирование (ЭВЛ) и последующее облучение поверхности высокоинтенсивным электронным пучком субмиллисекундной длительности. Электровзрывное легирование воздействует на поверхность импульсными плазменными струями, формируемые при разряде ёмкостных накопителей энергии через проводники [1]. Вследствие проведения ЭВЛ на поверхности образца формируется покрытие, которое является высокопористым, имеет микротрещины и микрократеры, что существенно снижает значения механических характеристик. В дальнейшем для устранения этой проблемы проводится облучение поверхности высокоинтенсивным электронным пучком. Электронно-пучковая обработка (ЭПО) обладает большими возможностями контроля подводимой энергии и малыми коэффициентами отражения

энергии. Импульсные плазменные струи, использующиеся в ЭВЛ, и импульсные сильноточные электронные пучки хорошо сочетаются друг с другом. Они имеют сопоставимые значения времени импульса, диаметра облучаемой поверхности, интенсивности и глубины зоны воздействия [2].

Целью данной работы являлось установление оптимальных (с точки зрения поверхностно-чувствительных свойств) режимов электронно-пучковой обработки поверхности электровзрывного легирования силумина марки АК10М2Н.

В качестве характеристики механических свойств поверхностных слоев в работе использовали один из наиболее точных и чувствительных методов – измерение микротвердости. Ее различия до и после обработки могут служить показателем упрочнения модифицированных поверхностных слоев металлов и сплавов. Измерения микротвердости проводились с помощью микротвердомера HVS-1000 и ультрамикротвердомера Shimadzu DUN-211S по методу микро-Виккерса.

Электровзрывное легирование (ЭВЛ) образцов проводили с использованием порошка оксида иттрия (режимы легирования приведены в табл. 1). На втором этапе легированную поверхность образцов облучали интенсивным импульсным электронным пучком на установке «СОЛО» [2] при следующих параметрах пучка электронов: плотность энергии пучка электронов 25 и 35 Дж/см², энергия ускоренных электронов 17 кэВ, длительность импульсов 150 мкс, количество импульсов 3, частота следования импульсов 0,3 с⁻¹; давление остаточного газа (аргон) в рабочей камере установки 2·10⁻² Па.

Таблица 1 – Режимы электровзрывного легирования

№ режима	масса алюминиевой фольги, m _{Al} (г)	масса порошка Y ₂ O ₃ , m _{Y₂O₃} (г)	напряжение разряда, U (кВ)
1	0.0589	0.0589	2.8
2	0.0589	0.0883	2.6

В результате проведенных исследований была построена зависимость изменения микротвердости поверхности силумина от плотности энергии пучка электронов при разных режимах ЭВЛ для различных, которая представлена на рисунке 1.

