

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Исследовано влияние термической обработки на структуру и свойства твердых сплавов. Установлена возможность уменьшения величины износа режущего инструмента путем варьирования режимов термической обработки.

Ключевые слова: Твердый сплав, термическая обработка, свойства, структура.

Твердые сплавы в основном применяют при изготовлении различного инструмента для обработки резанием (металлов, неметаллических материалов и горных пород) и деформирующего инструмента (волокни, пресс-форма, штампы). Среди спеченных твердых сплавов основную группу составляют сплавы на основе карбида вольфрама (ВК) и карбидов вольфрама и титана (ТК). Основными эксплуатационными характеристиками, определяющими режим работы твердосплавного инструмента, являются твердость, износостойкость и прочность при изгибе.

Эксплуатационные характеристики сплава во многом зависят от структуры, фазового состава, размеров блоков кристаллической решетки, величины микронапряжений и т.д. Методами повышения физико-механических свойств твердосплавных пластин на заводах-изготовителях в основном являются совершенствование технологии изготовления, в том числе получение мелкозернистых сплавов и микролегирование, а также вакуумное нанесение ионно-плазменных покрытий сложного состава, что позволяет повысить стойкость инструмента от 1,5 до 2 раз [1]. Стойкость инструмента также может быть изменена путем дополнительной термической обработки [2]. Целью работы является исследование влияния различных факторов при термообработке твердых сплавов на их эксплуатационные свойства. Варьируя режимы термической обработки, получаем возможность изменять (увеличивать либо снижать) стойкость режущего инструмента.

Для исследования влияния температуры и скорости нагрева и охлаждения на эксплуатационные свойства твердых сплавов, термическую обработку проводили с использованием различных способов нагрева (нагрев в соляных

ваннах, нагрев в среде водорода, ТВЧ, с применением лазерного излучения).

При термической обработке с нагревом ТВЧ (скорость нагрева от 30 до 40 град/сек.) применяли установку нагрева токами высокой частоты ВЧГ 63/044-3П-Л01. В качестве защитной атмосферы, для предотвращения окисления и обезуглероживания поверхности сплава термообработку проводили в среде аргона.

Термическая обработка с высокой скоростью нагрева твердого сплава проводили в соляных ваннах С-35. Образцы помещали в ванну и нагревали до температур 850, 1000 и 1150 °С и выдерживали при нужной температуре в течение 4 минут. Изотермическую закалку проводили при температурах охлаждающей среды 200, 350 и 500 °С с выдержкой 5, 10 либо 15 минут с последующим охлаждением на воздухе.

Термическую обработку поверхности твердого сплава со сверхвысокой скоростью нагрева (10^5 - 10^6 град/сек) и охлаждения проводили на лазерной установке импульсного действия по следующим технологическим режимам: плотность энергии обработки от 0,5 до 3,5 Дж/мм², коэффициент перекрытия пятна от 0 до 0,6.

После проведения термической обработки твердого сплава определяли микроструктуру, параметры тонкой структуры, механические свойства, а также проводили стойкостные испытания твердосплавных пластин резанием.

Измерение микротвердости проводили с помощью микротвердомера ПМТ-3. Топографию поверхности образцов определяли с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM-T20. Металлографический анализ проводили на микроскопах МИМ-10 и Альгами МЕТ 3. При проведении рентгеноструктурного и фазового анализа использовали дифрактометр ДРОН-УМ1 и минидифрактометр МД-10. Оп-



а)



б)

Рисунок 1. Внешний вид твердосплавных штабиков (а) и пластин (б)

Таблица 1. Условия и результаты опытов по изотермической обработке твердого сплава Т15К6

Температура нагрева под закалку, °С	Температура изотермической выдержки, °С	Время изотермической выдержки, мин	Твердость, НV	Коэрцитивная сила H _c , Э	Предел прочности при изгибе σ _{из} , МПа	Износ по задней поверхности, из, мм
1000	350	10				
150	150	5				
1150	500	15				
850	200	5				
X ₁	X ₂	X ₃ =X ₁ X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
+	+	+	1628	155	1260	0,24
-	+	-	1594	139	1270	0,15
+	-	-	1608	150	1430	0,17
-	-	+	1570	145	1340	0,18
0	0	0	1583	145	1430	0,14
исходные			1500	152	1200	0,17

