

3. Табаков В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента // Монография. – М.: Машиностроение, 2008, – 310 с.
4. Albano Cavaliero, Jeff Th. M. De Hosson Nanostructured coatings: монография – USA: Springer, 2006, – 671 с.
5. Верещака А.А., Верещака А.С., Зинченко Г.В., Козлов А.А., Устинов А.А. Инновационные функциональные покрытия для режущего инструмента: статья // М.: ИКТИ РАН, МГТУ «СТАНКИН», МГТУ «МАМИ», 2012. – 12 с.
6. Максимов Ю.В., Бубликов Ю.И., Верещака А.А., Верещака А.С., Хаустова О.Ю., Козлов А.А., Ходжаев О. Нанодисперсные многослойно-композиционные покрытия для режущих инструментов / Известия МГТУ «МАМИ», № 2 (14), т. 2, с. 222 – 230. – М.: МГТУ «МАМИ», 2012. – 377 с.
7. B.F. Coll, R. Fontana, A. Gates, P. Sathrum Materials Science and Engineering A140, p. 816 – 824. – USA: Elsevier, 1991.
8. S. PalDey, S.C. Deevi Single layer and multilayer wear resistant coating of (Ti,Al)N // Materials Science and Engineering A342, p. 58 – 79. – USA: Elsevier, 2003.
9. E. Lugscheider, C. Barimani, C. Wolff, S. Guerreiro, G. Doepper Surface and Coatings Technology, № 86 – 87, p. 177 – 183. – USA: Elsevier, 1996.
10. L.A. Donohue, W.D. Munz, D.B. Lewis, J. Cawley, T. Hurkmans, T. Trinh, I. Petrov, J.E. Greene Surface and Coatings Technology, № 93, p. 69 – 87. – USA: Elsevier, 1997.
11. H.G. Prengel, A.T. Santhanam, R.M. Penich, P.C. Jindal, K.H. Wendt Surface and Coatings Technology, № 94 – 95, p. 597 – 602 /. – USA: Elsevier, 1997.
12. D.Y. Wang, C.L. Chang, K.W. Wong, Y.W. Li, W.Y. Ho Surface and Coatings Technology, № 120 – 121, p. 388 – 394. – USA: Elsevier, 1999.
13. Дачева А.В. Повышение режущих свойств инструмента путем выбора рациональных сочетаний параметров сплавов ВПК и наноструктурированных функциональных покрытий: диссертация. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2011.

УДК 621.791.957.55: 621.89

### **Структура и износостойкость многослойного карбидосодержащего покрытия после ацетиленокислородной наплавки**

к.т.н. проф. Паркин А.А., к.т.н. доц. Жаткин С.С., Минаков Е.А., Семин А.Б.  
Самарский государственный технический университет «СамГТУ», ОАО «Волгабурмаш»  
8 (846) 332-42-27, [laser@samgtu.ru](mailto:laser@samgtu.ru), [sergejat@mail.ru](mailto:sergejat@mail.ru), [goodspik@yandex.ru](mailto:goodspik@yandex.ru),  
8 (846) 220-89-38, [a.seminar.dtc@gmail.com](mailto:a.seminar.dtc@gmail.com)

*Аннотация.* Работа посвящена исследованию структуры, механических свойств и износостойкости многослойного покрытия, сформированного ацетиленокислородной наплавкой из карбидосодержащего прутка, порошкового материала с подслоем никеля. Установлены зависимости изменения величины износа от структуры наплавленного материала и условий наплавки.

*Ключевые слова:* ацетиленокислородная наплавка, износостойкость, микроструктура, микротвердость, рентгеноспектральный микроанализ, карбиды вольфрама.

#### **Введение**

Долговечность изделий во многом определяется износостойкостью их рабочих поверхностей различных элементов, которая часто обеспечивается определенными физико-химическими методами обработки поверхности [1 – 4]. В частности, в буровых долотах ре-

сурс их эксплуатации во многом определяется износостойкостью зубцов, для повышения которой часто используется наплавка твёрдыми и сверхтвёрдыми сплавами из порошковых и прутковых материалов. Ниже изложены результаты исследований и испытаний образцов, полученных ацетиленокислородной наплавкой карбидосодержащего гибкого прутка (шнура) (состав: 60% карбида вольфрама и 40% никеля с добавками хрома, кремния), порошка (состав: 80% карбида вольфрама и 20% никеля с добавками хрома, кремния). Наплавка проводилась с подслоем и без подслоя никеля.

### Методики эксперимента

Наплавка осуществлялась на образцы цилиндрической и прямоугольной формы толщиной 15 мм из стали 19ХГНМА (19ХНЗМА-В). Использование литых твердых сплавов в качестве износостойких покрытий, полученных ацетиленокислородной наплавкой, позволяло решать вопросы наплавки на детали сложной формы и сохранять свойства наплавляемого материала в исходном состоянии.

