

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НА ИЗНОС ПОКРЫТИЯ *Micro Melt NT-60* ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ

© 2011 А.А. Паркин, С.С. Жаткин, Е.А. Минаков

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 10.11.2011

В работе представлены результаты исследований на абразивный износ покрытия *Micro Melt NT-60*, сформированного плазменной порошковой наплавкой при токах дуги 70А, 85А и 100А. Определены некоторые закономерности износа в зависимости от формируемой структуры и свойств наплавленного материала, а также тока плазменной дуги. Установлены изменения элементного состава в наплавленном слое и показана его связь с износом материала.

Ключевые слова: плазменная наплавка, износостойкость, микроструктура, микротвердость, рентгеноспектральный микроанализ

Увеличение износостойкости буровых долот и других изделий различного целевого назначения является одной из главных производственных и научных задач. Одним из направлений решения данных задач является нанесение специальных износостойких покрытий различными методами, в том числе плазменно-порошковой наплавкой. К настоящему времени наиболее изучены методики нанесения и свойства различных твердосплавных покрытий, включая *Stellite*. В работах [1-6] представлены результаты исследований структуры и свойств (в том числе и испытания на абразивный износ) *Stellite 6*, *Stellite 12* и *Stellite 190W*, полученных в различных режимах плазменной наплавки. В меньшей степени изучены плазменно-наплавленные покрытия на основе композиционных материалов. Теоретический анализ износостойкости многокомпонентных и композиционных наплаваемых материалов осложняется отсутствием данных по их физико-механическим свойствам и, в частности, по их прочностным характеристикам.

В данной работе представлены результаты исследования по абразивному износу *Micro Melt NT-60* фирмы *CARPENTER*, наплавленного путем плазменно-порошковой наплавки при токах дуги 70А, 85А и 100А.

Основной состав исходного порошка – 60% *WC* и 40% *Ni*.

Методики испытаний и исследований. Плазменная наплавка *Micro Melt NT-60* проводилась на долотную сталь 19ХНЗМА на ручной плазменной установке ПМ-150М в защитном газе. После наплавки образцы подвергались шлифовке и полиров-

ке. Для наплавки применялся порошок с размером частиц 40 - 150 мкм.

Структура наплавленного материала исследовалась на оптическом микроскопе МИМ-8. Изучение микроструктуры и микроанализ зон наплавки проводились на аналитическом растровом электронном микроскопе *JSM-6390A* фирмы *JEOL*, измерение микротвердости осуществлялось по стандартной методике с использованием микротвердомера ПМТ-3. Испытания на линейный износ были проведены на установке Универсал-1А, собранной на базе сверлильного станка СС-13/350 [7,8]. Испытания проводились локально в четырех участках зоны наплавки (рис.1). Это связано с тем, что при плазменной наплавке величина тепловложения возрастала от начала к концу наплавки, что приводило к разогреву образца и к некоторому изменению условий формирования структуры и свойств наплавленного материала. Точка 1 (рис. 1) соответствует началу наплавки, а точка 4 – концу наплавки. Высота наплавленного слоя после шлифовки в зоне трения составила 0,4 мм. Контртело было изготовлено из стали 40Х (закалка до HRC 46-48) в виде трубки внешним диаметром 6 мм.

Испытания проводились при нормальной нагрузке в 26 кгс, в течение 10 минут, с частотой вращения шпинделя 600 об/мин. При испытаниях использовалась алмазная паста марки АСМ-3/2-НОМГ.

Результаты испытаний на износ. В табл. 1 представлены результаты испытаний наплавленного материала в различных зонах (рис.1) при токах плазменной дуги 70А, 85А и 100А. Площадь трения составляла $1,57 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$. Схема расположения зон трения показана на рис. 1.

Наибольший износ наплавленного материала, сформированного при токе плазменной дуги 70А, происходит в начале наплавки (зона трения №1), к концу наплавки происходило уменьшение величины износа (зона трения №4). Величина износа существенно отличается по ширине наплавленной дорожки - она значительно больше на ее внутреннем крае, чем на внешнем. С ростом тока дуги происходит

Жаткин Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии» E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru.

