

Влияние нагрева в различных средах твердых сплавов групп ВК и ТК на качество поверхности

© 2022 г. С.И. Богодухов, Е.С. Козик, Е.В. Свиденко

Оренбургский государственный университет (ОГУ), г. Оренбург, Россия

Статья поступила в редакцию 05.04.2022 г., доработана 17.08.2022 г., подписана в печать 25.08.2022 г.

Аннотация: Проведенные исследования по модифицирующему воздействию на поверхность твердого сплава, поверхностному легированию и химико-термической обработке металла, термодиффузионному насыщению и вакуумному ионно-плазменному напылению показали изменение шероховатости его поверхности и эксплуатационных свойств. Для оценки поведения различных групп твердых сплавов в процессе нагрева в различных средах использовали величину шероховатости. Образцами служили штабики размером $5 \times 5 \times 35$ мм и четырехгранные пластины $15,8 \times 15,8$ мм твердых сплавов ВК8 и Т14К8. Измерение параметров шероховатости поверхности осуществляли на профилометре, реализующем контактный (щуповой) метод. Полученные значения шероховатости были проанализированы в системе Microsoft Excel в расчете на интегральный процент и построены гистограммы. Исследование влияния среды нагрева на шероховатость поверхности проводили как на штабиках, так и на пластинах (с отверстиями и без них), используя расплав «насыщающий элемент – буферное вещество» (50–100 % BaCl_2). В качестве насыщающего элемента (25 %) применяли желтую кровяную соль $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)$ и буру $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Непосредственно на изделиях (после оценки влияния среды нагрева на шероховатость) определяли микротвердость и износ при резании. Выявлено, что нагрев твердых сплавов ВК8 и Т14К8 в различных средах увеличивает шероховатость и уменьшает износ при резании до 2 раз. Структуру исходных материалов до и после нагрева в различных расплавах изучали на растровом электронном микроскопе JSM-6000 («Jeol Ltd.», Япония) при увеличении 1000–3000 крат. Пластины в исходном состоянии и после нагрева в различных расплавах подвергали стойкостным испытаниям на токарно-винторезном станке модели 1А616 путем торцевого точения осевой заготовки из стали марки ОС (близкой по структуре и свойствам к Ст45) размером 210×1650 мм из непрерывно-литого металла (ГОСТ 4728–2010). Результаты рентгеноструктурного анализа твердого сплава ВК8 после нагрева в различных средах не выявили изменение фазового состава. Наряду с этим наблюдалось незначительное изменение параметров тонкой структуры карбидной фазы сплава: произошло небольшое увеличение микронапряжений с одновременным уменьшением блоков мозаики.

Ключевые слова: твердосплавные штабики и четырехгранные пластины марок ВК8 и Т14К8, износ при резании, микроструктура, размер частиц.

Богодухов С.И. — докт. техн. наук, профессор кафедры материаловедения и технологии материалов, ОГУ (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13). E-mail: ogu@mailgate.ru.

Козик Е.С. — канд. техн. наук, доцент кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики, ОГУ. E-mail: ele57670823@yandex.ru.

Свиденко Е.В. — канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов, ОГУ. E-mail: tzvetkova.katia2016@yandex.ru.

Для цитирования: Богодухов С.И., Козик Е.С., Свиденко Е.В. Влияние нагрева в различных средах твердых сплавов групп ВК и ТК на качество поверхности. *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2022. Т. 28. № 6. С. 71–80.
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2022-6-71-80.

Effect of heating VK and TK group hard alloys in various media on surface quality

S.I. Bogodukhov, E.S. Kozik, E.V. Svidenko

Orenburg State University (OSU), Orenburg, Russia

Received 05.04.2022, revised 17.08.2022, accepted for publication 25.08.2022

Abstract: The studies carried out to explore the modifying effect on the surface of a hard alloy, surface alloying and thermochemical treatment of metal, thermal diffusion saturation, vacuum ion-plasma deposition demonstrated changes in surface roughness and performance. This paper used roughness to evaluate the behavior of various hard alloy groups when heated in various media. The samples were $5 \times 5 \times 35$ mm bars and 15.8×15.8 mm tetrahedral plates made of VK8 and T14K8 hard alloys. Surface roughness parameters were measured on the profilometer implementing the contact (probe) method. Roughness values obtained were analyzed in the Microsoft Excel system

based on an integral percentage and histograms were constructed. The effect of the heating medium on the surface roughness was studied both on bars and plates (with and without holes) using the saturating element/buffer substance (50–100 % BaCl_2) melt. $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)$ potassium ferrocyanide and $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ borax were used as a saturating element (25 %). Microhardness and cutting wear were determined directly on the products (after determining the heating media effect on roughness). The heating of VK8 and T14K8 hard alloys in various media increases roughness and reduces cutting wear up to 2 times. The structure of initial materials before and after heating in various melts was studied using the JCM-6000 scanning electron microscope (Jeol Ltd., Japan) at a magnification of 1000–3000 $\times$. Plates in their initial state and after heating in various melts were subjected to resistance tests on the 1A616 screw-cutting lathe by face turning of an axle billet made of OS steel (similar in structure and properties to St45) 210 $\times$ 1650 mm in size of continuously cast metal (GOST 4728-2010). X-ray diffraction analysis of the VK8 hard alloy after heating in various media demonstrated the absence of changes in the phase composition. Along with this, there was a slight change in the carbide phase fine structure parameters of the alloy, namely a slight increase in micro-stresses with a simultaneous decrease in mosaic blocks.