ределение прочности на изгиб твердых сплавов проводили на универсальной разрывной машине ИР 5047-50 с погрешностью измерения ±1%. Оснастка применялась стандартная, изготовленная согласно ГОСТ 9391-80. Пластины в состоянии поставки и прошедшие термическую обработку подвергали стойкостным испытаниям на токарно-винторезном станке модели 16К20 при поперечном точении заготовок диаметром 200 мм из стали 45.

В качестве исходных материалов при проведении исследований использовали твердые сплавы группы ВК (ВК4, ВК8) и ТК (Т15К6, Т5К10), в виде штабиков и неперетачиваемых четырехгранных пластин (рисунок1).

При построении интерполяционной модели стойкости инструмента, упрочненного термической обработкой, эксперименты проводили по матрице полного факторного планирования второго порядка. При определении модели влияния изотермической обработки на свойства твердого сплава в качестве варьируемых факторов рассматривали температуру нагрева под закалку T_{из.з.} и температуру изотермической

Таблица 2. Матрица планирования и значение выходного параметра при изотермической закалке сплава ВК8

№ опыта	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	Выходной параметр U _{экс.} , G _{изг.} , МПа
1	+1	-1	-1	+1	
2	+1	+1	-1	+1	1900
3	+1	-1	+1	+1	2150
4	+1	+1	+1	+1	2430
5	+1	-1	-1	-1	1960
6	+1	+1	-1	-1	1790
7	+1	-1	+1	-1	2070
8	+1	+1	+1	-1	2100
9		0	0	0	2030

закалки T_{из.з.}. В качестве функций отклика приняты твердость, предел прочности при изгибе, а также износ по задней поверхности. Матрица планирования и значения выходных параметров, полученных при реализации опытов, представлены в таблицах 1, 2.

Значения температур обработки (интервал температур нагрева под закалку 1000 - 1150 °С,

нагрев для отпуска - 450 °С), выбирали исходя из следующего. Нагрев твердого сплава ниже температуры 1000 °С не дает каких-либо изменений в структуре твердого сплава, а выше температуры 1150 °С проявляется тенденция разупрочнения твердого сплава. Охлаждение после нагрева ниже 450 °С, обусловлено аллотропическим переходом β-Co имеющего гранцентрированную элементарную ячейку в α-Co имеющего гексагональную плотноупакованную элементарную ячейку, идентичную элементарной ячейке WC. Переход α>β происходит при 486 °С.

Сплав Т5К10 подвергали различным видам термической обработки. При этом температура нагрева под закалку составила 1000 ± 150 °С, температура изотермической выдержки 350 ± 150 °С. Время изотермической выдержки составляло 15 минут. Результаты испытания пластин приведены в таблице 3.

Уравнение регрессии по износостойкости имеет вид:

$$Y_2 = 0,4325 + 0,02X_1 - 0,12X_3 - 0,0125X_1X_3 - 0,015X_3X_4.$$

Анализ уравнения [3] показывает, что оно адекватно описывает процесс, а также то, что на износостойкость наибольшее влияние оказывает температура первой изотермической выдержки, и с ее повышением стойкость снижа-

ется. Анализ дифракционной картины и микроструктуры твердых сплавов, подвергнутых термической обработке по различным режимам позволяет сделать следующие выводы.

После спекания структурное состояние фазовых составляющих WC и Co можно считать равновесным. Карбид вольфрама WC представлен полным набором дифракционных линий, также как и Co. Наличие линий и соотношение их интенсивностей (рисунок 2) соответствует содержанию WC и Co в исследуемом материале. Карбидная фаза сплавов характеризуется невысокой дисперсностью тонкой структуры при наличии небольших микронапряжений.