Паркин Анатолий Алексеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии» E-mail: laser@samgtu.ru

Минаков Евгений Александрович, аспирант кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии»

E-mail: laser@samgtu.ru, goodspik@narod.ru.

увеличение величины износа, при этом снижается разброс его значений по внутреннему и внешнему краю наплавленной дорожки. Наблюдается корреляция между изменением величин износа и коэффициента трения для различных зон трения, но в рамках одного образца. На рис. 2 представлена структура зон трения. В наплавленном материале *Micro Melt NT-60* при токе дуги 70А (рис.2, а) в зонах трения происходит увеличение плотности карбидов, что приводит к снижению величины износа (табл. 1). При токе дуги 85А (рис.2, б) произошло уменьшение плотности карбидов, что привело к увеличению величины износа.

Плотность карбидов и её изменение в зонах трения наплавленного *Micro Melt NT-60* при токе дуги 100А незначительно. Изменение размеров и плотности карбидов зависит от тока плазменной дуги и высоты зоны наплавки, что связано с их седиментацией.



Рис. 1. Расположение зон трения:

1 – начало наплавки; 4 – конец наплавки

На рис. 3 показано изменение микротвердости по высоте зоны наплавки. Микротвердость изменяется скачкообразно по высоте наплавки, что указывает на

неоднородность структуры, связанную с неравномерным распределением карбидной фазы. Наиболее равномерная структура формируется во внутренней зоне наплавки. Среднее значение микротвердости составляет $\langle H_{\mu} = 350-400 \text{ кг/мм}^2 \rangle$.

Поверхность трения (пунктирная линия) наплавленного *Micro Melt NT-60* при токе дуги 70А (рис.3, а) находится в области наибольшей плотности карбидной фазы, где микротвердость достигает 700 кгс/мм^2 . В соответствии с этим износ данной поверхности трения минимален (табл.1). При токах дуги 85А и 100А микротвердость поверхности трения в основном определяется твердостью никелевой связки, которая значительно ниже микротвердости зон с большим содержанием карбидной фазы. Соответственно износ данных поверхностей существенно выше. То есть величина износа зависит также от плотности карбидов и твердости никелевой основы. На рис.4 и в табл.2 представлены результаты исследований изменения микроструктуры наплавленного *Micro Melt NT-60* и микроэлементного состава по ширине, высоте наплавленного материала и непосредственно в зоне трения на высоте наплавленного материала, равным 0,4 мм. С увеличением тока плазменной дуги до 85А происходит измельчение карбидной фазы и увеличение ее плотности по объему. В тоже время при токе плазменной дуги 100А происходит рост карбидов и уменьшение их плотности. Это однозначно наблюдается на внешнем крае, но менее заметно на внутреннем крае наплавленной дорожки.

Таблица 1. Зависимость величины износа в различных зонах трения

№ зоны трения	I_1 , мкм	I_2 , мкм	$\langle I \rangle$, мкм	μ	$\Delta T^{\circ}\text{C}$
$I_d = 70\text{A}$					
1	58	29	43,5	0,11	10
2	29	27	28	0,09	11
3	15	33	24	0,09	7
4	8	5	6,5	0,071	8
			$\langle 25,5 \rangle$		
$I_d = 85\text{A}$					
1	51	20	35,5	0,1	10
2	50	22	36	0,1	11
3	55	23	39	0,11	7
4	58	25	41,5	0,1	8
			$\langle 38 \rangle$		
$I_d = 100\text{A}$					
1	62	21	41,5	0,077	8
2	65	15	40	0,069	6
3	59	13	36	0,054	5
4	56	12	34	0,046	8
			$\langle 38 \rangle$		

Примечание: I_1 – величина износа внутреннего края наплавленной дорожки, I_2 – величина износа внешнего края наплавленной дорожки.