Целесообразность применения покрытий из карбидосодержащих материалов обусловлена их высокой твердостью, сопротивляемостью абразивному износу и теплопроводностью, обеспечивающей быстрый отвод тепла вглубь материала заготовки в процессе наплавки и эксплуатации детали.

Для установления влияния различных факторов на свойства наплавленных материалов наплавка производилась по различным схемам:

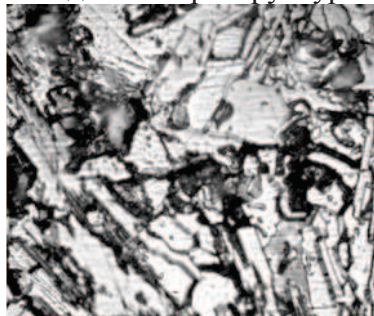
- 1) без подслоя никеля наплавлялся компактный материал в виде гибкого прутка (шнура) из композиционного материала 60WC40Ni (образцы №№ 1, 2, 9, 10);
- 2) без подслоя никеля наплавлялся компактный материал в виде гибкого прутка (шнура) из композиционного материала 60WC40Ni с последующей наплавкой композиционного порошкового материала 80WC20Ni (образцы №№ 7, 8);
- 3) с подслоем из порошкового никеля и компактного материала в виде гибкого прутка (шнура) из композиционного материала 60WC40Ni (образцы №№ 3, 4);
- 4) с подслоем из порошкового никеля, компактного материала в виде гибкого прутка (шнура) из композиционного материала 60WC40Ni с последующей наплавкой композиционного порошкового материала 80WC20Ni (образцы № 5, 6).

В работе проведены оптические исследования микроструктуры; измерения микротвердости; рентгеноспектральный микроанализ наплавленных материалов; проведены локальные испытания на абразивный износ по методикам, изложенным в работах [5-9].

### Результаты исследований и их анализ

#### Исследования микроструктуры наплавленных зон

На рисунке 1 представлена исходная микроструктура наплавляемого гибкого прутка.

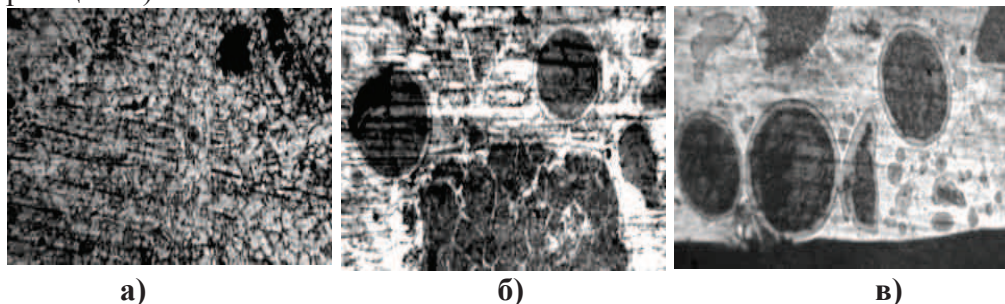


**Рисунок 1. Микроструктура наплавляемого гибкого прутка состава 60WC40Ni (x800)**

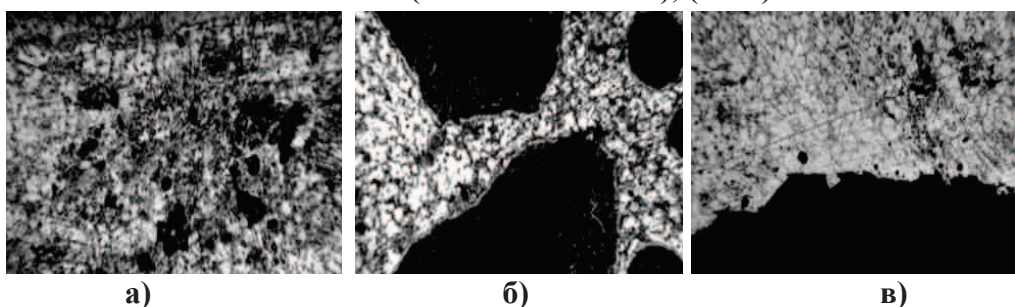
Исследования микроструктуры позволили установить форму и размеры карбидов для различных условий наплавки (рисунки 2, 3 и 4).

Измерения микротвердости показали, что при наплавке гибким прутком (шнуром) без подслоя никеля микротвердость никелевой связки изменяется в пределах 350 – 650 кг/мм<sup>2</sup>, а

