

УДК 621.791.92:669.018.25

ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ NI-CR-B-SI-FE/WC, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМ Al_2O_3

М.В. Радченко¹, Т.Б. Радченко¹, А.Н. Смирнов², К.В. Князьков³

¹Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

³Институт угля СО РАН, г. Кемерово

Приведён результат исследований и анализа изменения структурно-фазового состояния, механических и эксплуатационных свойств покрытий, полученных способом плазменно-порошковой наплавки сплавов системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC, модифицированных наноразмерными частицами Al_2O_3 .

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, модифицирование, наноразмерный, структурно-фазовый состав, механические свойства.

PLASMA-POWDER SURFACING WEAR-RESISTANT COATING OF NI-CR-B-SI-FE/WC, MODIFIED BY NANO-SIZED Al_2O_3

M.V. Radchenko¹, T.B. Radchenko¹, A. N. Smirnov², K.V. Kniazkov³

¹The Altai state technical university of I.I. Polzunov, Barnaul

²Kuzbass state technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo

³Institute of coal SB RAS, Kemerovo

The results of the research and analysis of structural and phase changes, mechanical and operational performance properties of the coatings, obtained by plasma-powder cladding of Ni-Cr-B-Si-Fe/WC alloys, modified nanoparticles Al_2O_3 are presented.

Keywords: plasma-powder cladding, modification, nano-sized, structurally-phase composition, mechanical properties.

Как известно, проблема интенсивного изнашивания деталей машин горнодобывающего оборудования, таких как ковши экскаваторов, бронеплиты защиты кузовов карьерных самосвалов и др. при эксплуатации в условиях ударно-абразивных нагрузок является чрезвычайно актуальной, так как под воздействием износа происходит разрушение рабочих поверхностей, что требует применения технологических мер по повышению их износостойкости.

В настоящее время защита рабочих поверхностей деталей машин горнодобывающего оборудования осуществляется преимущественно при помощи монтажа бронеплит, изготовленных из листов углеродистых сталей с защитными покрытиями, нанесенными различными способами наплавки. Толщина бронеплит находится в пределах от 20 до 30 мм при толщине основного металла от 10 до 20 мм, что существенно снижает производительность горнодобывающего оборудования.

Современные технологии нанесения защитных покрытий имеют недостаток в том, что

они направлены на повышение абразивной износостойкости поверхностей деталей машин, но не позволяют их эксплуатацию в условиях комбинированного ударно-абразивного изнашивания в связи с низкой стойкостью к ударным нагрузкам и преждевременному разрушению.

В данной статье представлены исследования влияния модификатора на формирование износостойких покрытий, выполненных плазменно-порошковой наплавкой (ППН) композиционного порошка ПС-12НВК-01. В качестве модификатора применяли наноразмерный Al_2O_3 . Для предотвращения агломерации наноразмерных частиц модификатора и композиционного наплавочного материала, смешивание выполняли в механоактивирующей мельнице АГО-3.

Для разработки технологии плазменно-порошковой наплавки были наплавлены контрольные образцы (рисунок 1). Наплавка производилась порошковым сплавом ПС-12НВК-01 и композиционными смесями ПС-12НВК-01

ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ
СИСТЕМЫ NI-CR-B-SI-FE/WC, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМ Al_2O_3

с 0,5-3,0% наноразмерного Al_2O_3 на режимах, представленных в таблице 1.