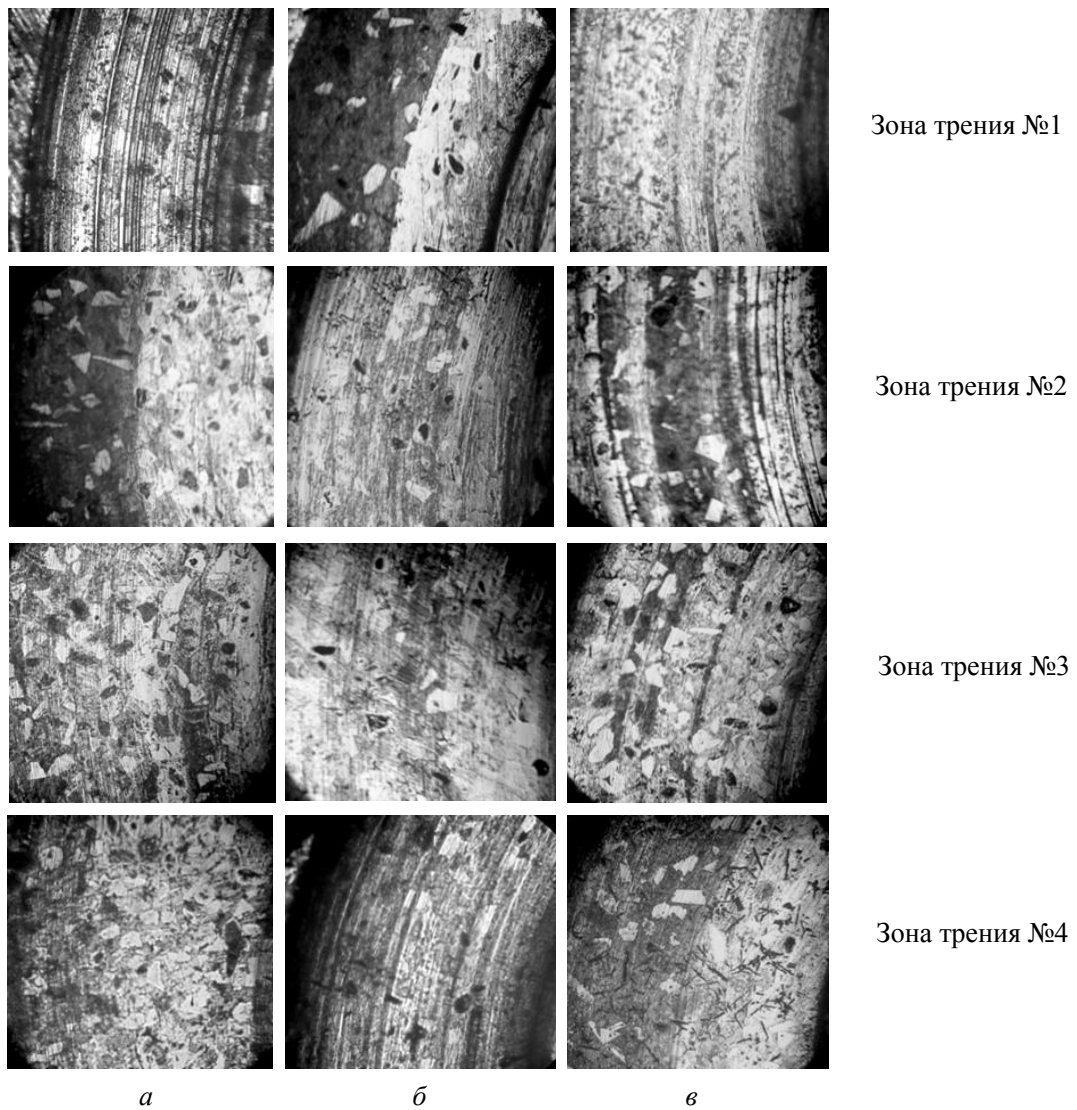


Рис. 2. Структура зон трения: а – $I_d = 70A$; б – $I_d = 85A$; в – $I_d = 100A$; $\times 105$.