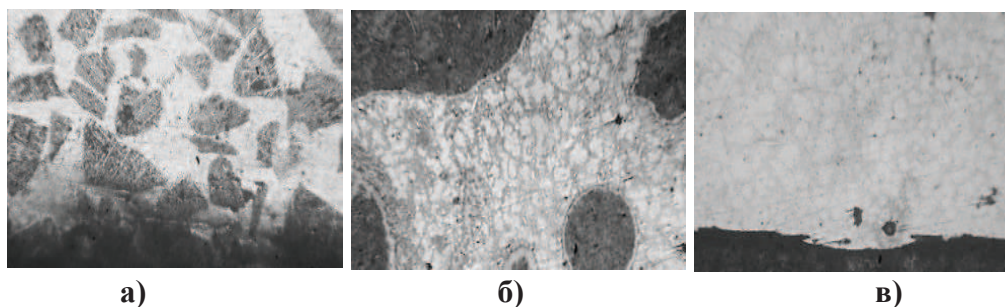
карбидов вольфрама прутка – 1350 – 2450 кг/мм<sup>2</sup> (образец № 1). При наплавке шнура с подслоем никеля микротвердость никелевого подслоя составляла 165 – 245 кг/мм<sup>2</sup>, никелевой связки шнура – в пределах 412 – 732 кг/мм<sup>2</sup>, а карбидов вольфрама шнура – 1144 – 1648 кг/мм<sup>2</sup> (образец № 3). При наплавке шнуром с порошком и подслоем никеля микротвердость никелевой связки изменяется в пределах 447 – 730 кг/мм<sup>2</sup>, а карбидов вольфрама 1523 – 2128 кг/мм<sup>2</sup> (образец № 5).



**Рисунок 2. Микроструктура наплавленного материала (образец № 2, без подслоя никеля - шнур): а – верх зоны наплавки; б – середина зоны наплавки; в – низ зоны наплавки (зона сплавления), (x105)**



**Рисунок 3. Микроструктура наплавленного материала (образец № 4, подслой никеля+шнур): а – верх зоны наплавки; б – середина зоны наплавки; в – низ зоны наплавки (зона сплавления) (x105)**



**Рисунок 4. Микроструктура наплавленного материала (образец № 5, подслой никеля +шнур + порошок): а – верх зоны наплавки; б – середина зоны наплавки; в – низ зоны наплавки (зона сплавления) (x105)**

Для образца № 7 (наплавка шнуром и порошковым материалом без подслоя никеля) микротвердость карбидов вольфрама наплавленного шнура составляла 1144 – 2708 кг/мм<sup>2</sup>, а карбидов вольфрама наплавленного порошка – в пределах 2128 – 2575 кг/мм<sup>2</sup>.

На образце № 9 (наплавка гибким прутком без подслоя никеля) наблюдался минимальный разброс значений микротвердости. При этом в структуре наплавленного слоя преобладали карбиды сферической формы с микротвердостью 1523 – 1648 кг/мм<sup>2</sup> и незначительное количество карбидов неправильной формы твердостью в пределах 1400 – 1715 кг/мм<sup>2</sup>.

#### **Результаты проведения элементного микроанализа**

На рисунке 5 показаны области образца № 7 (наплавка без подслоя шнуром (60WC 40Ni) + порошок (80WC 20Ni)), в которых проводился элементный микроанализ.



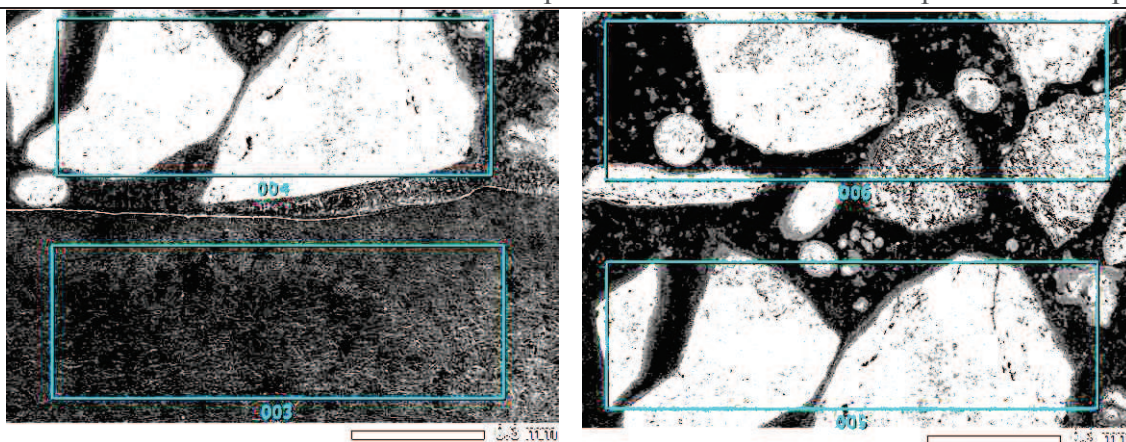


Рисунок 5. Структура и схема элементного микроанализа зон наплавки образца без подслоя никеля: 003 – зона материала матрицы; 004 – зона дна наплавленной ванны из гибкого шнура; 005 – зона наплавленного шнура; 006 – зона наплавленного порошка

Таблица 1

Элементный состав различных зон наплавки, %mass

Элемент зоны	C	O	Si	Cr	Fe	Ni	W	Total
003	1.82	0.44	0.03	2.42	92.83	1.62	0.85	100.00
004	3.41	1.03	8.41	0.93	6.15	7.42	72.64	100.00
005	2.43	0.59	8.08	1.66	5.64	11.27	70.33	100.00
006	2.50	0.97	7.33	2.87	5.15	24.42	56.49	100.00