Keywords: VK8 and T14K8 hard-alloy bars and tetrahedral plates, cutting wear, microstructure, particle size.

Bogodukhov S.I. — Dr. Sci. (Eng.), prof., Department of materials science and technology materials, Orenburg State University (OSU) (460018, Russia, Orenburg, Pobeda ave., 13).
E-mail: ogu@mailgate.ru.

Kozik E.S. — Cand. Sci. (Eng.), associate prof., Department of descriptive geometry, engineering and computer graphics, OSU.
E-mail: ele57670823@yandex.ru.

Shvidenko E.V. — Cand. Sci. (Eng.), lecturer, Department of materials science and technology materials, OSU.
E-mail: tzvetkova.katia2016@yandex.

For citation: Bogodukhov S.I., Kozik E.S., Shvidenko E.V. Effect of heating VK and TK group hard alloys in various media on surface quality. *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya (Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy)*. 2022. Vol. 28. No. 6. P. 71–80 (In Russ.).
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2022-6-71-80.

Введение

В металлообрабатывающей промышленности широко используются твердые сплавы (ТС) для оснащения режущего инструмента. Применяемые методы повышения эксплуатационных свойств ТС в ряде случаев не обеспечивают требуемых параметров качества состояния режущей кромки и шероховатости поверхности инструмента [1]. Анализ литературных данных [2–6] показал, что разработано много перспективных путей улучшения физико-механических свойств ТС.

Качество изделий из твердых сплавов во многом определяется технологией получения компонентов и различными стадиями изготовления, в том числе и на финишных операциях. Так, основными дефектами после спекания изделий из ТС являются пористость, наличие свободного углерода, растягивающие остаточные напряжения в приповерхностном слое и грубая шероховатость поверхности [7, 8]. Шероховатость — совокупность неровностей, образующих микрорельеф поверхности детали, возникает главным образом вследствие пластической деформации поверхностного слоя заготовки при ее обработке из-за неровностей режущих кромок инструмента, трения, вырывания частиц материала с поверхности заготовки, вибрации заготовки и инструмента и т.п. [9, 10].

Вместе с тем многие методы финишной обра-

ботки также оказывают силовое и температурное воздействия на состояние режущей части инструмента: микронеровности, микротрещины, сколы режущей кромки инструмента. Это, в свою очередь, отрицательно влияет на эксплуатационные свойства твердосплавных изделий и приводит к затуплению режущего инструмента и увеличению шероховатости обработанной поверхности.

Проведенные исследования по модифицирующему воздействию на поверхность твердого сплава, поверхностному легированию и химико-термической обработке (ХТО) металла, термодиффузионному насыщению (ТДН) и вакуумному ионно-плазменному напылению выявили их влияние на изменение шероховатости поверхности и эксплуатационные свойства детали [11–26].

Для оценки поведения твердых сплавов по одному представителю групп ВК и ТК в процессе термодиффузии была использована величина шероховатости.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния легирующих компонентов расплава на физико-механические и эксплуатационные свойства твердых сплавов группы ВК (WC-Co , однокарбидные вольфрамокобальтовые) — ВК8, и группы ТК (WC-TiC-Co , двухкарбидные титановольфрамокобальтовые) — Т14К8.

Таблица 1. Состав и основные характеристики исследуемых твердых сплавов

Table 1. Composition and main properties of hard alloys studied

Группа сплавов	Марка	Хим. состав, %			Предел прочности $\sigma_{изг}$ Н/мм ²	Плотность, г/см ³	Твердость, HRA
		WC	TiC	Co			
WC–Co	BK6	94	—	6	1519	14,6–15,0	88,5
	BK8	92	—	8	1666	14,4–14,8	88,0
	BK16	92	—	8	1862	13,9–14,8	86,0
WC–TiC–Co	T15K6	79	15	6	1176	11,1–11,6	90,0
	T14K8	78	14	8	1274	11,2–11,6	89,5

Методика исследований

Образцами в экспериментах служили штабики размером 5×5×35 мм (рис. 1) и четырехгранные пластины 15,8×15,8 мм из твердых сплавов BK8 и T14K8.

Марки, состав и характеристики применяемых ТС в соответствии с ГОСТ 3882-74 приведены в табл. 1.

Измерение параметров шероховатости поверхности проводили на профилометре¹, реализующем контактный (щуповой) метод. Радиус ошупывающей иглы составлял от 2 до 12 мкм.

Блок-схема щуповых приборов показана на рис. 2. В процессе измерения поверхность образца 1 с участием дополнительной опоры 2 ошупывается алмазной иглой 3, закрепленной на рычаге 4, колебания которого при помощи индуктивного или механотронного преобразователя превращаются в электрические. Необходимое для измерения перемещение сообщается протяжным механизмом. В измерительной схеме эти сигналы усиливаются, интегрируются по перемещению и передаются либо на индикатор (профилометр), градуированный в значениях R_a , либо (без интегрирования) на записывающее устройство (профилограф). Измерение шероховатости штабиков проводили на трех участках каждой из граней согласно рис. 3.

Отметим, что оценка шероховатости поверхности бесконтактными методами сравнения субъективна и может вызвать разногласия.