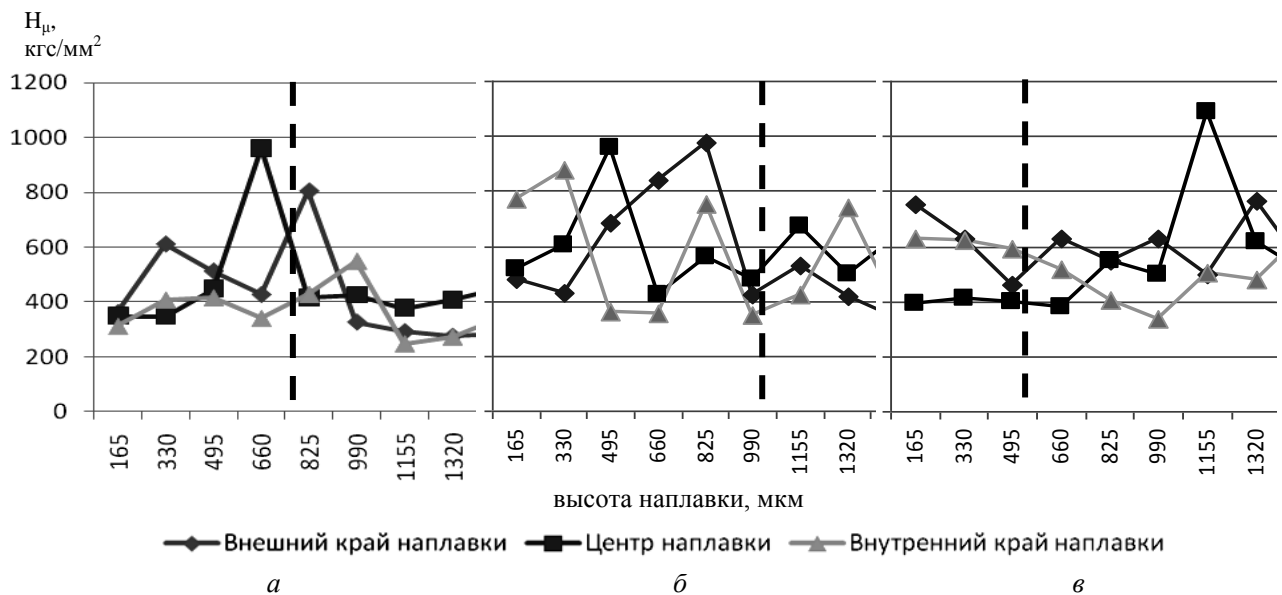


Рис. 3. Микротвердость наплавленного *Micro Melt NT-60* по высоте наплавки: а – $I_d = 70A$; б – $I_d = 85A$; в – $I_d = 100A$; пунктирная линия – зона трения.

