

УДК 621.791.92

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ, СТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ И СВОЙСТВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА *Stellite 190W*

© 2011 Е.А. Минаков, С.С. Жаткин, А.А. Паркин, О.С. Фураев, В.Г. Климов

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 10.11.2011

Работа посвящена исследованию износостойкости плазменно-наплавленных покрытий из порошкового *Stellite 190W*, сформированных при токах плазменной дуги от 70 до 115 А. Определены некоторые закономерности изменения износостойкости в зависимости от режимов наплавки, условий теплоотвода, формируемой структуры и свойств наплавленного материала.

Ключевые слова: плазменная наплавка, износостойкость, микроструктура, микротвердость

Повышение износостойкости трущихся поверхностей в машиностроении - важная научная и производственная задача [1-5]. Износостойкость плазменных покрытий зависит от большого числа параметров - вида наплавленного порошкового материала, процентного содержания компонентов, тока плазменной дуги, скоростей наплавки и теплоотвода, микроструктуры, распределения компонентов сплава и его твердости по ширине и высоте наплавленного материала. Влияние многих параметров на получение покрытий с высокой износостойкостью для различных условий эксплуатации к настоящему времени не достаточно изучено и систематизировано.

Целью данной работы является установление влияния режимов плазменной наплавки, микроструктуры и свойств на износостойкость наплавленного порошкового материала *Stellite 190W*. Для установления влияния скорости охлаждения и, соответственно, микроструктуры, распределения компонентов сплава и свойств на износостойкость наплавка осуществлялась на медь и долотную сталь 19ХГНМА.

Методика плазменной наплавки описана в работе [1]. Плазменная наплавка на медь осуществлялась в режиме без сплавления с медной подложкой. Для наплавки применялись порошки с размером частиц

40 - 150 мкм. Ток плазменной дуги в эксперименте варьировался в пределах от 70...115А.

Состав и процентное содержание исходных компонентов наплавочного материала *Stellite 190W* представлен в табл. 1.

Испытания на абразивный износ были проведены на установке Универсал -1А, обеспечивающей через систему датчиков и средств регистрации непрерывный контроль нормальной нагрузки, момента трения, температуры испытуемого образца [4,5]. Испытания проводились локально в нескольких участках зоны наплавки (рис.1), материал контртела - трубка из стали 40Х (закалка до HRC 46-48) с внешним диаметром 6 мм и толщиной стенки 1 мм. Испытания проводились при нормальной нагрузке в 40 кгс в течение 10 минут с частотой вращения шпинделя 600 об/мин. При испытаниях использовалась алмазная паста марки АСМ-3/2-НОМГ, соответственно износ образца осуществлялся алмазным порошком дисперсностью 2-3 мкм. Площадь трения составляла  $1,57 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Исследование микроструктуры проводилось на аналитическом растровом электронном микроскопе JSM-6390А фирмы JEOL, измерение микротвердости осуществлялось по стандартной методике с использованием микротвердомера ПМТ-3.

**Результаты исследований и испытаний.** Для определения влияния микроструктуры на износостойкость плазменно-наплавленного порошкового материала *Stellite 190W* проведены модельные эксперименты наплавки на медный образец без сплавления. Результаты исследования микроструктуры наплавленного *Stellite 190W* представлены на рис. 2-6. На рис. 2 и 3 показаны микроструктуры в верхней части зоны наплавки и в зоне наплавки, непосредственной контактирующей с медными образцом, при скорости наплавки  $v_H = 1 \text{ мм/с}$ .

В верхней части зоны наплавки с ростом тока плазменной дуги до  $I_D = 100 \text{ А}$  наблюдается измельчение микроструктуры. Однако при токе дуги  $I_D = 115 \text{ А}$  обнаруживаются участки зоны наплавки с повышенными размерами карбидов (до 40-80 мкм)

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

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

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

Фураев Олег Сергеевич, студент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии»,

E-mail: ofuraev@yandex.ru.