¹ Профилометр был специально изготовлен для данного эксперимента на кафедре материаловедения и технологии материалов Оренбургского государственного университета.

Для выявления влияния легирующих компонентов расплава на шероховатость поверхности эксперименты проводили как на штабиках, так и на пластинах (с отверстиями и без них), используя



Рис. 1. Внешний вид образцов

Fig. 1. Appearance of samples

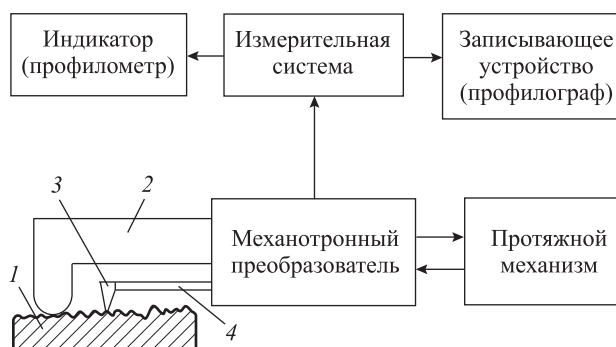


Рис. 2. Схема измерения параметров шероховатости методом ошупывания

1 – поверхность образца, 2 – дополнительная опора, 3 – алмазная игла, 4 – рычаг

Fig. 2. Diagram of roughness measurement by contact sensing

1 – sample surface, 2 – additional support, 3 – diamond needle, 4 – lever

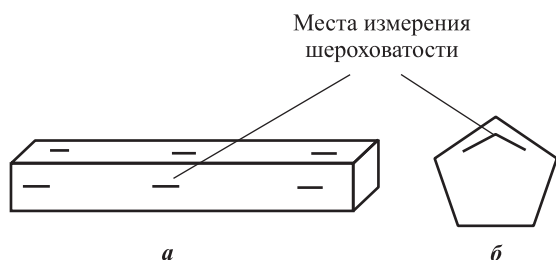


Рис. 3. Схема мест измерения шероховатости на штабике (а) и пластине (б)

Fig. 3. Diagram of roughness measurement points on the bar (a) and plate (b)

расплав состава: легирующий компонент — буферное вещество (50—100 % BaCl_2). В качестве насыщающего элемента (25 %) применяли желтую кровяную соль (ЖКС) $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)$ и буру $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. В металлическую сетку загружали по 5 штабиков и пластин (отдельно каждой марки — ВК8, Т14К8) и помещали в расплав при температуре от 930 °С до 1150 °С с выдержкой в нем в течение 1 ч, затем образцы вынимали и охлаждали на воздухе. Режимы обработки и составы расплавов представлены в табл. 2.

Техническими условиями ТУ 48-19-124-91 «Твердые сплавы» регламентированы следующие свойства ТС: плотность, средний предел прочности при изгибе, твердость HRA и износ при резании. Из всех перечисленных характеристик непосредственно на изделиях определяли микротвердость и износ при резании.

Структуру исходных материалов до и после нагрева в различных расплавах изучали на растровом электронном микроскопе JCM-6000 («Jeol Ltd.», Япония) при увеличении $1000\times$ — $3000\times$.

Таблица 2. Режимы обработки и составы расплавов
Table 2. Processing modes and compositions of melts

№ опыта	Нагрев в расплаве при t , °С	Состав расплава	
		Буферное вещество, %	Насыщающий элемент, %
1	930–950	100 BaCl_2	—
2	1130–1150	100 BaCl_2	—
3	1130–1150	50 BaCl_2	50 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
4	1130–1150	50 BaCl_2	25 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 25 $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)$

Пластины в исходном состоянии и после нагрева в различных расплавах подвергали стойкостным испытаниям на токарно-винторезном станке модели 1А616 путем торцевого точения осевой заготовки из стали марки ОС (близкой по структуре и свойствам к Ст45) размером 210×1650 мм из непрерывно-литого металла (ГОСТ 4728-2010).

Точение осуществляли от центра к периферии без применения смазочной охлаждающей жидкости. Резец с неперетачиваемой пластиной устанавливали на линии центров станка, его вылет из резцедержателя выбрали равным 40 мм. Геометрические параметры резца следующие: передний угол — 15°, задний — 12°, радиус при вершине — 0,5 мм. Режимы резания: глубина резания — 1 мм, подача — 0,1 мм, частота вращения шпинделя станка — 400 мин^{-1} , скорость резания — 25÷200 м/мин. Резание осуществляли методом поперечного точения твердосплавных пластин в 1 проход, после чего на пластинах измеряли величину износа по передней и задней поверхностям.

Рентгеноструктурный анализ проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4-07 (НПП «Буревестник», г. Санкт-Петербург).

Результаты и их обсуждение

Результаты измерения шероховатости для исходных штабиков из сплава ВК8 приведены в табл. 3. Полученные данные были проанализированы в системе Microsoft Excel в расчете на интегральный процент и по результатам (табл. 4) построены гистограммы, причем распределение значений шероховатости рассмотрено как общее (рис. 4, а), так и ранжированное (рис. 4, б) по частоте повторений значений в выделенных диапазонах R_a . Из приведенных данных видно, что наибольшее число совпадений (10) приходится на диапазоны от 0,16 до 0,32 мкм — 23 значения из 32, что составляет 64 %.

Полученные значения R_a разделили по диапазонам шероховатости (в соответствии с диапазонами классов и разрядов) и затем рассчитали среднее значение и сумму значений в каждом интервале (табл. 5).