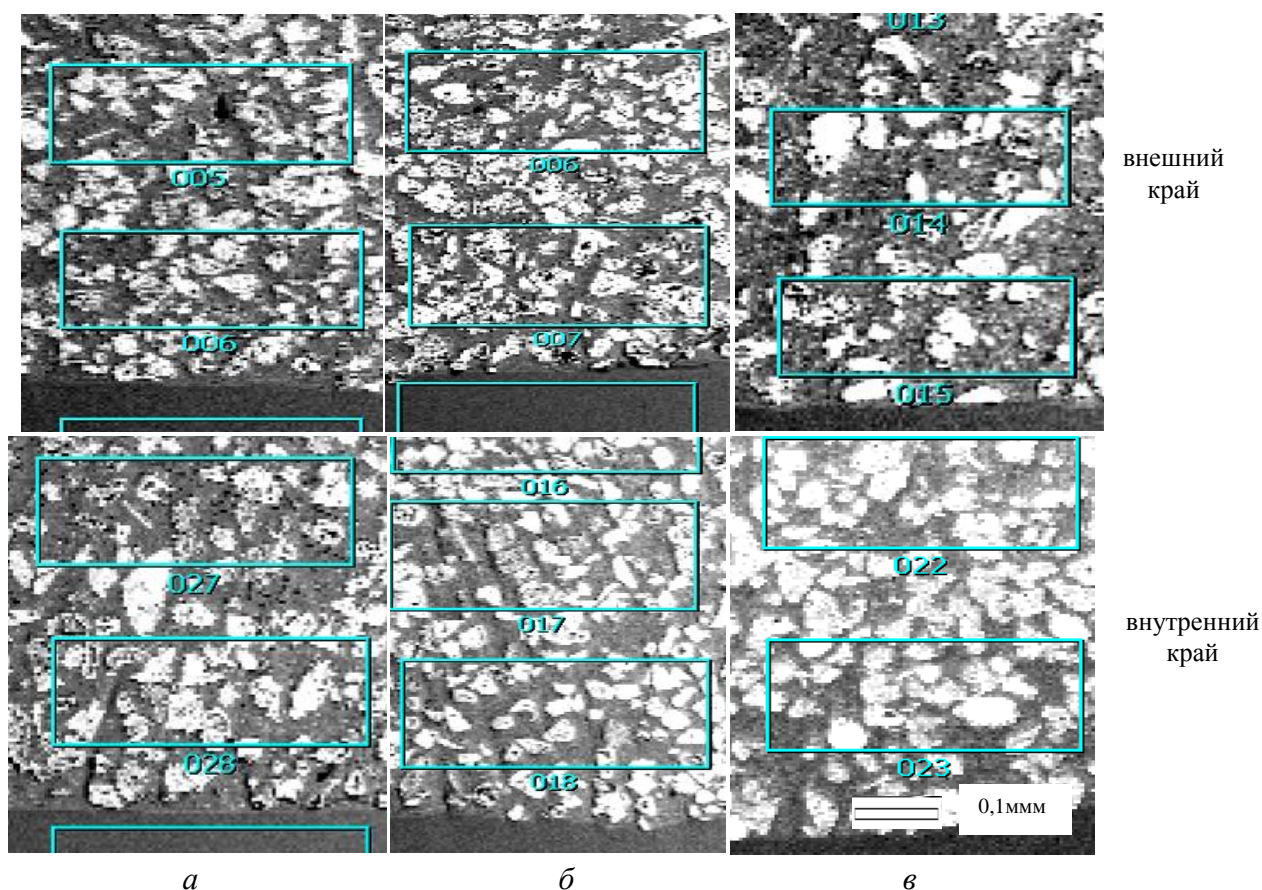


Рис. 4. Структура зоны наплавки по высоте: а – $I_d = 70A$; б – $I_d = 85A$; в – $I_d = 100A$.

Таблица 2. Элементный спектральный анализ по зонам

№ зоны Микроанализа	C	Cr	Fe	Co	Ni	W	Total(Mass%), зона наплавки
$I_d = 70A$							
5	2,99	0,36	13,85	0,06	41,55	41,18	100 (внешний край)
17	4,15	0,37	13,33	0,2	37,67	44,28	100 (внутренний край)
$I_d = 85A$							
2	3,19	0,38	20,94	0,06	33,6	41,83	100 (внешний край)
27	3,07	0,45	23,02	0,11	37,15	36,2	100 (нутренний край)
$I_d = 100A$							
13	3,41	0,53	36,22	0,3	38,4	21,14	100 (внешний край)
22	2,55	0,47	30,36	0,27	31,47	34,88	100 (нутренний край)

Непосредственно на поверхности зоны трения плотность мелких карбидов более высокая при токах дуги 70А и 85А.

Наблюдается также седиментация карбидов, особенно при токе плазменной дуги 100А, что приводит к резкому уменьшению карбидов в зоне трения (рис.4, верхняя граница) и соответственно

повышение их плотности от поверхности наплавленного материала ко дну ванны расплава. Данный экспериментальный факт может указывать на неравно-мерность величины износа наплавленного *Micro Melt NT-60* по высоте наплавки.