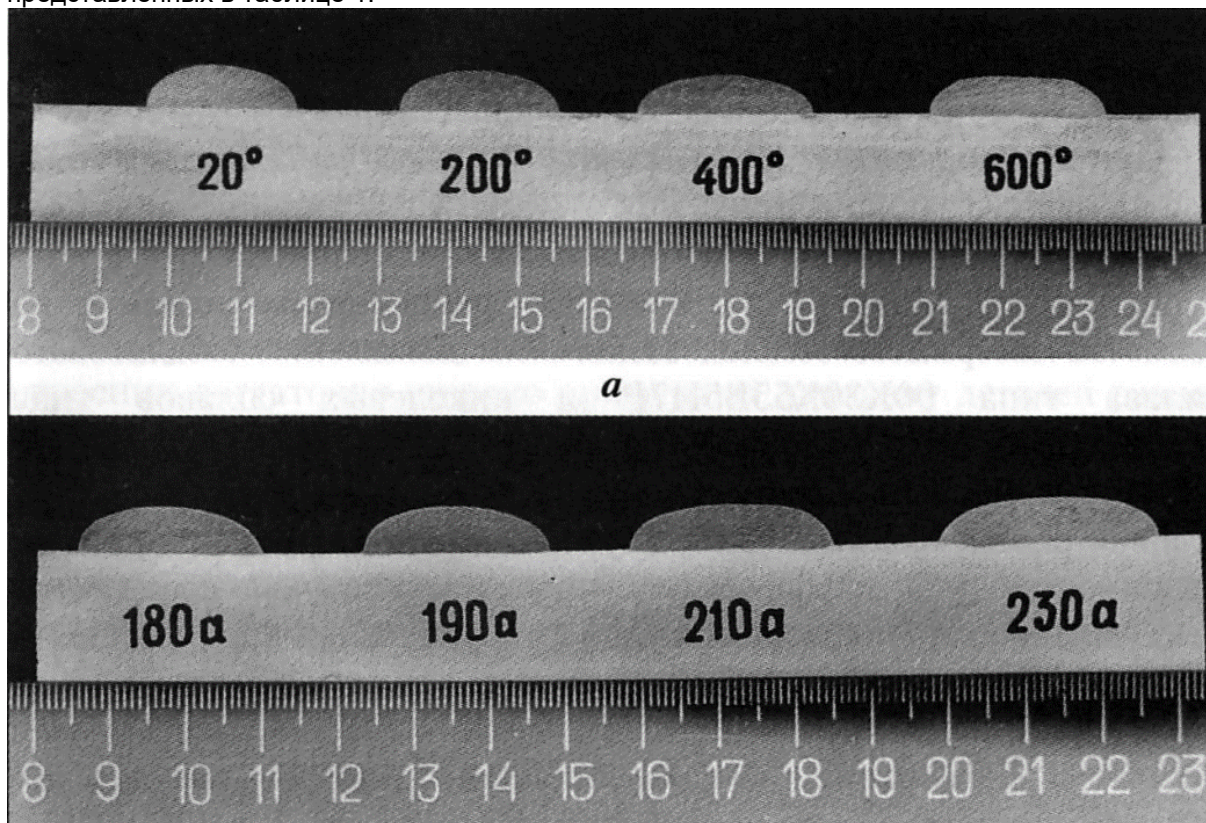


Рисунок 1 - Макрошлифы наплавленных валиков при различных токах дуги

Таблица 1 - Режимы ППН композиционным материалом системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC и композиционной смесью ПС-12НВК-01+ Al_2O_3

№ режима	I, А	$q_{пл}$, л/мин	$q_{тр}$, л/мин	q_3 , л/мин	v_H , м/ч	$G_{пр}$, кг/ч
1	80-85	1,0	3,0	15,0	6,0	3,0
2	100-105	1,0	3,5	15,0	8,0	3,5
3	120-125	1,5	4,0	15,0	9,0	4,0
4	140-145	1,5	5,0	15,0	10,0	5,0
5	155-160	1,5	5,0	15,0	12,0	6,0
6	170-175	2,0	6,0	15,0	18,0	7,0

Исследования качества наплавки выполнялись методами световой оптической микроскопии, рентгеноструктурного анализа, растровой электронной микроскопии, испытаниями на абразивное изнашивание и ударный изгиб.

При комплексном исследовании свойств модифицированных покрытий получены следующие результаты: 1) снижение доли дендритной структуры в области зоны сплавления вплоть до полного её исчезновения при количестве модификатора порядка 0,5-1,0%;

2) исключение трещинообразования; 3) повышение балла зерна упрочняющей фазы во всех зонах модифицированных покрытий.

Дальнейшие исследования, в частности фазовый анализ позволил выявить присутствие 5-и основных фаз: Fe-Ni, Ni-Cr-Fe, WC, W_2C и Fe_3Ni_3B (таблица 2). При этом основной фазой для всех видов образцов является пластичная матричная фаза (Fe-Ni), дополнительными упрочняющими фазами являются карбиды вольфрама и борид никеля и железа [2].