Полученные значения шероховатости в той же системе Microsoft Excel были проанализированы, в том числе по экспоненциальному сглаживанию. Результаты расчетов приведены в табл. 6 и на рис. 5 и 6.

Для сплава Т14К8 шероховатость исходных образцов находится в пределах от 0,8 до 2,5 мкм и

Таблица 3. Значения шероховатости (R_a , мкм) для исходных штабиков из сплава ВК8

Table 3. Roughness values (R_a , μm) for initial bars made of VK8 alloy

№ штабика	Грань	№ точки			Среднее по грани	Среднее общее
		1	2	3		
1	1	0,18	0,15	0,31	0,21	0,22
	2	0,21	0,16	0,25	0,21	
	3	0,20	0,30	0,18	0,23	
	4	0,18	0,23	0,25	0,22	
2	1	0,10	0,18	0,20	0,16	0,27
	2	0,20	0,20	0,29	0,23	
	3	0,37	0,4	0,25	0,34	
	4	0,46	0,31	0,30	0,35	
3	1	0,18	0,12	0,11	0,14	0,27
	2	0,19	0,34	0,31	0,28	
	3	0,13	0,32	0,34	0,26	
	4	0,41	0,39	0,28	0,36	
Среднее						0,25

Таблица 4. Распределение значений шероховатости (общее и ранжированное) и интегральный процент по правой границе диапазона R_a

Table 4. Roughness distribution (general and ranked) and integral percentage along the right border of R_a range

R_a , мкм	Частота повторений значений в диапазоне R_a , шт.	Интегральный процент
0,10	1	2,78
0,125	2	8,33
0,16	3	16,67
0,20	10	44,44
0,25	5	58,33
0,32	8	80,56
0,40	4	91,67
0,50	3	100,00
0,20	10	27,78
0,32	8	50,00
0,25	5	63,89
0,40	4	75,00
0,16	3	83,33
0,50	3	91,67
0,125	2	97,22
0,10	1	100,00

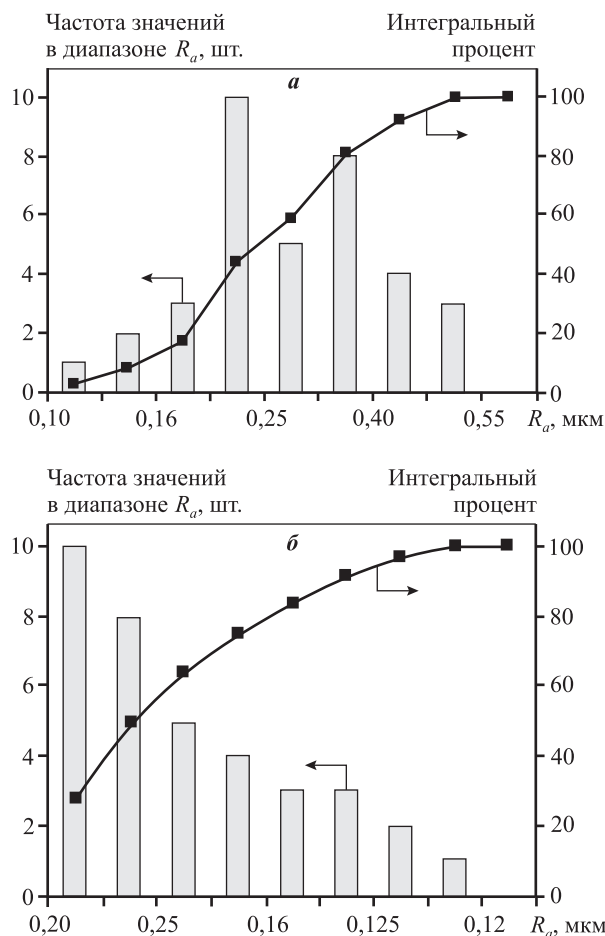


Рис. 4. Гистограмма распределения значений шероховатости и интегральный процент по правой границе диапазона R_a
а — общая; б — парето — отсортированная (ранжированная)

Fig. 4. Roughness distribution histogram and integral percentage along the right border of R_a range
а — general; б — Pareto — sorted (ranked)

распределяется следующим образом: 5 значений в диапазоне 0,8÷1,0; 2 — 1,0÷1,25; 7 — 1,25÷1,6; 6 — 1,6÷2,0; 4 — 2,0÷2,5.

Из приведенных данных видно, что шероховатость штабиков из твердых сплавов ВК8 находится в диапазоне от 10-го до 8-го классов, а штабиков из сплава Т14К8 — от 7-го до 6-го классов.

Дальнейшие исследования по выявлению влияния состава среды нагрева на шероховатость поверхности проводили как на штабиках, так и на пластинах (с отверстиями и без них). Значения шероховатости поверхности исследованных образцов из твердых сплавов ВК8 и Т14К8 приведены в табл. 8.