Фазовый состав после применения различных видов термической обработки практически не изменяется. Однако при этом заметно некоторое изменение параметров тонкой структуры сплава. Фрактографии излома твердого сплава Т15К6 исходного, без термообработки и после изотермической закалки показаны на рисунке 3. Наблюдается повышение дисперсности блоков и микронапряжений. Эти изменения дают основание предположить механизм влияния термической обработки на эксплуатационные характеристики сплава. Значения величины микронапряжений и размеров блоков моза-

Таблица 3. Результаты испытания образцов Т5К10 после различных видов термической обработки.

Вид обработки	Исходный	Отжиг	Закалка с нагревом в электролите						Закалка с нагревом ТВЧ	
			однократная		двукратная		трехкратная			отпуск
				отпуск		отпуск		отпуск		
Твердость, НВ	1493	1238	1502	1377	1728	1529	1675	1604	1739	1584
Износ по задней поверхности, нз, мм	0,45	0,58	-	0,51	-	0,44	-	0,38	-	0,44
Износ по передней поверхности, нп, мм	0,59	0,67	-	0,62	-	0,57	-	0,53	-	0,63

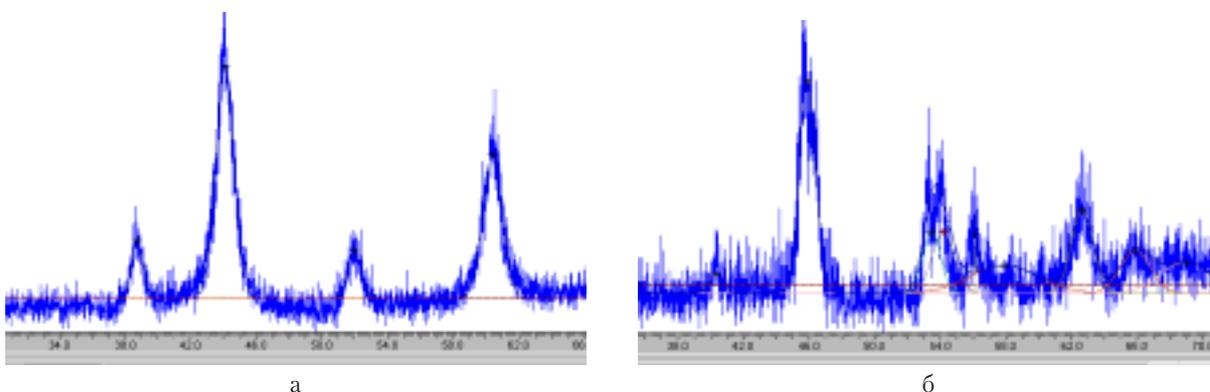


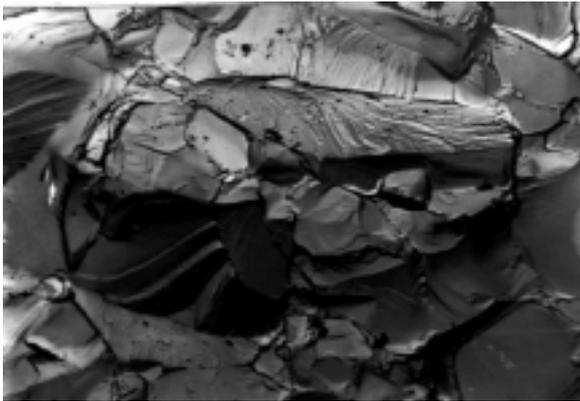
Рисунок 2. Дифрактограмма спекленного твердого сплава Т15К6 (а) и после изотермической закалки (б), диапазон углов отражения 20 – 60 °2θ

и фазы WC, рассчитанные методом аппроксимации, представлены в таблице 4.

Лазерная термообработка оказывает неоднозначное влияние на эксплуатационные характеристики твердосплавных пластин (рисунок 4). Так плотность энергии обработки, обеспечивающая минимальный износ сплава ВК8, составляет 0,9 Дж/мм², коэффициент перекрытия 0,5, диаметр пятна обработки 0,6 мм.