Элементный микроанализ (таблица 1) показал: состав материала матрицы (зона 3) практически соответствует составу материала заготовки 19ХНЗМА-В. В зоне 4, у дна ванны расплава, наблюдаются крупные карбиды размерами 400-600 мкм. При этом в местах осаждения крупных карбидов глубина проплавления подложки наибольшая и составляла 0,1 – 0,2 мм. При этом в наплавленном слое наблюдается значительное количество железа до 6,15%, что указывает на восходящую диффузию его из материала заготовки. К середине зоны наплавки (зоны 5, 6) по ее высоте процентное содержание железа уменьшается, однако остается достаточно высоким (5,15%), что может существенно повлиять на свойства наплавленного материала.

На рисунке 6 показаны зоны 7 элементного анализа подслоя никеля образца № 5 (наплавка с подслоем Ni + шнур 60WC 40Ni + порошок 80WC 20Ni).

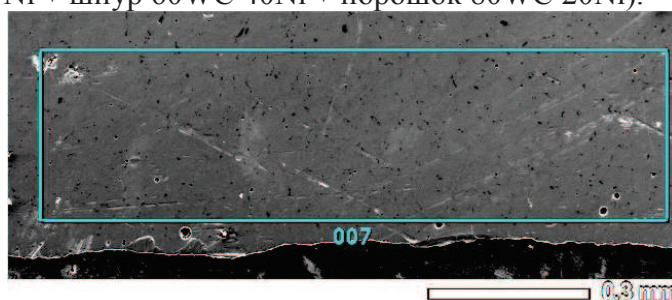


Рисунок 6. Элементный анализ подслоя никеля (образец № 5)

Таблица 2

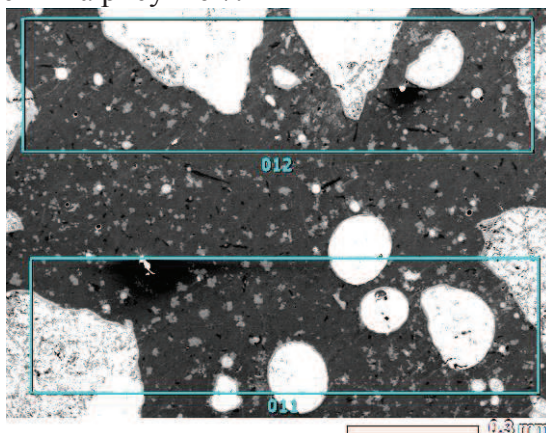
Элементный состав подслоя никеля, %mass

Элементы зоны	C	O	Si	Mn	Cr	Fe	Ni	W	Total
007	0.41	0.00	2.12	0.56	9.44	2.27	85.21	0.00	100.00

Анализ элементного состава подслоя никеля показывает низкое содержание в нем же-

леза, что указывает на отсутствие его активной диффузии из материала заготовки.

Микроструктура и зона элементного анализа наплавленного прутка состава 60WC 40Ni (зона 11), а также наплавленного порошкового карбида вольфрама состава 80WC20Ni (зона 12) образца № 5 представлены на рисунке 7.



**Рисунок 7. Микроструктура наплавленного гибкого прутка 60WC 40Ni (зона 11) и наплавленного порошкового карбида вольфрама 80WC20Ni (зона 12) образца № 5**

Результаты элементного анализа зон 11 (60WC 40Ni) и 12 (80WC20Ni) образца № 5, наплавленного с подслоем никеля представлены в таблице 3.

Таблица 3

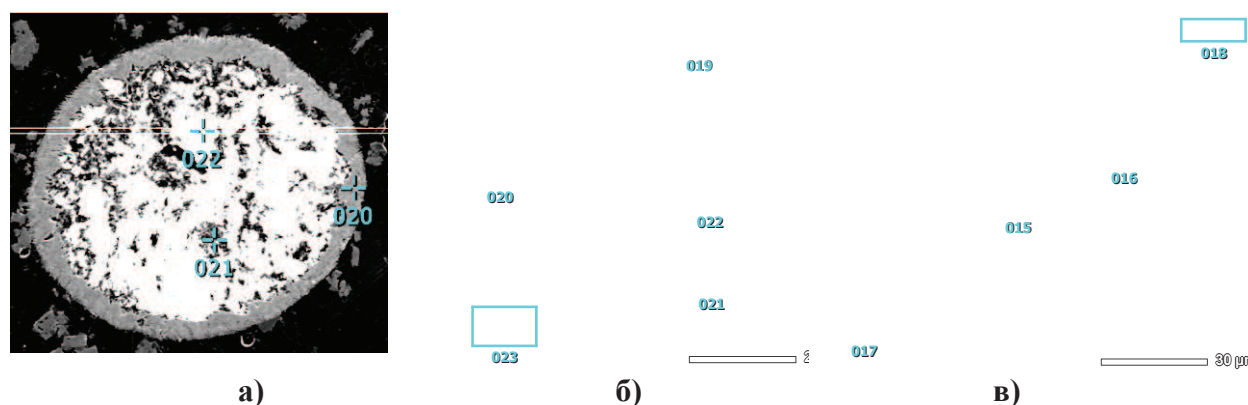
**Элементный состав наплавленного 60WC 40Ni и 80WC20Ni, mass%**