Климов Вадим Геннадьевич, студент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии»,

E-mail: vadim3945@yandex.ru.

Таблица 1. Состав и процентное содержание компонентов порошка

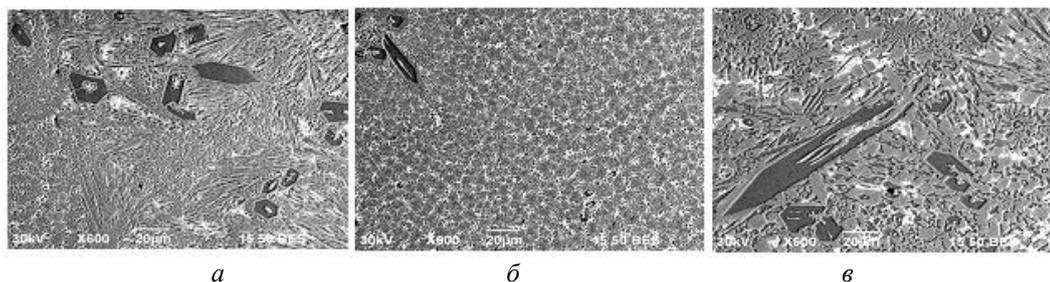
Мат-л	Co	Ni	Fe	C	Cr	Mn	Mo	Si	W	V
Stellite 190 W	Основа 48,5	До 3	Не более 5	3	24-28	1	-	0,1-5	12-16	-



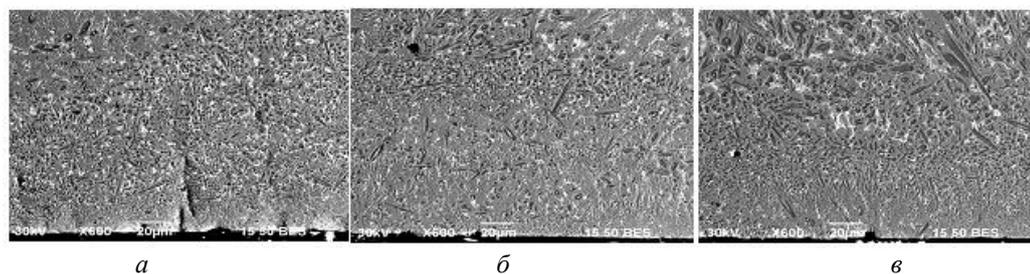
Рис. 1. Общий вид зон трения.

вытянутой формы и неоднородным их распределением по зоне наплавки.

В зоне наплавки в приграничной области с медной подложкой формируется мелкозернистая структура в результате более высокой скорости охлаждения из-за отвода тепла непосредственно в медную подложку. При этом происходит растворение карбидной фазы с более равномерным распределением в кобальтовой матрице. Размеры карбидов с 4-5 мкм уменьшаются до десятых долей микрометра. В целом тенденция изменения микроструктуры наплавленного *Stellite 190W* с ростом плазменной дуги сохраняется.

Рис. 2. Микроструктура наплавленного на медь *Stellite 190W*:

а -  $I_d = 85A$ ; б -  $I_d = 100A$ ; в -  $I_d = 115A$ ; верх зоны наплавки;  $v_H = 1$  мм/с.

Рис. 3. Микроструктура наплавленного на медь *Stellite 190W*:

а -  $I_d = 85A$ ; б -  $I_d = 100A$ ; в -  $I_d = 115A$ ; низ зоны наплавки;  $v_H = 1$  мм/с.

На рис.4. представлена микроструктура наплавленного *Stellite 190W* при токах плазменной дуги  $I_d = 85A$ ,  $100A$  и скорости наплавки  $v_H = 5$  мм/с.