Таблица 2 - Тип фаз и их объемная доля в исследуемых защитных покрытиях

Образец	Фаза	Объемная доля фазы
Исходный	Fe-Ni	60%
	Ni-Cr-Fe	5%
	WC	35%
Модифицированный образец (0,5% масс. Al_2O_3)	Fe-Ni	65%
	W_2C	5%
	WC	30%
Модифицированный образец (1,0% масс. Al_2O_3)	Fe-Ni	65%
	W_2C	35%
	Fe_3Ni_3B	1-2%
Модифицированный образец (3,0% масс. Al_2O_3)	Fe-Ni	65%
	W_2C	35%

Для исследования износостойкости многофазных систем износостойких наплавочных сплавов, имеющих композиционную структуру, применяли методику абразивного изнашивания поверхностей образцов о жёстко закрепленные частицы абразива [3].

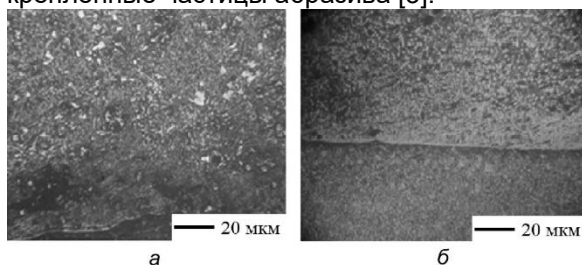


Рисунок 2 - Микроструктура наплавленных покрытий: а) немодифицированных, б) модифицированных

Результаты испытаний образцов позволяют установить, что увеличение количества модифицирующего компонента в смеси, который, в свою очередь, вызывает изменение структурно-фазового состава, приводит к снижению объема износа. При этом наблюдается существенный подъем износостойкости в образце с содержанием 1,0% масс. Данный образец обладает высоким, по сравнению с немодифицированным образцом, содержанием упрочняющей фазы в виде W_2C и большей

микротвердостью основы, что объясняет повышение сопротивляемости к абразивному изнашиванию.

Дальнейшие исследования были посвящены изучению влияния добавок наноразмерного модификатора Al_2O_3 на механические свойства наплавленных покрытий. На основании экспериментальных данных по микротвердости, сравнительной износостойкости разработанных покрытий и покрытий из известных материалов, ударной вязкости наплавленных покрытий при различном содержании наноразмерного модификатора были построены зависимости абразивной стойкости (относительной потери массы) от количественного содержания модификатора в смеси с композиционным материалом. Методика определения износостойкости предусматривает испытания образцов с различным содержанием модификатора и их износ относительно образца эталона, полученного при той же технологии наплавки (рисунок 3).

Согласно результатам испытаний, приведенным на графике, наиболее высокую износостойкость имеют покрытия, наплавленные при содержании модификатора в композиционной смеси 0,5; 1,0; 1,5% масс. При этом максимальная износостойкость наблюдается в образце, выполненном с 1,0% масс. модификатора в композиционной смеси [4].

ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ
СИСТЕМЫ NI-CR-B-SI-FE/WC, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМ Al_2O_3