Состав/зона	C	O	Si	Mn	Cr	Fe	Ni	W	Total
011	1.43	0.3	5.23	0.42	5.07	2.18	50.93	34.31	100.00
012	1.27	0.23	4.57	0.10	5.11	2.65	52.01	33.96	100.00

Из таблицы 3 видно, что процентное содержание железа остается на уровне его содержания в исходном материале, то есть подслоем никеля препятствует его восходящей диффузии из материала заготовки. В связующем никеле установлено наличие хрома порядка 5% и кремния до 5%.

В работе проведен сравнительный анализ микроструктуры и элементного состава наплавленных карбидов вольфрама после АКН, а также микроструктуры и элементного состава карбидов вольфрама порошка MicroMelt NT-60 после плазменной наплавки.

На рисунке 8 представлены микроструктуры карбидов вольфрама после АКН и плазменной наплавки.



**Рисунок 8. Микроструктура карбида вольфрама: а) после АКН, б) после плазменной наплавки, в) при токе плазменной дуги 85А; б) зона сплавления; в) середина наплавленного валика**

При ацетиленокислородной наплавке наблюдается небольшой перегрев внешнего контура карбида вольфрама. В то же время после плазменной наплавки происходит сильный пе-



регрев карбидов вольфрама, приводящий к изменению их микроструктуры и частичному растворению в связующем никеле.

Результаты элементного анализа состава карбидов вольфрама после АКН представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Элементный состав наплавленного карбида вольфрама после АКН, %mass**

Состав/№ зоны	C	O	W	Total
020	2.12	0.08	97.8	100.00
021	1.60	0.16	98.23	100.00
022	1.68	0.23	98.09	100.00

В состав карбида вольфрама входят в основном вольфрам и углерод.

Результаты элементного микроанализа карбидов вольфрама в различных зонах после плазменной наплавки приведены в таблице 5.

Таблица 5

**Элементный состав наплавленных карбидов вольфрама MicroMelt NT-60 после плазменной наплавки при токе плазменной дуги 85А, %mass**

Состав/№ зоны	C	Si	Fe	Ni	W	Вероятная фаза
020	11,9	3,8	7,09	2,35	73,72	Карбид вольфрама - никель-железо
019	8,26	4,72	1,34	0,48	84,59	Карбид вольфрама
016	12,58	2,41	18,77	17,35	47,87	Карбид вольфрама – никель-железо

В состав карбида вольфрама зоны № 20 (рисунок 8б), находящегося непосредственно около зоны сплавления (дно ванны расплава), наряду с вольфрамом и углеродом входит значительное количество железа – 7,09% и кремния 3,8%.

В состав карбида вольфрама зоны № 19 (рисунок 8б), удаленного от зоны сплавления (дна ванны расплава), наряду с вольфрамом и углеродом входит незначительное количество железа – 1,34% и кремния 4,72%.

Перегретый карбид вольфрама зоны №16 (рисунок 8в), расположенный ближе к поверхности валика, содержит высокое количество никеля – 17,35%, железа 18,77%, то есть в перегретых карбидах вольфрама происходит интенсивное растворение материала связки и железа. Поэтому можно предположить, что свойства таких карбидов вольфрама будут существенно отличаться от свойств исходных карбидов.

**Испытания на абразивный износ**

Сравнительные результаты испытаний на износ при АКН и плазменной наплавки представлены в таблице 6.

Величина износа существенным образом зависит от формы направленных карбидов вольфрама. Округлая форма уменьшает величину износа, что может быть обусловлено проскальзыванием частиц абразива (порошок алмаза 2 – 3 мкм) по поверхности карбидных частиц наплавленных материалов; сферические карбиды вольфрама, как правило, имеют меньше микротрещин и меньшую величину внутренних напряжений. Сравнительный анализ износа с плазменной наплавкой показывает, что при АКН наплавке износ наплавленного материала ниже.

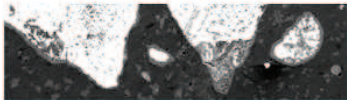

На рисунках 9 и 10 приведены диаграммы испытания образцов № 8 и № 9.

Диаграмма износа образца № 8 (рисунок 9), в котором сформирована микроструктура карбидной фазы угольчатой неправильной формы, имеет вид чередующихся всплесков различной амплитуды. При этом износ в течение пяти минут трения возрастал, затем резко падал и имел форму с меньшей частотой всплесков и далее продолжал расти. Наличие чередующихся всплесков на диаграмме износа (момента трения) может быть обусловлено вначале упругим торможением алмазных частиц (2 – 4 мкм) на неровностях карбидов вольфрама не-

правильной формы (рост амплитуды момента трения) с последующим вырыванием частиц карбидов вольфрама или проскальзыванием алмазных частиц (уменьшение амплитуды момента трения).