С ростом скорости наплавки до  $v_H = 5$  мм/с микроструктура наплавленного *Stellite 190W* достаточно резко измельчилась, особенно это заметно при токе плазменной дуги  $I_d = 100A$ . В приграничной области с медной подложкой при токе дуги  $I_d = 100A$  сформировались наноструктурированные области. На рис. 5 представлена микроструктура наплавленного *Stellite 190W*, сформированная при токах плазменной дуги 85, 100 и скорости наплавки  $v_H = 7$  мм/с. Повышение скорости наплавки с  $v_H = 5$  мм/с до  $v_H = 7$  мм/с вызвало дальнейшее измельчение микроструктуры, наноструктурированные области при  $I_d = 100A$  увеличились по ширине и высоте зоны наплавки. На рис. 6. представлены микроструктуры *Stellite 190W*, наплавленного на долотную

сталь 19ХГНМА при скорости наплавки  $v_H = 10$  мм/с за счет сканирования плазмотрона.

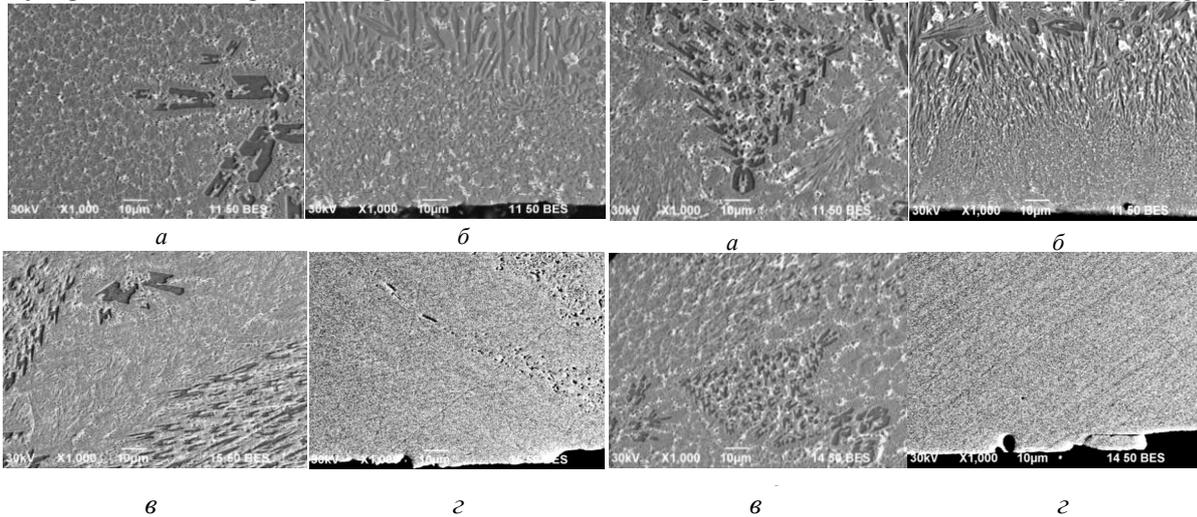
При повышении тока плазменной дуги также, как и при наплавке на медную подложку, происходит измельчение микроструктуры наплавленного сплава. В то же время структура наплавленного сплава на подложку из стали 19ХГНМА остается более крупнозернистой, несмотря на значительно более высокую скорость наплавки.

В целом на формирование микроструктуры оказывает значительное влияние величина тока плазменной дуги и величина теплоотвода в материал подложки, то есть его теплофизические свойства. Скорость наплавки на формирование микроструктуры зоны наплавки оказывает меньшее влияние.