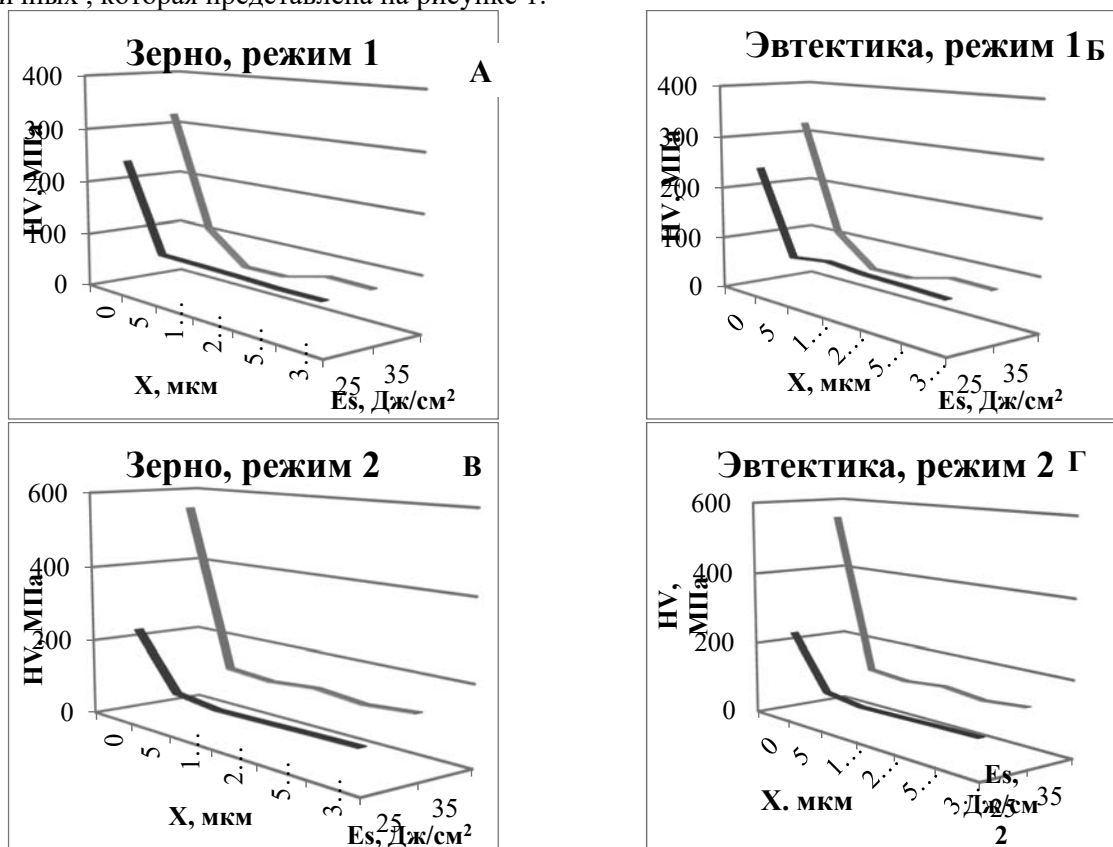


Рисунок 1 - Зависимости распределения значений микротвердости в зернах и эвтектике силумина на различных расстояниях от модифицированной поверхности, подверженной комбинированной обработке с различной плотностью электронных пучков (А, Б – масса порошка Y₂O₃ 0,0589 г, В, Г – 0,0883 г)

Анализ графика показывает, что значения микротвердости, как в зернах, так и в эвтектике модифицированных образцов, увеличиваются по мере приближения к обработанному слою.

Установлено, что независимо от режимов обработки микротвердость образцов, в зоне подвергнутой обработке больше, чем на расстояниях 20 и 50 мкм от края образца и составляет в среднем 72.64 HV в зерне и 7.13 HV в эвтектике. Анализ зависимостей дает основание сделать вывод, что микротвердость силумина в эвтектике больше, чем в зернах.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания 3.1283.2017/4.6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 301 с.
2. Громов В. .Е., Коновалов С. В., Аксенова К. В., Кобзарева Т. Ю. Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях / Новосибирск : Изд-во Сибирского отделения Российской академии наук, 2016. – 245 с.

ПОВЫШЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПУТЁМ ИХ ЛЕГИРОВАНИЯ

Буяновский И.А.¹, Хрущов М.М.¹, Левченко В.А.²

¹*ИМАШ РАН, Москва, Россия*

²*МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

buyan37@mail.ru

HARD CARBON COATINGS ANTIFRICTION PROPERTIES IMPROVEMENT BY ALLOYING

The efficiency of hard carbon coatings with different structure to improve the tribological performance of contacting surfaces of machine parts working in heavily loaded conditions has been analyzed. The possibility of increasing the antifriction and wear-resistant characteristics of these coatings by doping them with metals of the chromium subgroup of the Periodic table has been demonstrated.

Практика применения вакуумных ионно-плазменных покрытий на основе углерода показала их эффективность, как для снижения энергетических потерь при функционировании узлов трения различного назначения, так и для повышения долговечности контактирующих элементов этих узлов, включая, в том числе, возможности расширения диапазонов их работоспособности по нагрузкам и температурам. Создание наноструктурированных покрытий на основе негидрогенизированного или гидрогенизированного (в зависимости от используемой технологии) углерода (алмазоподобных, графитоподобных, наноалмазных и др.) является в этом плане одним из наиболее перспективных. В частности, алмазоподобные покрытия представляют интерес, благодаря нетипичному для традиционных трибологических материалов сочетанию высоких прочностных, износостойких и антифрикционных свойств при сухом трении поверхностей [1–3] и трении в режиме граничной смазки [4]. В режиме граничной смазки поверхности трения не разделены сплошным слоем смазочного материала. В таких условиях, когда в определенные моменты времени (при пуске-останове, в «мертвых» точках механизмов возвратно-поступательного движения и др.) или постоянно (при малых скоростях перемещения, высоких удельных нагрузках, температурах и геометрии, затрудняющей работу в режиме жидкостной смазки) работают многие узлы трения современных машин. Представленный доклад посвящен результатам исследований легированных твердых углеродных покрытий, выполненных в ИМАШ РАН в последние годы.

Эти работы ведутся по двум направлениям. Первое связано с созданием наноструктурированных металл-углеродных покрытий с разными типами нанокомпозитной структуры, легируемых металлами, главным образом, подгруппы хрома, способными образовывать карбиды и другие фазы внедрения при взаимодействии с химически-активными газами, применяемыми при магнетронном распылении, для работы в условиях сухого трения. В качестве легирующих элементов использовали хром, вольфрам, молибден (покрытия последнего получены химическим осаждением в среде кремнийорганических прекурсоров) и титан [5-7]. Также рассмотрен иной, не алмазоподобный, тип твердых углеродных покрытий [8], получаемый с использованием составных мишеней на основе хрома и наноалмазов детонационного синтеза. Показано, что в алмазоподобных покрытиях трибологическое поведение в значительной степени определяется размером включений фаз внедрения, образующихся при реактивном напылении в имеющей структуру аморфного углерода матричной фазе таких покрытий. В случае покрытий, полученных с использованием хром-наноалмазных мишеней, механизмы, определяющие их трибологическое поведение иные, чем в легированных металлами алмазоподобных покрытиях, и связаны с характером распределения и особенностями состояния углерода в этих покрытиях [8].