Таблица 6

**Сравнительные результаты испытаний на износ наплавленных шнура (60Wc40Ni) и порошка (80Wc20Ni) при АКН и CARPENTER MicroMelt NT-60 при плазменной наплавке**

№№ образца	8	9
Состав наплавленного материала	Без подслоя никеля WC60%+Ni40%(шнур) + WC80%+Ni20%(порошок)	Без подслоя никеля, WC60%+Ni40%(шнур)
Структурный фактор	Карбиды вольфрама средних размеров (100-250 мкм) с равномерным распределением 	Глобулярные карбиды вольфрама, размерами до 400 – 1100 мкм 
Средняя величина износа, мкм, (за 600 секунд трения при размере алмазного порошка 2-3 мкм и силе нагрузке FH = 10 кгс).	22 ÷ 23	15 ÷ 17
Средняя величина износа при плазменной наплавке CARPENTER MicroMelt NT-60 по трем зонам трения, мкм:	Ток дуги 70А - 31 Ток дуги 85 А - 37 Ток дуги 100 А - 39	

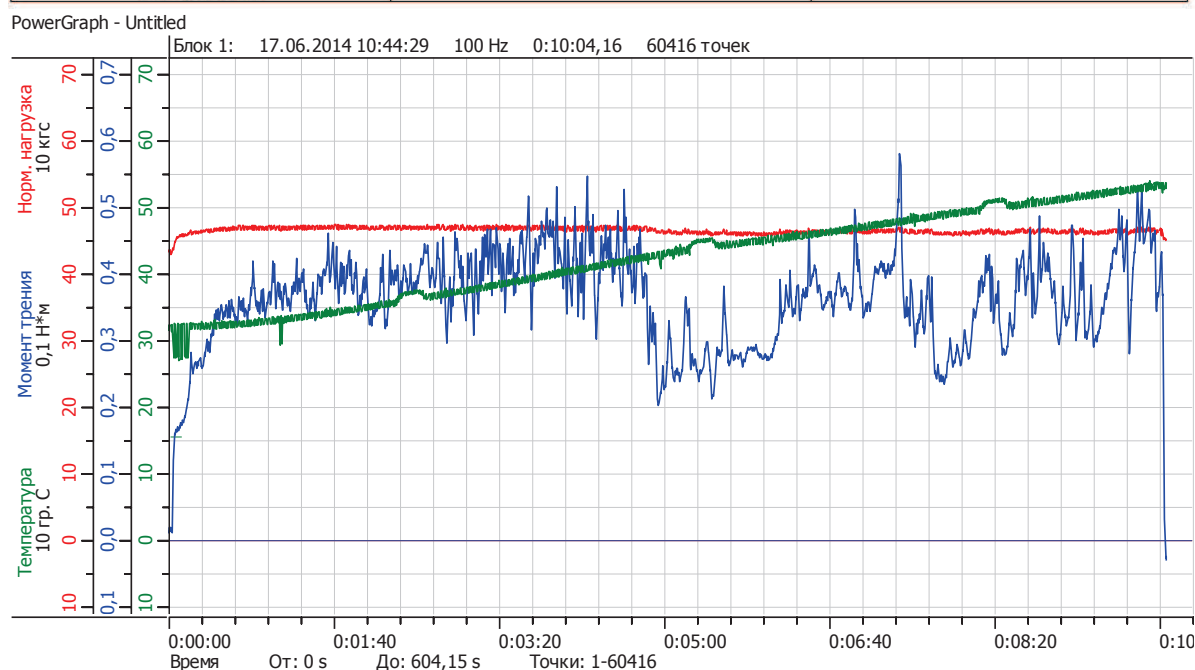
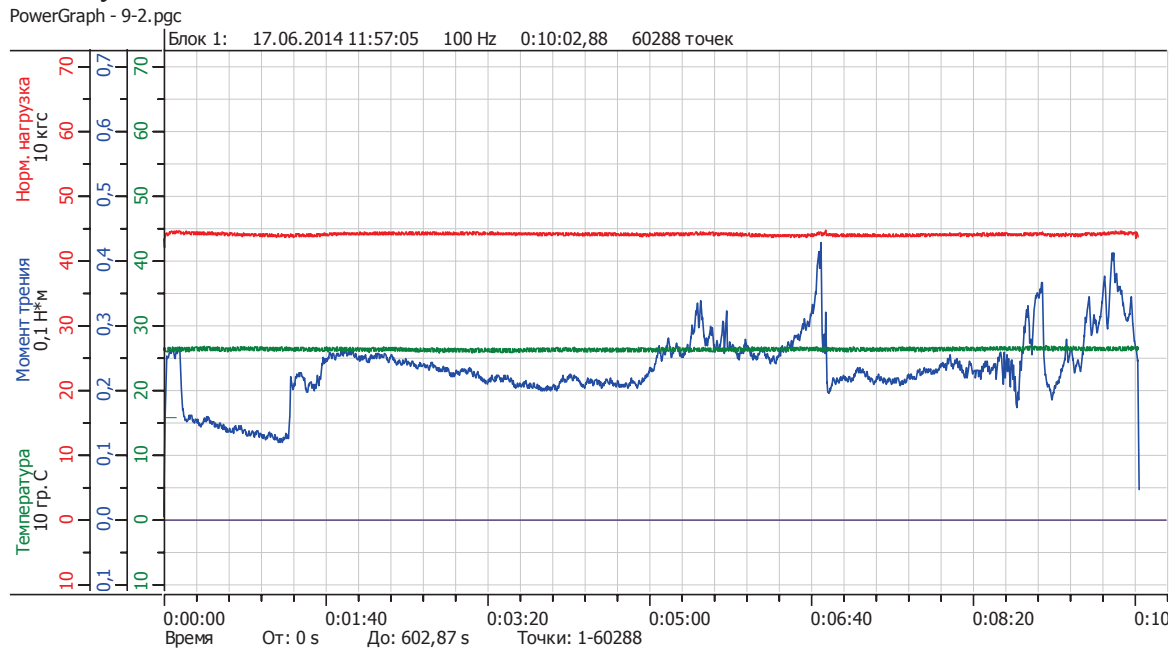