Таблица 5. Исходные значения шероховатости поверхности (R_a , мкм) штабиков из сплава ВК8Table 5. Initial surface roughness values (R_a , μm) of bars made of VK8 alloy

№ интервала	Диапазон шероховатости	Число значений	Среднее значение	Сумма значений
1	0,1–0,125	3	0,11	0,33
2	0,125–0,160	3	0,15	0,44
3	0,16–0,20	10	0,17	1,69
4	0,20–0,25	5	0,24	1,19
5	0,25–0,32	8	0,26	2,11
6	0,32–0,40	5	0,37	1,84
7	0,40–0,50	2	0,44	0,87
Всего (среднее)		36	0,25	

Таблица 6. Значения шероховатости (R_a , мкм) штабиков из сплава ВК8 – истинной и по экспоненциальному сглаживаниюTable 6. Roughness values (R_a , μm) – true and by exponential smoothing – of bars made of VK8 alloy

Истинное	Экспоненциальное	Истинное	Экспоненциальное	Истинное	Экспоненциальное
0,18	0,18	0,10	0,114751104	0,18	0,192230461
0,15	0,153	0,18	0,17347511	0,12	0,127223046
0,31	0,2945	0,20	0,197347511	0,11	0,111722305
0,21	0,21843	0,20	0,199734751	0,19	0,18217223
0,16	0,165842	0,20	0,199973475	0,34	0,324217223
0,25	0,2415846	0,29	0,280997348	0,31	0,311421722
0,20	0,20415843	0,37	0,361099735	0,13	0,148142172
0,30	0,29041584	0,40	0,396109973	0,32	0,302814217
0,18	0,191041584	0,25	0,264610997	0,34	0,336281422
0,18	0,181104158	0,46	0,4404611	0,41	0,402628142
0,23	0,225110416	0,31	0,32304611	0,39	0,391262814
0,25	0,247511042	0,30	0,302304611	0,28	0,2954376

Таблица 7. Значения шероховатости (R_a , мкм) для исходных штабиков из сплава Т14К8Table 7. Roughness values (R_a , μm) for initial bars made of T14K8 alloy

№ штабика	Грань	№ точки			Среднее по грани	Среднее общее
		1	2	3		
1	1	0,92	1,90	2,50	1,77	1,48
	2	1,30	0,82	1,30	1,14	
	3	1,50	1,70	2,30	1,83	
	4	1,00	1,40	1,10	1,167	
2	1	0,88	0,80	1,60	1,09	1,61
	2	2,50	1,80	2,40	2,23	
	3	1,40	1,20	1,40	1,33	
	4	2,00	1,70	1,70	1,80	
Среднее						1,54

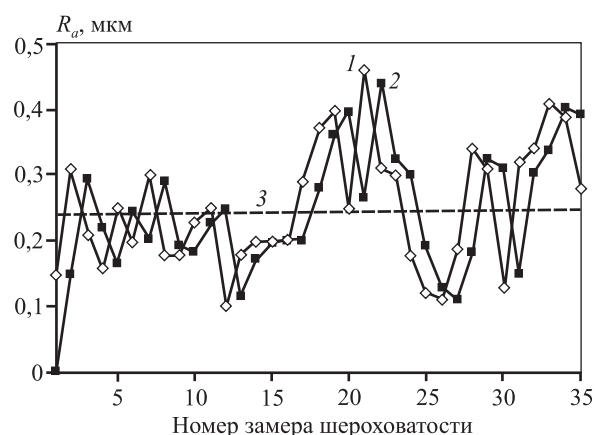


Рис. 5. Графики значений шероховатости штабиков из твердого сплава ВК8

1 – истинные, 2 – экспоненциальные, 3 – среднее

Fig. 5. Roughness charts for bars made of VK8 hard alloy

1 – true, 2 – exponential, 3 – average

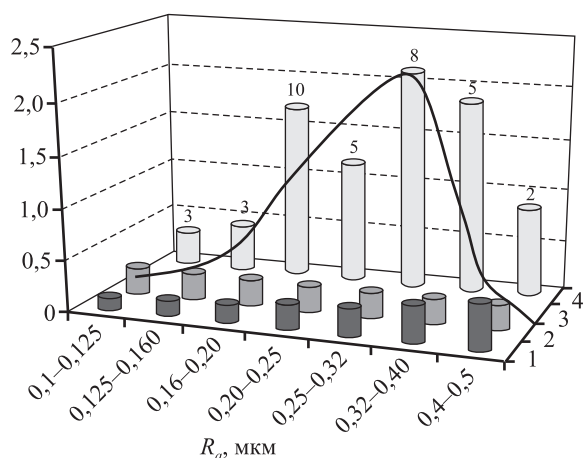


Рис. 6. Гистограмма значений шероховатости из твердого сплава ВК8

1-й ряд — среднее значение в данном диапазоне; 2-й ряд — общее среднее значение; 3-й ряд (кривая линия) — распределение значений по шероховатости; 4-й ряд — количество значений R_a в данном диапазоне (цифры над столбиками) и их сумма

Fig. 6. Roughness histogram for bars made of VK8 hard alloy

Row 1 — average value in this range; Row 2 — overall average value; Row 3 (curved line) — distribution of roughness values; Row 4 — number of R_a values in this range (the numbers above the columns) and their sum

Полученные данные показали, что шероховатость поверхности у твердых сплавов ВК8 и Т14К8 увеличилась на 20–30 % и 10–20 % соответственно в зависимости от условий обработки.

Микроструктуры исследуемых ТС после различных видов нагрева представлены на рис. 7.