Таблица 4. Параметры тонкой структуры твердого сплава Т5К10

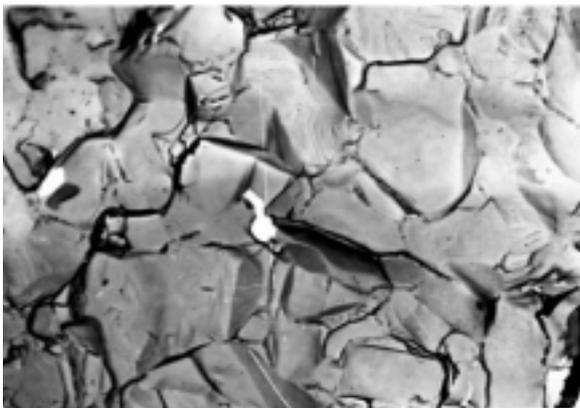
№ п/п	Режим термообработки	НКЛ	$\frac{\Delta a}{a}$	$D \cdot 10^{-5}$
1	Спеченный	101		0,93
		112	0,83	
3	Закалка, отпуск	101		0,54
		112	1,17	



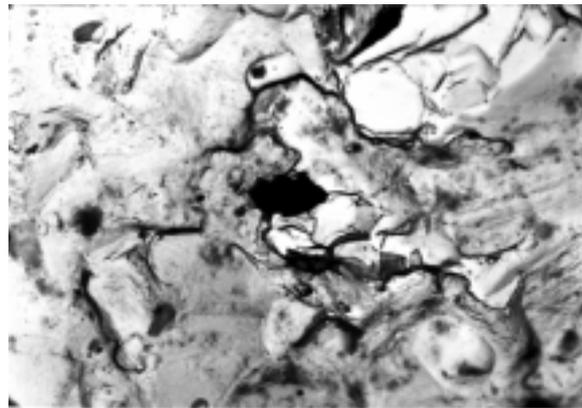
а)



б)



в)



г)

а) $T_n - 1150 \text{ }^\circ\text{C}/4 \text{ мин}$, закалка в масло. $\times 8800$; б) $T_n - 1150 \text{ }^\circ\text{C}/4 \text{ мин}$, закалка в масло. $T_{\text{отп}} - 200 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ мин}$. $\times 16600$; в) $T_n - 1150 \text{ }^\circ\text{C}/4 \text{ мин}$, изотермическая закалка $350 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ мин}$. $\times 10300$; г) исходный, без термообработки $\times 8700$