Рисунок 9. Диаграмма испытаний на износ образца № 8

Диаграмма износа (момента трения) образца № 9 (рисунок 10), в котором сформирована микроструктура карбидной фазы сферической правильной формы различных размеров, имеет практически гладкую форму с уменьшающейся амплитудой в течение первых пяти минут трения. При дальнейшем времени испытаний появляются отдельные всплески различ-

ной амплитуды.



**Рисунок 10. Диаграмма испытаний на износ образца № 9**

Гладкая форма диаграммы износа и меньшая его величина (почти в два раза) могут указывать на проскальзывание частиц алмаза размером 2 – 4 мкм по округлой поверхности карбидов вольфрама сферической формы.

#### **Анализ формирования дефектов наплавки**

В образцах, наплавленных без подслоя никеля, наблюдаются дефекты неравномерной упаковки карбидов вольфрама и отдельных пор небольшого размера, рисунок 11. Дефекты в виде крупных пор размером до 4 мм образуются в образцах, наплавленных с подслоем никеля толщиной до 1мм, то есть наличие свободного никеля способствует образованию пор. В образцах с подслоем никеля толщиной менее 0,5 мм образуются мелкие поры, рисунок 13. Дефектность наплавленной поверхности существенно зависит от состава и дисперсности наплавляемого карбидного материала. На рисунке 14 показана структура наплавленной поверхности образцов, соответственно, шнуром состава 60WC 40Ni и порошком состава 80WC20Ni.



**Рисунок 11. Структура образца № 1:  
наплавка шнуром состава 60WC 40Ni без подслоя никеля**



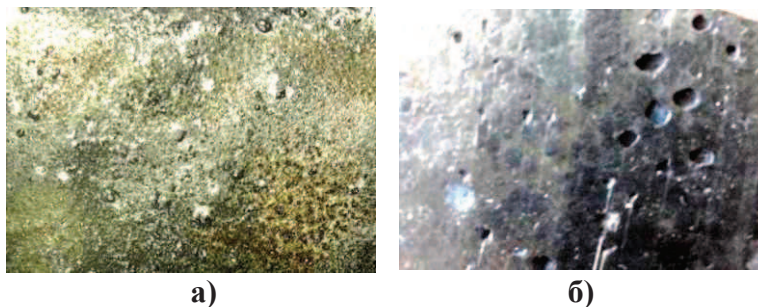
**Рисунок 12. Структура образца № 3:  
наплавка шнуром состава 60WC 40Ni с подслоем никеля толщиной до 1 мм**

При наплавке мелкозернистого порошка состава 80WC20Ni формируется гладкая поверхность, после наплавки гибкого прутка образуется пористая поверхность с глубиной пор





**Рисунок 13. Структура и дефектность образца № 4:  
наплавка с подслоем Ni + шнур 60WC 40Ni**



**Рисунок 14. Общий вид поверхности наплавленных образцов:  
а – наплавка порошка, б – наплавка шнура**

Неровность поверхности наплавки образцов значительно выше при наплавке с подслоем никеля.