**Изменение микротвердости.** При плазменно-порошковой наплавке *Stellite 190W* на медную под-

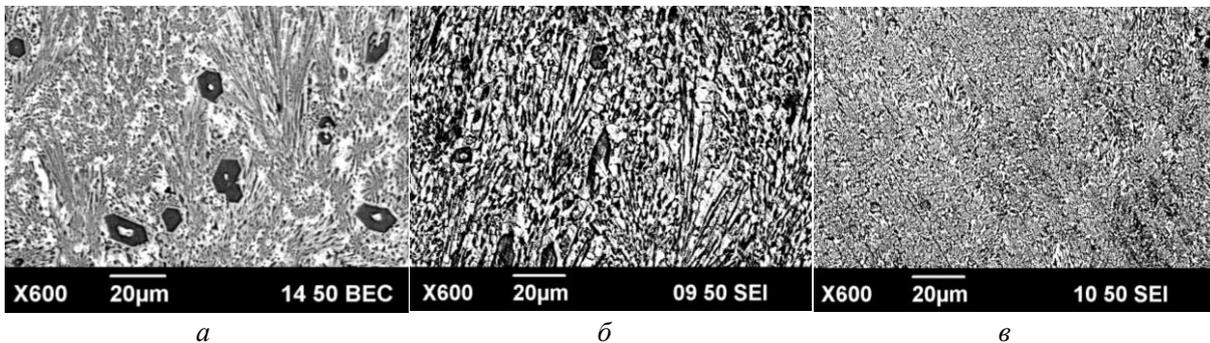
ложку происходит возрастание среднего значения

микротвердости (рис.7). Значение микротвердости

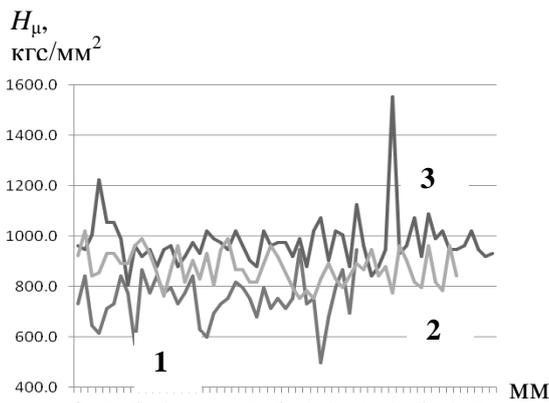


**Рис. 4.** Микроструктура наплавленного на медь *Stellite 190W*: а, б -  $I_D = 85A$ ; в, г -  $I_D = 100A$ ; а, в – верх наплавки; б, г - низ наплавки;  $v_H = 5$  мм/с.

**Рис. 5.** Микроструктура наплавленного на медь *Stellite 190W*: а, б -  $I_D = 85A$ ; в, г -  $I_D = 100A$ ; в – верх наплавки; б, г - низ наплавки;  $v_H = 7$  мм/с.



**Рис. 6.** Микроструктура наплавленного на сталь 19ХГНМА *Stellite 190W*: а -  $I_D = 70A$ ; б -  $I_D = 85A$ ; в -  $I_D = 100A$ ; середина наплавки;  $v_H = 10$  мм/с.



**Рис. 7.** Зависимость микротвердости наплавленного *Stellite 190W* на медную подложку от тока плазменной дуги: 1- $I_0=80A$ ; 2- $I_0=100A$ ; 3- $I_0=115A$ .

по глубине наплавки практически не изменяется. Максимальное среднее значение микротвердости достигается при токе плазменной дуги 100А.

Величина среднего значения микротвердости наплавленного *Stellite 190W* на медную подложку дос-

тигает: при скорости наплавки 5 мм/с:  $H_\mu = 1350$  кг/мм<sup>2</sup> ( $I_D = 80A$ );  $H_\mu = 1290$  кг/мм<sup>2</sup> ( $I_D = 100A$ ); при скорости наплавки 7 мм/с:  $H_\mu = 1200$  кг/мм<sup>2</sup> ( $I_D = 80A$ );  $H_\mu = 1370$  кг/мм<sup>2</sup> ( $I_D = 100A$ ).

Для плазменно-наплавленного *Stellite 190W* на сталь 19ХГНМА микротвердость изменяется в пределах 500-800 кг/мм<sup>2</sup> для токов дуги 70-115А и скорости наплавки 10мм/с. С ростом тока плазменной дуги с 70 А до 100А при наплавке на подложку из стали 19ХГНМА микротвердость повышается с 500 кг/мм<sup>2</sup> до 800 кг/мм<sup>2</sup>, при этом происходит уменьшение величины микротвердости по высоте наплавке и разброса значения микротвердости по ширине зоны наплавки [1].