Повышение тока плазменной дуги вызывает возрастание неравномерности распределения элементного состава по ширине и глубине наплавленного *Micro Melt NT-60* - концентрации железа с ростом высоты зоны и тока дуги плазменной наплавки и уменьшение концентрации карбидов вольфрама. В целом это приводит к неравномерности износа наплавленного материала по ширине и высоте зоны наплавки, что подтверждается экспериментально в данной работе.

На рис. 5 представлено изменение микроструктуры наплавленного *Micro Melt NT-60* в зоне трения в зависимости от токов плазменной дуги. При плазменной наплавке с ростом тока дуги происходит измельчение карбидов вольфрама в результате их

распада и растворения в жидком связующем никеле. Данный процесс резко интенсифицируется при токах плазменной дуги выше 85А и более активно протекает на внутреннем крае наплаваемой дорожки.

Рентгеноспектральный микроанализ показывает, что наряду с карбидами вольфрама в зоне наплавки образуются карбиды железа (темные пластинчатые структуры), сложные карбиды или диффузионные области железа в карбиде вольфрама (темные области в карбидах вольфрама), растворы железо-никель, железо-никель – вольфрам (светлые вкрапления на темном фоне). Вольфрам в никеле растворяется в жидкой фазе в результате распада карбидов вольфрама.

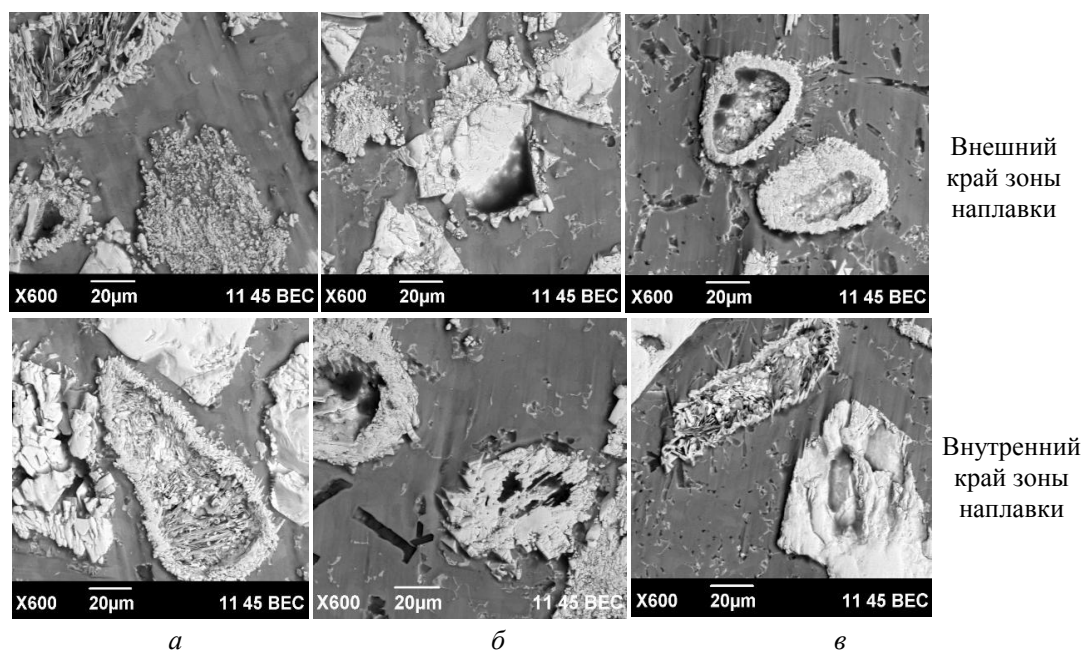


Рис. 5. Структура зоны наплавки по высоте: а – $I_d = 70A$; б – $I_d = 85A$; в – $I_d = 100A$.

То есть при плазменной наплавке в наплавленном *Micro Melt NT-60* происходит упрочнение никелевой связки за счет растворения в ней железа, вольфрама и мелких частиц карбида вольфрама, что соответственно приводит к увеличению ее твердости и уменьшению величины износа плазменно-наплавленного *Micro Melt NT-60*.