Рисунок 3. Фрактография излома твердого сплава Т15К6

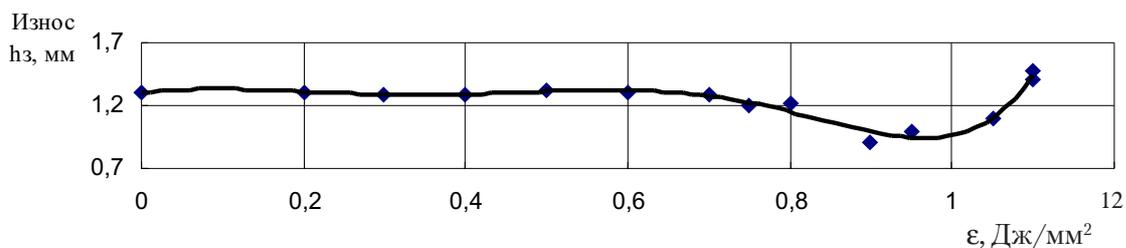


Рисунок 4. Влияние плотности энергии обработки на износ

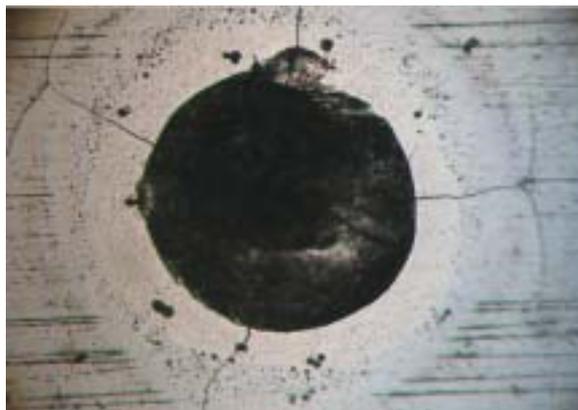
Однако при этом возможно образование дефектов, которые способствуют разрушению твердосплавной пластины. При значениях плотности энергии свыше $1,2 \text{ Дж/мм}^2$ по всей зоне обработки наблюдаются микротрещины, распространяющиеся вглубь и по поверхности сплава из-за температурных напряжений (рисунок 5).

Проведенный рентгенофазовый анализ (рисунок 6) показывает, что в образцах из сплава ВК8 подвергнутого лазерной термообработке при значении плотности энергии до $0,9 \text{ Дж/мм}^2$ видимых изменений в фазовом составе не наблюдается. С повышением плотности энергии становится заметным выделение углерода в виде графита (рисунок 6), что позволяет оценить температуру не ниже 1300°C .

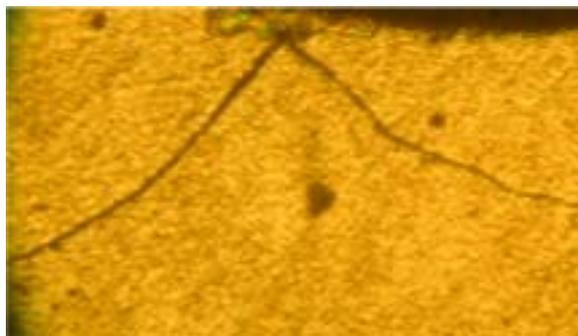
При точении твердыми сплавами, обработанными по режимам, обеспечивающим образование жидкой фазы, наблюдалось выкрашивание и образование трещин на поверхности сплава. Наилучшие результаты показали сплавы прошедшие предварительную обработку в расплаве соли KNO_3 .

С точки зрения фазового анализа и эксплуатационных испытаний в зоне лазерного воздействия наиболее приемлемой является структура с минимальными отклонениями от исходного состояния (таблица 5). Плотность энергии лазерного излучения при этом составляет от $0,9$ до $1,0 \text{ Дж/мм}^2$.

Наряду с исследованием влияния термической обработки в расплавах солей на структуру и свойства твердого сплава ВК8 определяли влияние термоциклической обработки, характеризующейся более мягкими режимами. Проводился



а



б

Рисунок 5. Сетка трещин на поверхности (а) и идущих вглубь (б) в зоне лазерной обработки сплава ВК8

пятикратный нагрев до температуры 1100°C в течение 30 секунд с последующим естественным охлаждением в среде аргона. В результате проведенных исследований по опыту № 4 было получено увеличение абразивной износостойкости в 2,6 раза, напряжение изгиба увеличилась с 1500 МПа до 2300 МПа при уменьшении твердо-