С использованием рентгеноструктурного анализа образцов твердых сплавов ВК8 и Т14К8 после нагрева в различных средах сопоставляли теоретические дифракционные углы, полученные на дифрактограмме, и определяли соответствующие индексы Миллера (hkl). Для сплава ВК8 получено фактическое расположение линий (фазовый анализ). Из данных табл. 9 видно, что после его нагрева все линии (hkl) смещаются в сторону больших углов. Анализ дифрактограмм образца ВК8 после нагрева в средах различного состава показал отсутствие изменения его фазового состава. Наряду с этим наблюдалось незначительное изменение параметров тонкой структуры карбидной фазы сплава: произошло небольшое увеличение микронапряжений с одновременным уменьшением блоков мозаики (табл. 10).

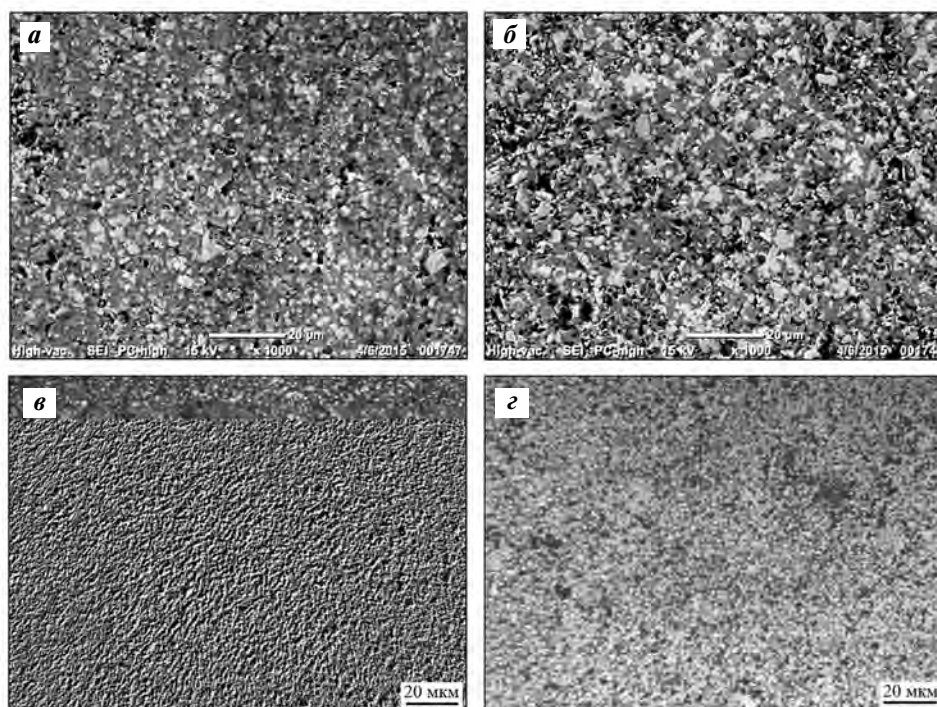


Рис. 7. Микроструктура ($\times 1000$) твердых сплавов Т14К8 (а, б) и ВК8 (в, г)

а — сплав Т14К8 в исходном состоянии, б — после нагрева, в — сплав ВК8 в исходном состоянии, г — после нагрева
Режим обработки $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, $t = 1150^\circ\text{C}$

Fig. 7. Microstructure ($\times 1000$) of T14K8 (a, б) and VK8 (в, г) hard alloys

а — T14K8 alloy in its initial state, б — after heating, в — VK8 alloy in its initial state, г — after heating
 $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ processing mode, $t = 1150^\circ\text{C}$

Таблица 8. Значения шероховатости (R_a , мкм) поверхности образцов из сплавов ВК8 и Т14К8 при различных режимах обработкиTable 8. Roughness values (R_a , μm) for VK8 and T14K8 sample surfaces at different processing modes

Материал и вид образца	Вид обработки	Грань	№ точки			Среднее		Количество совпадений*
			1	2	3	по грани	общее	
ВК8 Штабик	Исходный	1	0,18	0,12	0,11	0,14	0,27	2
		2	0,19	0,34	0,31	0,28		
		3	0,13	0,32	0,34	0,26		
		4	0,41	0,39	0,28	0,36		
	BaCl ₂	1	0,72	0,56	0,36	0,55	0,44	3
		2	0,54	0,42	0,55	0,50		
		3	0,42	0,38	0,33	0,38		
		4	0,45	0,42	0,37	0,32		
	BaCl ₂ + бура	1	0,50	0,31	0,26	0,36	0,31	2
		2	0,41	0,28	0,32	0,28		
		3	0,56	0,34	0,28	0,36		
		4	0,40	0,45	0,32	0,26		
ВК8 Пластина	Исходный		0,46	0,48			0,5	
	BaCl ₂	$t = 330 \div 350 \text{ }^\circ\text{C}$			0,4	0,43	0,42	
		$t = 550 \div 570 \text{ }^\circ\text{C}$			0,46	0,51	0,48	
Т14К8 Штабик	Исходный	1	0,38	0,31	0,33	0,34	0,35	4
		2	0,36	0,34	0,37	0,36		
		3	0,34	0,37	0,36	0,36		
		4	0,36	0,34	0,35	0,35		
	BaCl ₂	1	0,39	0,39	0,41	0,39	0,39	5
		2	0,44	0,40	0,38	0,41		
		3	0,42	0,38	0,36	0,39		
		4	0,38	0,37	0,40	0,38		
	BaCl ₂ + бура + ЖКС	1	0,45	0,44	0,43	0,44	0,48	3
		2	0,48	0,44	0,48	0,47		
		3	0,51	0,61	0,51	0,54		
		4	0,48	0,48	0,50	0,49		
Т14К8 Пластина	BaCl ₂ + бура	1	0,41	0,40	—	0,41	0,42	4
		2	0,42	0,42	—	0,42		

* Количество совпадений истинных значений шероховатости со средним.