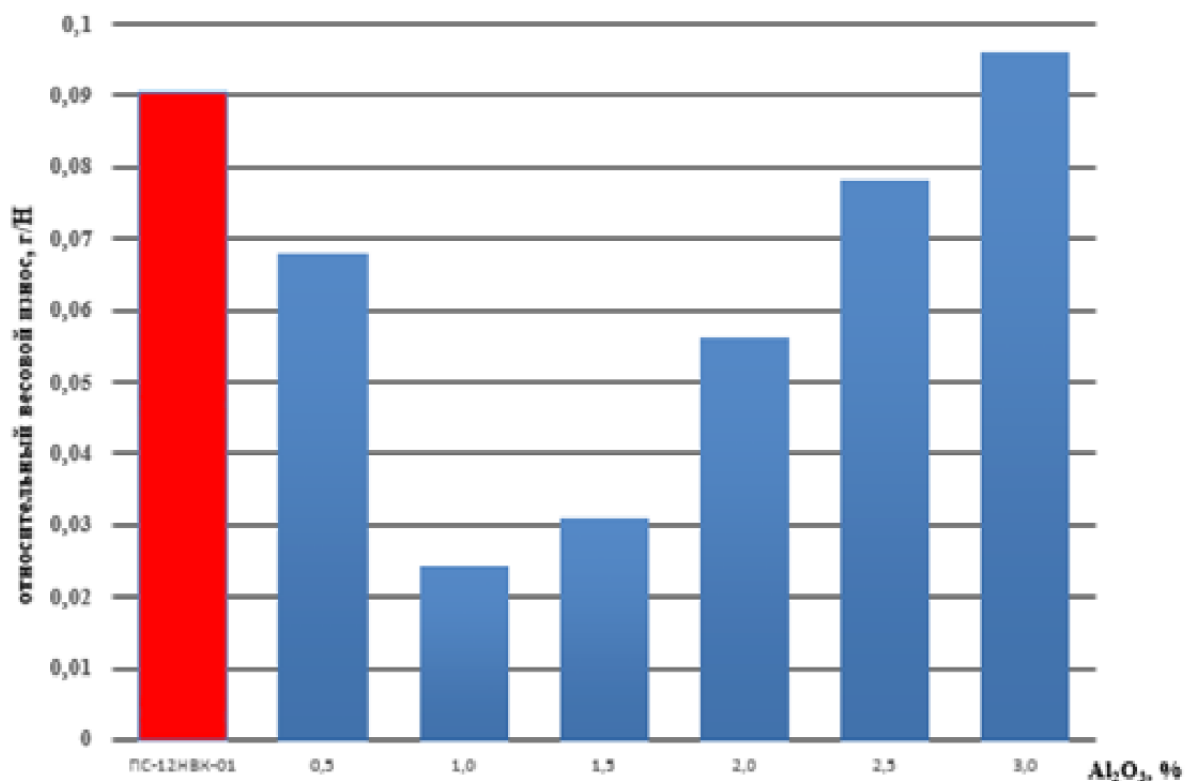


Рисунок 3 - Относительный весовой износ наплавленных покрытий с учетом различного содержания модифицирующего компонента в композиционном материале ПС-12НБК-01

Таким образом, исследования микро-структуры и механических свойств защитных покрытий подтверждают, что рациональным содержанием для повышения стойкости композиционных покрытий системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC является 1,0% масс. в композиционном материале ПС-12НБК-01.

Дальнейшие испытания на абразивную стойкость были выполнены с учетом таких наиболее распространенных упрочняющих материалов, как электроды для ручной дуговой наплавки Т-620 и порошковые прутки Релита на железной основе с содержанием 85% карбида вольфрама.

Результаты испытаний, представленные на рисунке 4, указывают на то что износостойкость покрытий, наплавленных Релитом несколько больше чем у разработанных модифицированных покрытий ПС-12НБК-01+1,0% Al_2O_3 . Однако известно, что защитные покрытия, наплавленные релитом, имеют высокую стоимость, превышающую примерно на 20-30% стоимость даже композиционных сплавов. А также такие покрытия не имеют возможности сопротивляться ударному износу, из-за отсутствия пластичности наплавленных покрытий.