Результаты величины износа в зависимости от тока дуги, скорости наплавки и микротвердости представлены в табл. 2. Из табл.2 видно, что величина износа *Stellite 190W*, наплавленного на сталь 19ХГНМА, в 2-5 раза выше, чем при наплавке на медную подложку. Величина износа при наплавке на сталь 19ХГНМА практически линейно коррелирует с изменением микротвердости материала, что указывает на абразивную природу износа. Износ

наплавленного сплава *Stellite 190W* на медь зависит от скорости наплавки и тока плазменной дуги. От

скорости наплавки величина износа зависит не линейно.

**Таблица 2.** Результаты испытаний на линейный износ и микротвердость наплавленного материала

Материал	Ток наплавки (А)	$\langle \Delta h \rangle$ изн. (мкм)	$\langle H_{\mu} \rangle$ , кгс/мм <sup>2</sup>
<i>Stellite 190W</i> ( $v_H=10$ мм/с, наплавка на 19ХГНМА)	70	88	500
	85	114	700
	100	91	800
<i>Stellite 190W</i> ( $v_H=5$ мм/с, наплавка на медь)	80	20,6	1350
	100	21,8	1290
<i>Stellite 190W</i> ( $v_H=7$ мм/с, наплавка на медь)	80	24,8	1200
	100	29,6	1370
<i>Stellite 190W</i> ( $v_H=1$ мм/с, наплавка на медь)	85	49,1	600-800
	100	60,6	850-1150
	115	51,3	800-1000

С ростом скорости наплавки до  $v_H=5$ мм/с величина износа уменьшается, дальнейшее повышение скорости наплавки приводит к некоторому увеличению значения износа. При увеличении тока плазменной дуги с  $I_0=80$ А до  $I_0=100$ А для всего диапазона скоростей происходит некоторое повышение величины износа. Отсутствие однозначной корреляции между изменением скорости наплавки, тока плазменной дуги и износа может указывать непосредственно на влияние структурного фактора.

На рис. 8-10 представлены диаграммы износа микроструктуры плазменно-наплавленного *Stellite 190W* в зоне трения. В процессе испытаний на износ плазменно-наплавленного материала *Stellite 190W* на медную подложку реализуется автоколебательный режим трения.

Период колебаний в процессе трения увеличивается, при этом с определенной синхронностью наблюдается рост амплитуды колебаний нормальной нагрузки, температура зоны трения достигает своего максимума на участке спада амплитуды колебаний.

В работе [2] данный режим описывается как неравномерное относительное скольжение фрикционных элементов со скоростью  $V$  заданного равномерного перемещения одного из элементов, а состоит из последовательного чередования двух различных этапов: этапа относительного покоя фрикционных элементов и этапа скачка – неравномерного относительного скольжения их. Скорость скольжения при скачке может достигать значительных величин и намного превышать величину  $V$ . В зависимости от относительной длительности этапов график колебательного процесса может быть либо близким к синусоидальному, либо пилообразным. Этот процесс износа типичен для упругодеформированных материалов, что характерно для материалов с высокой твердостью, что соответствует экспериментальным результатам. Во время этапа относительного покоя

происходит накопление потенциальной упругой энергии в системе, во время этапа скачка происходит самопроизвольная упругая разгрузка с переходом запасенной упругой энергии в работу силы трения. Для того чтобы упругая разгрузка была возможной, необходимо чтобы сила трения скольжения была меньше силы трения покоя в момент срыва.