Таблица 9. Интенсивность линий рентгеновского спектра для твердого сплава ВК8

Table 9. Intensity of X-ray spectrum lines for VK8 hard alloy

Линии hkl	Фаза	Исходное состояние	2 θ , град, после нагрева по режиму	
			BaCl ₂ , $t = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$	BaCl ₂ + B ₄ C + K ₄ (Fe(CN) ₆), $t = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$
(100)	WC	46,34	46,74	46,85
(101)	W ₂ C	53,15	53,95	54,05
(100)	Co	55,55	55,86	55,98
(101)	Co	62,06	62,75	62,88
(110)	W ₂ C	75,80	76,04	76,22
(110)	WC	96,24	96,71	96,88
(200)	W ₂ C	97,25	97,69	97,86
(111)	WC	100,10	100,48	100,68
(110)	Co	104,55	104,62	104,68

Таблица 10. Параметры тонкой структуры фазы WC сплава VK8 после нагрева в средах различного состава

Table 10. WC phase fine structure parameters of VK8 alloy after heating in media of various compositions

Режим нагрева	Индекс кристаллографического направления	
	(001)	(001), (002)
	Блоки мозаики $L, \text{\AA}$	Микронапряжения $\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
Исходный твердый сплав	280	1,59
$\text{BaCl}_2, t = 1150^\circ\text{C}$	245	1,68
$\text{BaCl}_2 + \text{B}_4\text{C} + \text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6), t = 1150^\circ\text{C}$	210	1,85

Таблица 11. Износ при резании

Table 11. Cutting wear

Сплав	Режим нагрева		Износ при резании, мм		Микротвердость $HV_{0,1}$, Н/мм ²
	Расплав	$t, ^\circ\text{C}$	По передней поверхности	По задней поверхности	
BK8	Исходный		0,30	0,20	15500
T14K8	Исходный		0,22	0,14	16500
BK8	BaCl_2	1150	0,14	0,10	16500
BK8	$\text{BaCl}_2 + \text{B}_4\text{C}$	1150	0,14	0,14	17500
BK8	$\text{BaCl}_2 + \text{B}_4\text{C} + \text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)$	1150	0,14	0,14	17000
T14K8	BaCl_2	1150	0,12	0,10	17500
T14K8	$\text{BaCl}_2 + \text{B}_4\text{C}$	1150	0,12	0,08	18000
T14K8	$\text{BaCl}_2 + \text{B}_4\text{C} + \text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)$	1150	0,10	0,10	18200

Исследования по выявлению влияния среды нагрева на износ при резании проводили на пластинах из твердых сплавов BK8 и T14K8. Результаты приведены в табл. 11.

Таким образом, нагрев в различных средах твердых сплавов BK8 и T14K8 увеличивает шероховатость и уменьшает износ при резании до 2 раз.

Заключение

В ходе исследования определено влияние среды нагрева на шероховатость поверхности различных твердых сплавов.

Шероховатость штабиков из твердых сплавов BK8 и T14K8 после нагрева в различных условиях находится в диапазоне от 10-го до 8-го и от 7-го до 6-го классов соответственно. Полученные результаты показали, что шероховатость поверхности у твердого сплава BK8 увеличилась на 20—30 % в зависимости от режима обработки, а для изделий из твердого сплава T14K8 — от 10 до 20 %.

Повышение шероховатости твердых сплавов групп BK и TK увеличивает долговечность изделий,

так как сокращается величина износа во время приработки и в последующем процессе резания.

Анализ дифрактограмм после нагрева твердого сплава BK8 в средах различного состава показал отсутствие изменения фазового состава. Но наряду с этим наблюдалось незначительное изменение параметров тонкой структуры карбидной фазы этого сплава: произошло небольшое увеличение микронапряжений с одновременным уменьшением блоков мозаики.

Таким образом, выявлено, что нагрев твердых сплавов BK8 и T14K8 в различных средах увеличивает шероховатость и до 2 раз снижает износ при резании.

Литература/References

1. *Мухин И.М.* Твердые сплавы в мелкосерийном производстве. Киев: Наук. думка, 1981.
Mukhin I.M. Hard alloys in small-scale production. Kiev: Naukova Dumka, 1981 (In Russ.).
2. *Креймер Г.С.* Долговечность твердых сплавов. М.: Металлургия, 1971.