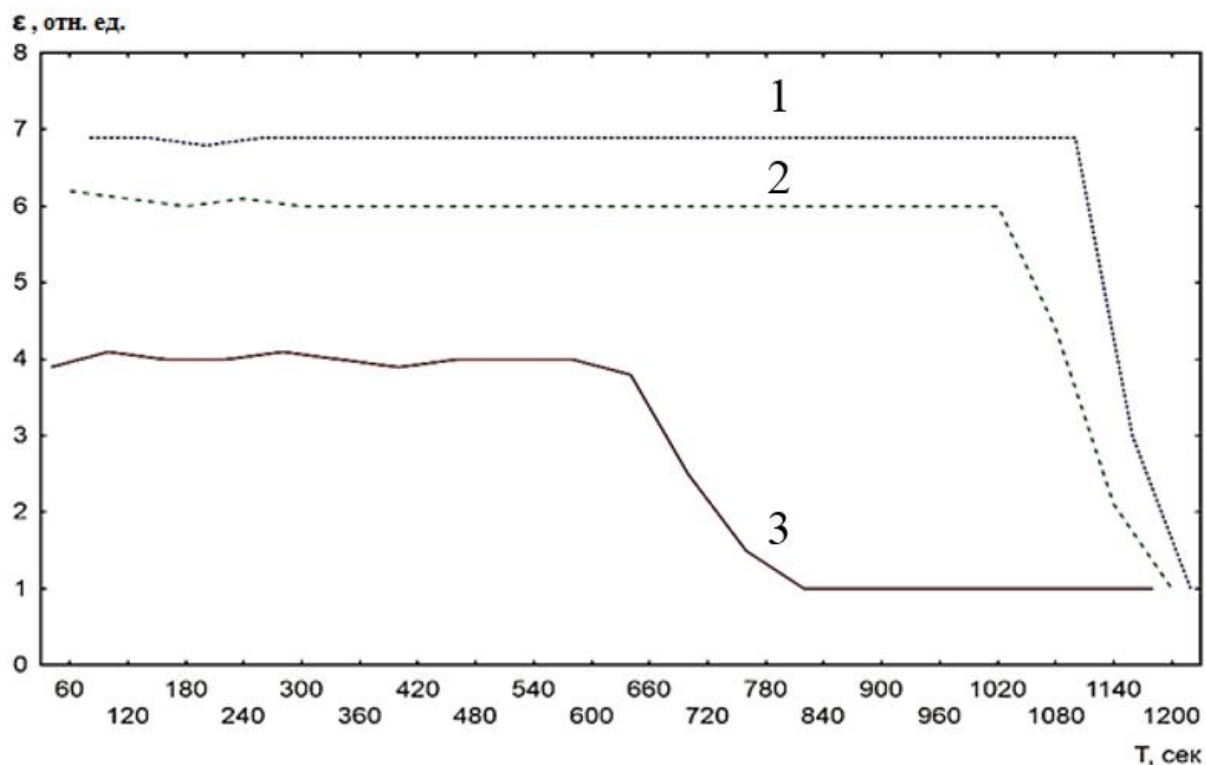


Рисунок 4 - Относительная износостойкость ε упрочняющих покрытий, выполненных: 1 – Релит (WC85%); 2 – ПС-12НВК-01+1,0% Al_2O_3 ; 3 – Т-620, при эталоне сталь 40 (в отожженном состоянии).

Испытания на ударную вязкость проводились для всех образцов наплавов защитных покрытий, а именно: с исходным композиционным материалом ПС-12НВК-01 и с композиционными смесями, содержащими 0,5-3,0% масс. наноразмерного модификатора. Анализ результатов испытаний подтверждают повышение стойкости защитных покрытий с содержанием модификатора 0,5- 2,0% масс. к ударным нагрузкам за счет всего совокупного влияния модификатора на структуру наплавленных покрытий (рисунок 5).

На рисунке 6 представлен характерный излом покрытий, наплавленных без модификатора и с использованием наноразмерного модификатора. В первом случае отчетливо виден хрупкий излом металла, на сколе которого находится крупный карбид, вероятно послуживший инициатором разрушения вследствие больших размеров и внутренних структурных напряжений.

Излом образца, наплавленного с модификатором, имеет типичный мелкоячеистый излом, характерный для структур с высокими показателями сопротивления ударному разрушению [5].

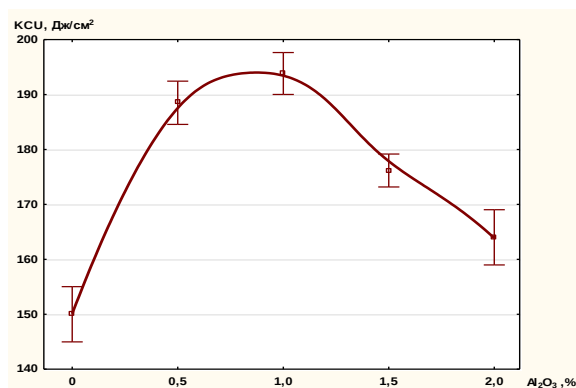


Рисунок 5 - Зависимость ударной вязкости наплавленных покрытий от содержания наноразмерного модификатора