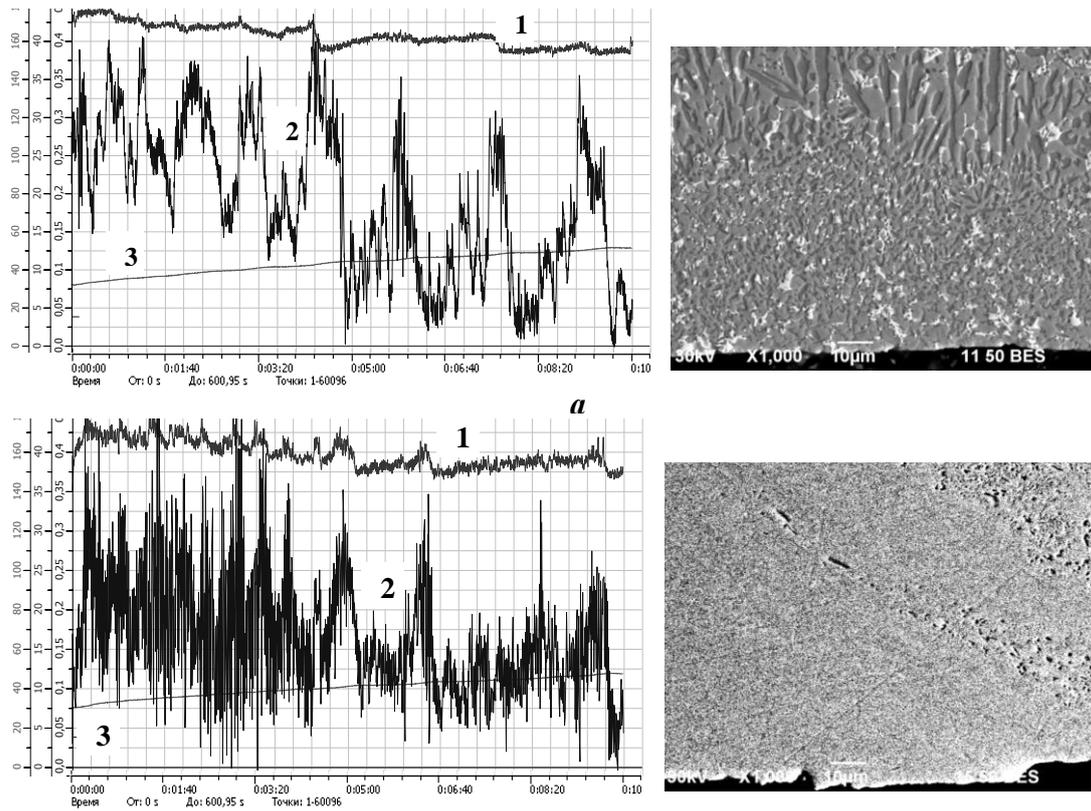
Анализ изменения диаграмм износа и микроструктур наплавленного *Stellite 190W* в зоне трения показывает их однозначную связь. Изменение амплитуды колебаний, вероятно, связано с износом крупнодисперсных карбидов. В то же время возникновения относительно высокочастотных колебаний на диаграмме износа можно объяснить с износом мелкозернистой структуры, размер которой значительно меньше размера абразивного порошка алмаза с дисперсностью 2 – 3 микрометра. Из рис. 8-9 видно, что при наплавке *Stellite 190W* на медь с уменьшением дисперсности структурных элементов высокочастотная составляющая на диаграмме износа все менее проявляется и наоборот.