#### **Выводы**

На основе проведенных исследований по наплавке карбидосодержащего гибкого прутка 60WC 40Ni и порошкового материала 80WC20Ni установлено:

1. Структура с крупными глобулярными карбидами обладает большей износостойкостью с минимальным разбросом значений микротвердости, однако наблюдается склонность к образованию дефектов.
2. Образование зоны сплавления и ее глубина в значительной степени зависят от наличия подслоя никеля и процесса реализации технологии наплавки. Наплавка с подслоем никеля обеспечивает большую глубину сплавления и, соответственно, более высокую адгезию наплавленного материала к заготовке. По результатам исследований рекомендуемая толщина подслоя никеля должна составлять 0,3 – 0,5 мм. В этом случае обеспечивается высокая адгезия наплавленного покрытия, достаточная глубина проплавления заготовки и меньшая вероятность образования дефектов в зоне наплавки.
3. При наплавке с подслоем никеля наблюдается образование дефектов в виде крупных пор.
4. При наплавке с применением карбидосодержащего порошка на наплавленный гибкий пруток поверхность валика формируется бездефектной, более равномерной и однородной.
5. Технология ручной ацетилено-кислородной наплавки дает возможность получить немодифицированные карбиды вольфрама с повышенной износостойкостью, не уступающей плазменной наплавке и обеспечивает процесс наплавки на изделия сложного профиля.

#### **Литература**

1. Моргунов Ю.А., Панов Д.В., Саушкин Б.П., Саушкин С.Б. Научно-технические технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии / Учебное пособие. Под ред. Б. П. Саушкина. – М.: Издательство «Форум», 2013. 928 с. – (Высшее образование). ISBN – 978-5-91134-774-1.
2. Саушкин Б.П., Шандров Б.В., Моргунов Ю.А. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей // Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2012, № 2, с. 242-248.
3. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии // Санкт-

Петербург. Изд-во Политехнического университета. 2008. 405 с.

4. Митрюшин Е.А., Моргунов Ю.А., Саушкин С.Б. Унифицированные технологии изготовления штампов с применением электрофизических методов обработки. Журнал «Металлообработка», 2010. № 2. С. 42-45.
5. Паркин А.А., Жаткин С.С., Минаков Е.А. Оптимизация технологии плазменной наплавки порошковых материалов // *Металлургия машиностроения*. – 2011. – № 1. – С. 44-49.
6. Минаков Е.А., Жаткин С.С., Паркин А.А., Фураев О.С., Климов В.Г. Влияние режимов плазменной наплавки, структурных факторов и свойств на износостойкость наплавленного порошкового материала Stellite 190W / *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 2011. т. 13, № 4(3). С. 818-823.
7. Жаткин С.С., Паркин А.А., Минаков Е.А. Особенности микроструктуры Stellite 190W при плазменно-порошковой наплавке на медь / *Естественные и технические науки*. 2011. – № 6(56). – С. 562-564. ISSN 1684-2626.
8. Паркин А.А., Жаткин С.С., Минаков Е.А., Семин А.Б., Сибикин А.В., Шигин С.В. Структура и износостойкость карбидосодержащего покрытия RDWC-076 после ацетиленокислородной наплавки // В сб.: *Высокие технологии в машиностроении. Тез. докл. Всероссий. науч.-тех. интернет-конференции с междун. участием*. – Самара, 2009. – С. 229-231.
9. Паркин А.А., Жаткин С.С. Влияние структуры и свойств на износ покрытия Micro Melt NT-60 после плазменной порошковой наплавки // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 2011. - т. 13, № 4(3). – С. 847-852.

УДК 621.9.06-529 + 658.527-529

### **Обработка квадратных гнёзд в сепараторах упорных подшипников для вертолётов с использованием станка с ЧПУ**

доц. к.т.н. Пини Б.Е., Попов А.В.  
*Университет машиностроения*  
(495) 223-05-23, доб. 1327

*Аннотация.* При изготовлении 48-и квадратных гнёзд в сепараторах упорных подшипников для вертолётов предлагается использовать станок с ЧПУ и приспособление для закрепления детали без использования ручного труда.

*Ключевые слова:* обработка квадратных отверстий, станки с ЧПУ, специальный инструмент

Сепаратор является основной частью двухрядного упорного роликового подшипника, который входит в состав механизма управления углом атаки лопастей винтов вертолёт МИ-8. Упорный подшипник размещается в корпусе осевого шарнира и предназначен для восприятия осевых нагрузок, возникающих от давления воздушного потока на лопасти при их вращении и, особенно, при изменении угла наклона лопасти относительно воздушного потока.

Особенностью данной детали является наличие двух рядов квадратных гнёзд под ролики одинакового размера: во внешнем ряду сепаратора имеется 27 гнёзд, а во внутреннем – 21. Гнёзда наружного и внутреннего рядов являются несоосными по отношению к оси всей детали. Кроме того гнёзда под ролики одного ряда имеют смещение осей по отношению к гнёздам второго внутреннего ряда.

Заготовки для сепараторов изготавливаются из безоловянистой бронзы БрАЖМц 10-3-1,5 путём центробежной отливки трубы с последующей разрезкой её на ленточнопильном станке с замкнутой лентой. Станок обеспечивает высокую производительность получения отдельных дисков заготовок при минимальной ширине реза, что необходимо для экономии бронзы.

Конструктивное исполнение сепаратора показано на рисунке 1.