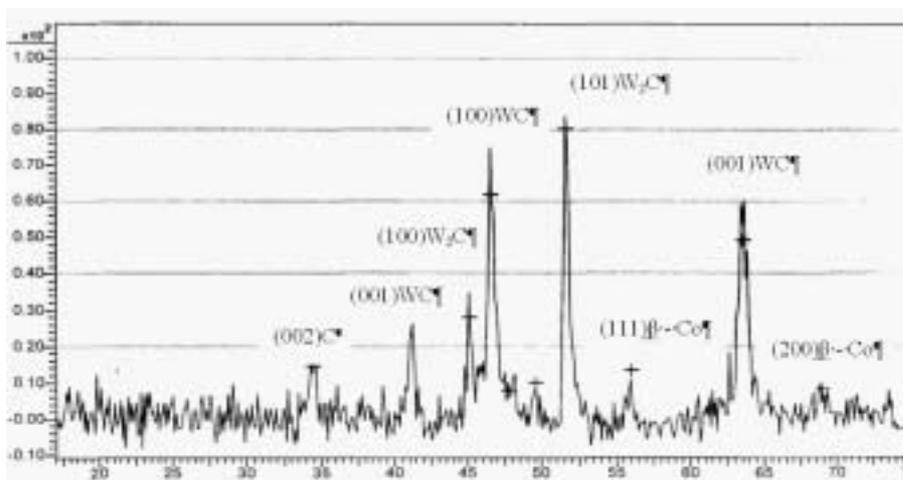
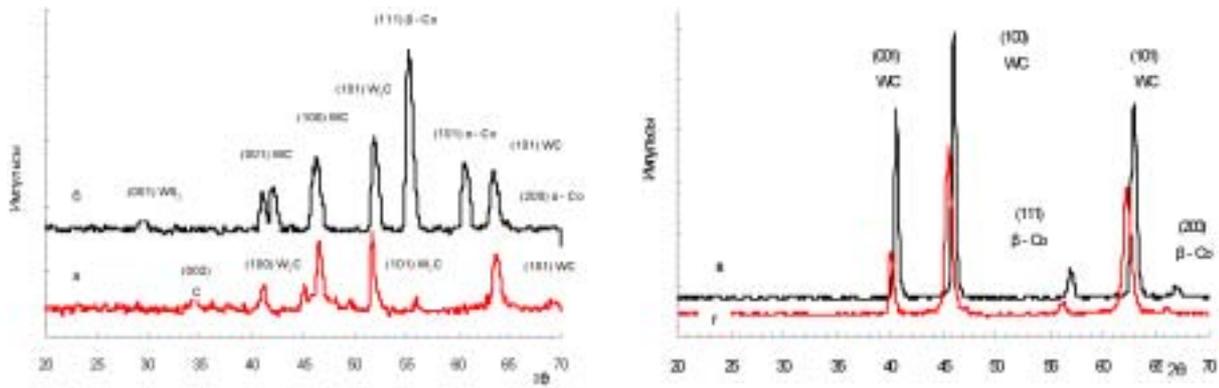


Рисунок 6. Дифрактограмма зоны лазерного воздействия сплава ВК8 диапазон углов отражения $20 - 70^\circ$



а) лазерная термообработка; б) термообработка ТВЧ, в) состояние поставки, г) изотермическая закалка

Рисунок 7. Дифрактограмма твердого сплава ВК8.

Таблица 5. Условия и результаты термообработки твердого сплава ВК8

Опыт №	Режим обработки					Свойства					
	T _{нагр.} , °C	Время нагр., сек	T _{зак.} , °C	n	Среда зак.	Предел прочности при изгибе		Износостойкость		Твердость	
						σ _{изг. ср.} , МПа	$\frac{\alpha_e}{\alpha_n}$	γ _{ср.}	$\frac{\alpha_e}{\alpha_n}$	HV _{ср.} , МПа	$\frac{\alpha_e}{\alpha_n}$
1	1100	30	400*	1	аргон	1700	$\frac{1590,0}{1810,0}$	1,8	$\frac{1,74}{1,86}$	1400	$\frac{1298,2}{1501,8}$
2			400*	2		1700	$\frac{1590,0}{1810,0}$	1,9	$\frac{1,88}{1,92}$	1300	$\frac{1251,7}{1348,3}$
3			400*	5		2300	$\frac{2182,4}{2431,6}$	2,6	$\frac{2,46}{2,74}$	1350	$\frac{1254,7}{1455,3}$
4			20	1	масло	1600	$\frac{1480,0}{1720,0}$	1,0	$\frac{0,96}{1,04}$	1500	$\frac{1437,7}{1562,3}$
5			60			1900	$\frac{1787,5}{2012,5}$	1,1	$\frac{0,96}{1,04}$	1500	$\frac{1437,7}{1562,3}$
6			100			1750	$\frac{1641,4}{1858,6}$	1,3	$\frac{1,22}{1,38}$	1500	$\frac{1437,7}{1562,3}$
7	Исходный образец					1500		1,0		1650	

* – температура охлаждения; n – количество повторов термообработки; δ – относительная абразивная износостойкость; $\frac{\alpha_e}{\alpha_n}$ – доверительные интервалы выходных параметров, верхний и нижний уровни соответственно.