Необходимо особенно отметить, что и в данном испытании содержание модификатора порядка 1% обусловило наибольшую ударную вязкость покрытий. Следовательно, сочетание лучших показателей твердости, износостойкости и ударной вязкости позволяет предположить, что покрытия, наплавленные на рациональном режиме с введением 1% наноразмерного Al_2O_3 , должны обеспечить лучшие по-

ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ
СИСТЕМЫ NI-CR-B-SI-FE/WC, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМ Al_2O_3

казатели при эксплуатации горнодобывающего оборудования с защитными покрытиями в условиях ударно-абразивного изнашивания.

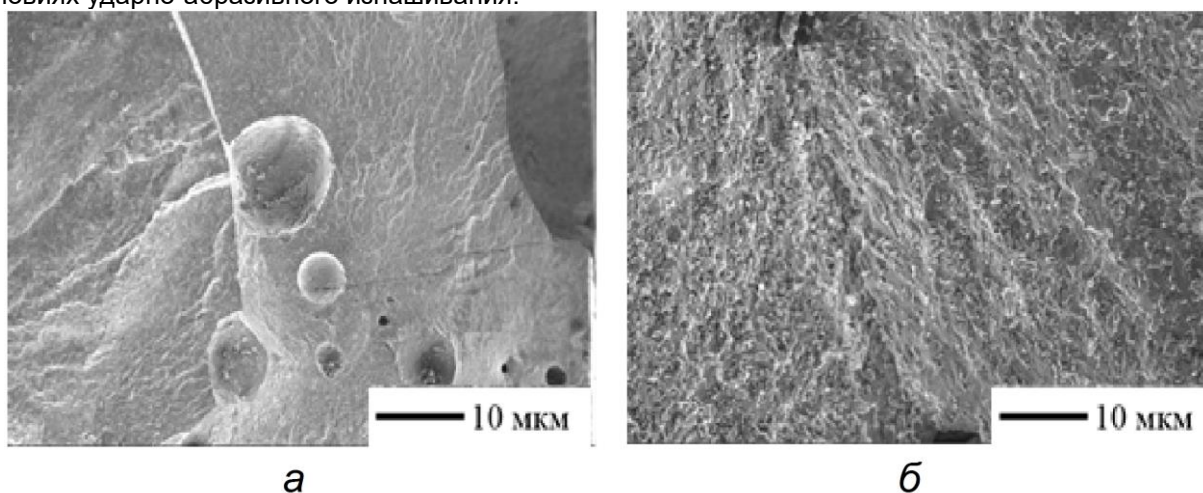


Рисунок 6 - Изображение характерных изломов образцов наплавленных покрытий:
а – без модификатора; б – с модификатором Al_2O_3

Таким образом, комплексные исследования структуры немодифицированных и модифицированных покрытий методами световой, электронной растровой, электронной просвечивающей микроскопии, определения балла зерна, рентгеноструктурного анализа, определения внутренних напряжений и скалярной плотности дислокаций в покрытиях показали практически однозначно положительное влияние введения наноразмерного Al_2O_3 модификатора на структурные изменения в защитных покрытиях.

При наплавке композиционными материалами, содержащими модификатор, обеспечивается формирование карбидонасыщенной структуры, имеющей примерно в два раза более высокие показатели микротвердости.

Необходимо особенно отметить, что при испытаниях на ударную вязкость и абразивную стойкость содержание модификатора порядка 1% также обусловило наибольшие показатели стойкости.

В результате, исследования микроструктуры и механических свойств защитных покрытий подтверждают, что рациональным содержанием для повышения стойкости композиционных покрытий системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC является 1,0% масс. в композиционном материале ПС-12НВК-01, что необходимо для обеспечения лучших показателей при эксплуатации горнодобывающего оборудования с защитными покрытиями в условиях абразивного изнашивания.