Выводы. На основе проведенных испытаний по локальному износу и комплексных экспериментальных исследований структуры, микротвердости, рентгеноспектрального анализа можно сделать следующие выводы:

1. Величина износа существенным образом зависит от времени и тока дуги плазменной наплавки. С ростом тока плазменной дуги величина износа возрастает.

2. На величину износа сильное влияние оказывает структура наплавленного слоя. С ростом плотности карбидов в зоне трения величина износа уменьшается.

3. Степень износа наплавленного *Micro Melt NT-60* зависит от твердости связующего материала, свойства которого изменяются в результате легирования вольфрамом, карбидами вольфрама, растворения в ней железа и образованием более сложных карбидов, таких как (Fe, W)C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паркин А.А., С. С. Жаткин, Минаков Е. А. Оптимизация технологии плазменной наплавки порошковых материалов. *Металлургия машиностроения*. – 2011. – № 1. – С.44-49.
2. Жаткин С. С., Паркин А.А., Минаков Е. А., Семин А.Б., Сибикин А.В., Скворцов А.А. Влияние расхода порошка и толщины подложки на процесс плазменной порошковой наплавки Stellite 190W на стали. // *Материалы 9 Международной практической конференции-выставки "Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов...."* Санкт-Петербург. 2010. – С.220-225.
3. Паркин А.А., Жаткин С. С., Макейкин И.В., Харымов А.А.,

- Писарев Д.А. Определение оптимальных режимов плазменной наплавки Stellite 12. //Материалы международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы трибологии". Самара. СамГТУ. 6 – 8 июня 2007 г. С. 121-124.
4. Ana Sofia C.M. D' Oliveira, Paulo Sergio C.P. da Silva, Rui M.C. Vilar. Microstructural features of consecutive layers of Stellite 6 deposited by laser cladding. // Surface and Coatings Technology 153 (2002) 203-209.
5. ZHU Yuan-zhi, YIN Zhi-min, TENG Hao. Plasma cladding of Stellite 6 powder on Ni76Cr19AlTi exhausting valve. // Trans. Nonferrous Met. Soc. China 17 (2007) 35-40.
6. Hazoor Singh Sidhu, Buta Singh Sidhu, S. Parkashc. Characteristic Parameters of HVOF sprayed NiCr and Stellite-6 coatings on the boiler steels using LPG as fuel gas. // International Journal of Engineering and Information Technology Copyright© 2010 waves publishers IJEIT 2010, 2(2), 133-139
7. Ибатуллин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев//Монография/И.Д. Иба-туллин – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 с.: ил. ISBN – 978-5-7964-1211-4.
8. Ибатуллин И.Д. Новые методы и приборы для экспрессной оценки энергетических параметров усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев. //Диссертация на соискание ученой степени д. т. н. Специальность: 01.04.01. Год: 2010.

INFLUENCE OF STRUCTURE AND PROPERTIES ON DETERIORATION OF COATING MICRO-MELT NT-60 AFTER PLASMA POWDER CLADDING

© 2011 A.A. Parkin, S.S. Zhathin, E.A. Minakov

Samara State Technical University

The work presents the results of researches of abrasive deterioration of coating Micro-Melt NT-60 formed by plasma powder cladding at currents of an arc 70 A, 85 A and 100 A. Some laws of deterioration depending on the formed structure and properties of clad material as well as the current of a plasma arc, are defined. Changes of element structure in clad layer are established, and its communication with material deterioration is shown.

Key words: Plasma weld deposit, wear resistance, microstructure, microhardness, microanalysis.

Sergey Zhatkin, Candidate of technological sciences, associate professor at the department of founding and high-performance processes.
E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru.

Anatoly Parkin, Candidate of technological sciences, professor at the department of founding and high-performance processes.
E-mail: laser@samgtu.ru.

Evgeny Minakov, postgraduate at the department of founding and high-performance processes.
E-mail: laser@samgtu.ru, goodspik@narod.ru.