**Выводы.** На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

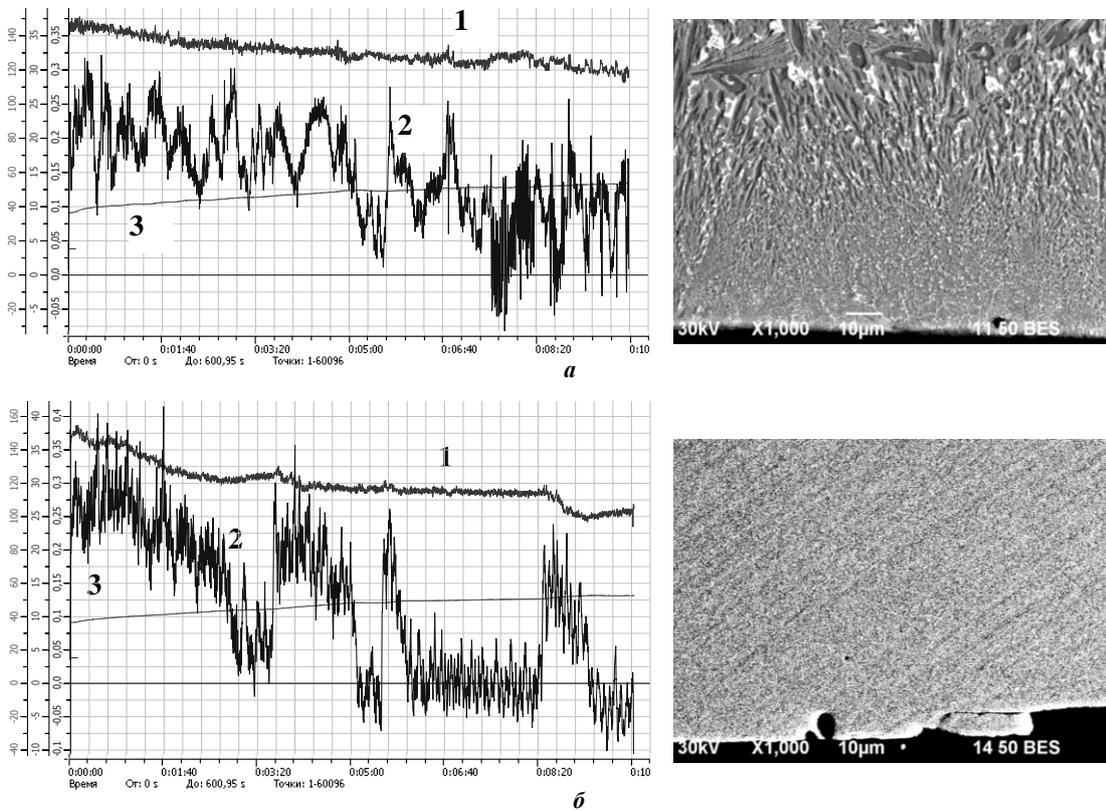
1. В условиях высокоскоростного теплоотвода при наплавке *Stellite 190W* на медную подложку формируется неоднородная микроструктура. При этом наиболее дисперсная структура с наноструктурированными областями образуется в зоне контакта наплавленного слоя с медной подложкой.

2. Повышенная дисперсность структуры при наплавке на медную подложку обеспечивает более высокую твердость наплавленного *Stellite 190W*. При этом микротвердость повышается до 1350-1400 кгс/мм<sup>2</sup> по сравнению с наплавкой на долотную сталь.