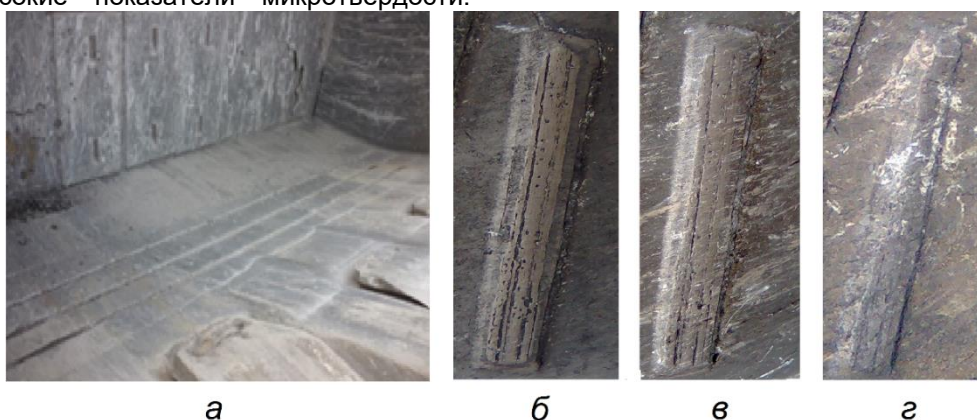


Рисунок 7 - Износ бронеплит ковша экскаватора: а - ковш экскаватора, б, в, г, д - изображения установленной бронеплиты, выполненной по разработанной технологии перед началом и после испытаний (через 6, 18, 24 месяца)

Разработанная технология модифицирования наноразмерным Al_2O_3 в процессе плазменно-порошковой наплавки была апробирована на ОАО «Черниговец». Применение разработанной технологии при изготовлении бронеплит для ковшей экскаватора Hitachi EX5500 емкостью 27 м³ (рисунок 7), подвергающихся ударным нагрузкам вследствие падения угольной породы общей массой до 40 тонн, показало, что разработанное покрытие имеет в 8 раз более высокую износостойкость по сравнению с покрытием, выполненным электродами Т-590, и в 1,2 раза – по сравнению с покрытием из релита. При этом расчёт показал, что при футеровке боковых стенок ковша с толщиной покрытий до 3 мм экономическая эффективность составит 2,6 млн. руб. в год при общей стоимости ковша 48 млн. руб.

Выводы

1. В результате экспериментальных технологических исследований определено рациональное содержание наноразмерного модификатора Al_2O_3 в композиционной смеси с ПС-12НВК-01 порядка 1%, что позволяет увеличивать абразивную стойкость защитных покрытий в 2,2 раза по сравнению с покрытиями, полученными исходной наплавочной смесью, а также повысить в 1,4 раза стойкость к ударным нагрузкам, что отвечает условиям длительной эксплуатации горнодобывающего оборудования.

2. Проведена производственная апробация разработанной технологии плазменно-порошковой наплавки на угольном разрезе ОАО

«Черниговец» (Кузбасс) с экономической эффективностью применения данной технологии (по оценке экономистов угольного разреза) 1,1 млн. руб. на один ковш.

Список литературы

1. Смирнов А. Н., Князьков В. Л., Радченко М.В., Козлов Э. В., Князьков К.В.. Повышение свойств плазменно-порошковых покрытий модифицированием наноразмерными частицами// Ползуновский вестник.- 2012.- № 1/1.-С. 127-130, 3 с.
2. Ползуновский вестник, 2012.- № 1/1.-С. 127-130, 3 с.
3. Князьков К.В. Разработка технологии модифицирования износостойких покрытий системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC в процессе плазменно-порошковой наплавки: Автореф. дисс. канд. техн. наук. 05.02.10 – М., 2015. – 18 с.
4. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко. – М.: Машиностроение, 2008. – 384 с.
5. К. В. Князьков, [и др.] Исследование износостойкости упрочняющих покрытий системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC модифицированных Al_2O_3 // Ползуновский альманах – 2012 – № 1 – С. 169-171.
6. Фридман, Я. В. Строение и анализ излома металлов / Я. В. Фридман, Т. А. Гордеева, А. М. Зайцев. – М.: МАШГИЗ, 1960. – С. 128.