сти до 20 % по сравнению с исходным не термообработанным образцом. Установлено, что термоциклическая обработка твердых сплавов приводит к изменению фазового состава. Рентгенофазовый анализ указывает на присутствие большого количества α – Co с ГПУ типом решетки на поверхности твердого сплава и твердого раствора WC в β – Co (рисунок 7).

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что некоторые виды термообработки, такие как, закалка с нагревом в электролите и закалка в соляных ваннах, позволяют улучшить эксплуатационные характеристики твердосплавного инструмента.

7.04.2011

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта по проекту № 2.1.2./1014 аналитической ведомственной целевой программы Рособразования «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)», руководитель профессор Богодухов С.И.

Список литературы:

1. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В.С. Панов, А.М. Чувилин, В.А. Фальковский. – М.: «МИСИС», 2004. – 464 с.
2. Лошак, М.Г. Упрочнение твердых сплавов / М.Г. Лошак, Л.И. Александрова. – Киев: Наукова думка, 1987. – 285с.
3. Богодухов С.И., Килов А.С., Козик Е.С., Шейн Е.А., Шейнин Б.М., Хайбуллин Р.Р. Повышение износостойкости сплава Т5К10 // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010.– №10. – с.127 - 130.
4. Гарипов В. С. Повышение эффективности многослойных покрытий сложного состава на твердосплавном режущем инструменте : автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 05.16.01- Металловедение и термическая обработка металлов / В. С. Гарипов . – Оренбург : – 2006

Сведения об авторах:

Богодухов Станислав Иванович, заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов аэрокосмического института Оренбургского государственного университета,

доктор технических наук, профессор

Килов Александр Степанович, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов аэрокосмического института Оренбургского государственного университета,

кандидат технических наук, доцент

Шейн Евгений Александрович, старший преподаватель кафедры материаловедения и технологии материалов аэрокосмического института Оренбургского государственного университета,

кандидат технических наук

Ясаков А.С., аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов аэрокосмического института Оренбургского государственного университета

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, к. 1206а, тел. (3532) 372511, e-mail: ogu@mailgate.ru

Хайбуллин Р.Р., старший преподаватель кафедры ремонта машин Оренбургского государственного аграрного университета, кандидат технических наук

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18, тел. (3532) 775230

UDC 669.018.25:621.78

Bogoduhov S.I, Kilov A.S., Shein E.A., Yasakov A.S., Haibullin R.R.

INCREASE OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF HARD ALLOYS BY HEAT TREATMENT

Influence of thermal processing on structure and property of firm alloys is investigated. Possibility of reduction of size of deterioration of the cutting tool by a variation of modes of thermal processing is established.

Bibliography:

1. Panov, V.S. Technology and properties of sintering hard alloys and products from them / V.S. Panov, A.M. Chuvilin, V.A. Falkovsky. – М.: «MISIS», 2004. – 464 с.
2. Loshak, M.G. Hardening of hard alloys / M.G. Loshak, L.I. Aleksandrova. – Kiev: Naukova dumka, 1987. – 285 с.
3. Bogoduhov S.I, Kilov A.S., Kosik E.S., Shein E.A., Sheinin B.M., Haibullin R.R. Increase of wear resistance of hard alloy Т5К10 // The bulletin of the Orenburg state university. – 2010.– №10. – с.127 - 130.
4. Garipov V. S. Increase of efficiency of multilayered coverings of difficult structure on the cutting tool: 05.16.01 Metallurgical science and thermal processing of metals / V.S.Garipov. - Orenburg: - 2006