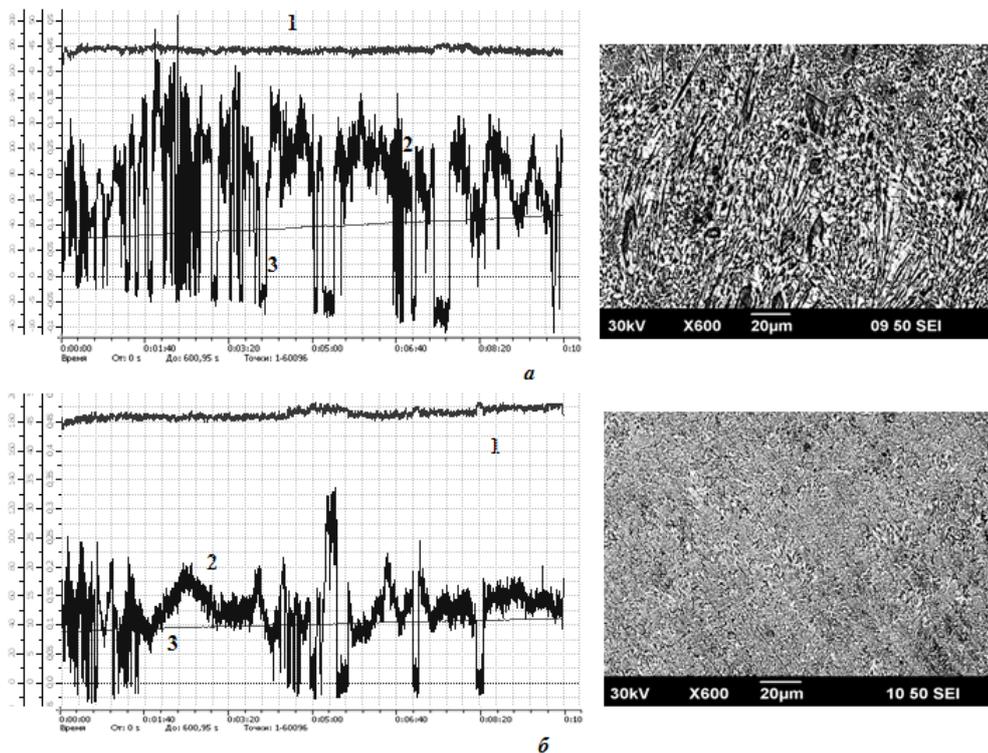
3. Формирование высокодисперсной микроструктуры *Stellite 190W* при наплавке на медь снижает износ наплавленного материала в 3-4 раза по сравнению с наплавкой на стальную подложку.



**Рис. 8.** Диаграмма износа и микроструктура плазменно-наплавленного на медь порошка *Stellite 190W*: а- $I_0=80A$ ; б- $I_0=100A$ ;  $v_H=5mm/c$ ; 1-нормальная нагрузка, кгс; 2-момент трения, Н\*м; 3-температура,  $^{\circ}C$ .



**Рис. 9.** Диаграмма износа и микроструктура плазменно-наплавленного на медь порошка *Stellite 190W*: а- $I_0=80A$ ; б- $I_0=100A$ ;  $v_H=7mm/c$ ; 1 - нормальная нагрузка, кгс; 2-момент трения, Н\*м; 3-температура,  $^{\circ}C$ .



**Рис. 10.** Диаграмма износа и микроструктура плазменно-наплавленного на сталь 19ХГНМА порошка *Stellite 190W*: а- $I_d=85\text{A}$ ; б- $I_d=100\text{A}$ ;  $v_H=10\text{мм/с}$ ; 1-нормальная нагрузка, кгс; 2-момент трения, Н\*м; 3-температура, °С

#### 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. Амосов А.П. Теплофизические модели трения инертных и взрывчатых материалов. – М.: Машиностроение, 2011. – 363 с., ил.
3. И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский. *Трибология. Физические основы, механика и технические приложения*: Под ред. Д.Г. Громаковского; Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2000. 268 с.
4. Ибатуллин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев //Монография / И.Д. Ибатуллин – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 с.: ил. ISBN – 978-5-7964-1211-4.
5. 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 PLASMA CLADDING MODES, STRUCTURAL FACTORS AND PROPERTIES ON WEAR RESISTANCE OF CLAD POWDER MATERIAL *Stellite 190W*

E.A. Minakov, S.S. Zhathin, A.A. Parkin, O.S. Furayev, V.G. Klimov

Samara State Technical University

The work deals with the research of wear resistance of plasma clad layers of the powder *Stellite 190W*, generated at currents of plasma arc from 70 to 115 A. Some laws of wear resistance change depending on cladding modes, heat conductivity conditions, formed structure and clad material properties, are defined.

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

*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: la-ser@samgtu.ru, goodspik@narod.ru.*

*Oleg Furayev, student. E-mail: ofuraev@yandex.ru.*

*Vadim Klimov, student. E-mail: vadim3945@yandex.ru.*