- Kreimer G.S.* Durability of hard alloys. Moscow: Metallurgiya, 1971 (In Russ.).
3. *Кипарисов С.С., Левинский Ю.В., Петров А.П.* Карбид титана (получение, свойства и применение). М.: Металлургия, 1987.
Kiparisov S.S., Levinsky Yu.V., Petrov A.P. Titanium carbide (obtaining, properties and application). Moscow: Metallurgiya, 1987 (In Russ.).
 4. *Лошак М.Г., Александрова Л.И.* Упрочнение твердых сплавов. Киев: Наук. думка, 1975.
Loshak M.G., Alexandrova L.I. Hardening of hard alloys. Kiev: Naukova Dumka, 1975 (In Russ.).
 5. *Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н.* Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник. М.: Машиностроение, 1986.
Drozhdov Yu.N., Pavlov V.G., Puchkov V.N. Friction and wear under extreme conditions: Directory. Moscow: Mashinostroyeniye, 1986 (In Russ.).
 6. *Zhang Li., Wang Yuan-Jie., Yu Xian-Wang., Chen Shu., Xiong Xiang-Jin.* Crack propagation characteristic and toughness of functionally graded WC—CO cemented carbide. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2008. Vol. 26. No. 4. P. 295—300.
 7. *Colovcan V.T.* Some analytical consequences of experiment data on properties of WC—Co hard metals. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2008. Vol. 26. No. 4. P. 301—305.
 8. *Guo Zhixing., Xiong Ji., Yang Mei., Jiang Cijin.* WC—TiC—Ni cemented carbide with enhanced properties. *J. Alloys Compd.* 2008. Vol. 465. No. 1-2. P. 157—162.
 9. *Креймер Г.С.* Прочность твердых сплавов. М.: Металлургия, 1971.
Kreimer G.S. Strength of hard alloys. Moscow: Metallurgiya, 1971 (In Russ.).
 10. *Панов В.С., Чувилин А.М.* Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. М.: Изд-во МИСиС, 2001.
Panov V.S., Chuvilin A.M. Technology and properties of sintered hard alloys and their products. Moscow: MISIS, 2001 (In Russ.).
 11. *Bock H., Hoffman H., Blumenauer H.* Mechanische Eigenschaften von Wolframkarbid-Kobalt legierungen. *Technik.* 1976. Bd. 31. No. 1. S. 47—51.
 12. *Gurland J.* The Fracture strength of sintered WC—Co alloys in relation to composition and particle spacing. *Trans. Met. Soc. AIME.* 1963. Vol. 227. No. 1. P. 28—43.
 13. *Suzuki H., Hayashi K.* Strength of WC—Co cemented carbides in relation to their fracture sources. *Planseeber. Pulvermet.* 1975. Vol. 23. No. 1. P. 24—36.
 14. *Tokova L.V., Zaitsev A.A., Kurbatkina V.V., Levashov E.A., Sidorenko D.A., Andreev V.A.* Features of the influence of ZrO₂ and WC nanodispersed additives on the properties of metal matrix composite. *Russ. J. Non-Ferr. Met.* 2014. Vol. 55. No. 2. P. 186—190.
 15. *Бондаренко В.А.* Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов. М.: Машиностроение, 2000.
Bondarenko V.A. Quality assurance and improvement of characteristics of cutting tools. Moscow: Mashinostroyeniye, 2000 (In Russ.).
 16. *Либенсон Г.А.* Процессы порошковой металлургии. М.: Изд-во МИСиС, 2001. Т. 1.
Libenson G.A. Powder metallurgy processes. Moscow: MISIS, 2001. Vol. 1 (In Russ.).
 17. *Kim C.S., Massa T.P., Rohrer G.S.* Modeling the relationship between microstructural features and the strength of WC—Co composites. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2006. Vol. 24 (1). P. 89—100.
 18. *Yamamoto T., Ikuhara Y., Watanabe T., Shirase F.* High resolution microscopy study in Cr₃C₂-doped WC—Co. *J. Mater. Sci.* 2001. No. 36. P. 3885—3890.
 19. *Jaensson B.O.* Die Untersuchung von Verformungsercheinungen in Hochfeste WC—Co Legierungen mit Hilfe eines neuen Localisierungsverfahrens für die Abdruckelektronenmikroskopie. *Pract. Metallograf.* 1972. Bd. 9. No. 11. S. 624—641.
 20. *Третьяков В.И.* Металлокерамические твердые сплавы. М.: Металлургиздат, 1962.
Tretyakov V.I. Nitriding of refractory metals. Moscow: Metallurgizdat, 1962 (In Russ.).
 21. *Wang J.B., Lian Y.Y., Feng F., Chen Z., Tan Y., Yang S., Liu X., Qiang J.B., Liu T.Z., Wei M.Y., Wang Y.M.* Microstructure of the tungsten and reduced activation ferritic-martensitic steel joint brazed with an Fe-based amorphous alloy. *Fusion Eng. Design.* 2019. Vol. 138. P. 164—169.
 22. *Panov V.S.* The role of binding phase in hard alloys (Analytical review). *Inorg. Mater.: Appl. Res.* 2021. Vol. 12. No. 1. P. 30—33.
 23. *Lantsev E.A., Malekhonova N.V., Nokhrin A.V., Chuvil'deev V.N., Boldin M.S., Andreev P.V., Smetanina K.E., Murashov A.A., Blagoveshchenskiy Y., Isaeva N.V.* Spark plasmasintering of fine-grained WC hard alloys with ultra-low cobalt content. *J. Alloys Compd.* 2021. Vol. 857. P. 157—159.
 24. *Oskolkova T.N., Glezer A.M.* Surface hardening of hard tungsten-carbide alloys: a review. *Steel Trans.* 2017. Vol. 47. No. 12. P. 788—796.
 25. *Jonsson H.* Studies of the binder phase in WC—Co cemented carbides heat-treated at 950 °C. *Planseeber. Pulvermet.* 2019. Vol. 1. P. 37—55.