

## ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ГРУППЫ ВК

**В работе рассматриваются процессы упрочнения изделий из твердых сплавов методами химико-термической обработки с применением индукционного нагрева, нагрева в соляных ваннах, а также с без окислительным нагревом. Приведены результаты испытаний обработанных изделий из твердых сплавов на прочность, твердость, а также на износостойкость и испытания резанием. Ключевые слова: твердые сплавы, термообработка, испытания.**

Металлообрабатывающий инструмент работает при сложном комплексе факторов, некоторые из которых являются взаимоисключающими, поэтому создание инструментального материала, обладающего идеальным комплексом свойств, задача практически не разрешимая.

В настоящее время существует множество методов повышения стойкости металлорежущего инструмента [1 - 3]. К числу наиболее изученных относятся алмазная (эльборовая) обработка, нанесение различными методами износостойких пленок [4 - 6]. Несмотря на очевидные преимущества методов упрочнения инструмента, широкое внедрение их в производство связано с рядом затруднений, которые объясняются высокой себестоимостью применяемых методов упрочнения и нестабильностью получаемых результатов [7]. Методами, которые могут значительно повысить прочность твердого сплава, имеющие небольшую себестоимость за счет применения относительно не дорогостоящего оборудования и возможности применения в мелкосерийном производстве могут быть термическая или химико-термическая обработка.

Объектом исследования являлись изделия из твердых сплавов (неперетачиваемые пятигранные пластины и штабики твердых сплавов размером 5×5×35 мм) группы ВК (ВК6, ВК8 и ВК15).

Целью работы являлось повышение эксплуатационных характеристик твердых сплавов методами термической и химико-термической обработки.

Исследования проводили в соответствии со следующим планом:

1. Термическая обработка твердых сплавов разными способами, в том числе:

- термическая обработка изделий из твердых сплавов в соляных ваннах;
- термическая обработка с без окислительным нагревом;

– химико-термическая обработка твердых сплавов.

2. Определение механических свойств (предела прочности при изгибе и твердости) и проведение испытаний на износостойкость и испытание термообработанных твердых сплавов резанием.

3. Анализ результатов испытаний и исследований структуры.

Твердость измеряли по методу Виккерса на твердомере HVS – 10 с погрешностью ±5 МПа. Определение микротвердости приповерхностного слоя до и после упрочнения проводили с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 1,96 Н.

Прочность на изгиб измеряли нагружением образца установленного на двух опорах на базе 30 мм для штабиков и 15 мм для пластин. Определение прочности на изгиб проводили на универсальной разрывной машине модели ИР5047-50-10 с погрешностью ±1 Н, с помощью приспособления для определения напряжения изгиба, изготовленного по ТУ 5808-0085 с учетом ГОСТ 9391-80.

Для определения абразивной износостойкости по массе была сконструирована и собрана машина для испытаний на износостойкость при трении твердосплавных штабиков. Испытания осуществляли по следующему принципу: предварительно взвешенный штабик закрепляли в державку, прижимаемую рычагом к поверхности алмазного круга, алмазный круг приводится в движении электродвигателем, проводили истирание в течение 30, 60, 90, 120, 150 и 180 секунд, после каждых 30 секунд взвешивали штабик и вычисляли потерю массы. Диаметр алмазного круга составляет 130 мм, а частота его вращения - 2750 об/мин.

Стойкостные испытания штабиков проводили на заводе «Металлист» (г. Оренбург) при

торцевом точении стали 40 на станке 16К20. Торец точили с подачей от центра заготовки к периферии при следующих режимах: глубина резания  $t = 1$  мм; подача  $S = 0,1$  мм/об; частоте вращения шпинделя  $n = 400$  мин<sup>-1</sup>. После каждого прохода фиксировали износ по задней и передней поверхности штабика.

Микроструктуру твердых сплавов исследовали на металлографическом микроскопе АЛТАМУ МЕТ 3 и просвечивающем электронном микроскопе ЭМВ 100 ЛМ. Микрошлифы изготавливали по следующей методике. Поверхности шлифа выравнивались шлифовальным кругом из карбида марки К325МЗ-СМ1К по ГОСТ 3647-71 с обильным охлаждением 5% раствором эмульсионной жидкости. Шлифование образцов осуществлялось с применением алмазного порошка АСМ14 по ГОСТ 9206-70. Полировку шлифа производили алмазным порошком АСМЗ-5, нанесенным на диск обтянутый бумагой.

При исследовании изменения микроструктуры твердых сплавов до и после упрочнения травление образцов осуществлялось реактивом: красная кровяная соль 10 г., едкое кали 10 г., вода 100 г. При исследовании тонкой структуры твердых сплавов методами электронной микроскопии проводилось электролитическое полирование и травление в смеси ортофосфорной (60 мл) и серной (40 мл) кислот (рисунок 1).

Термическую обработку проводили на оборудовании лаборатории кафедры материаловедения и технологии материалов ОГУ и на ПО «Стрела» (г. Оренбург) с использованием для нагрева соляных ванн типа СП2 и СП3 и охлаждением в различных средах и в муфельной печи ПМ-14.

По каждому режиму обрабатывали 10 пластин.

Для штабиков из твердых сплавов марок ВК6, ВК8, ВК15 был принят режим представленный на схеме (рисунок 2).

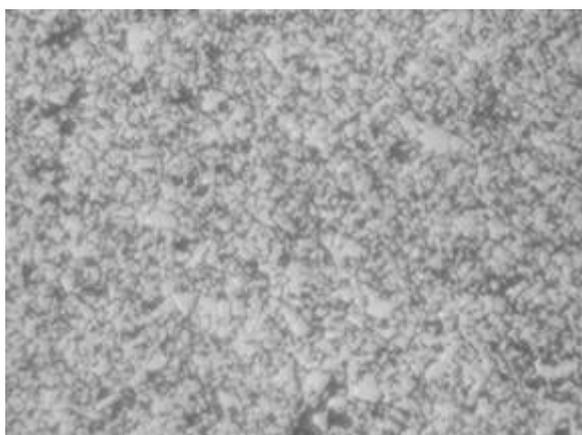
Подготовка образцов предусматривала подогрев, для этого образцы помещали рядом с ванной. Предварительный нагрев в соляной ванне до температуры 820 - 850 °С в течении 5 минут. Окончательный нагрев с переносом приспособления с образцами в ванну, в которой выдержали в течении 5 минут при температурах 1050, 1100, 1150, 1200 или 1250 °С.

Нормализацию образцов обеспечивали после нагрева в ванне СП3 путем охлаждения на воздухе с обдувом. Для образцов после нормализации проводили отпуск с выдержкой в печи в течении 1 ч при температурах 400, 500, 600 или 700 °С.

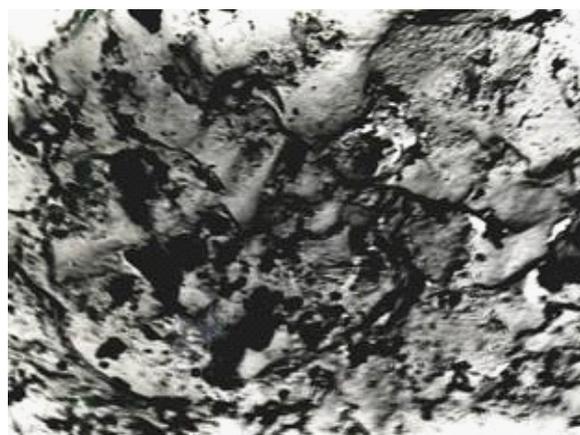
По полученным значениям твердости были построены графики зависимости твердости штабиков различных марок твердых сплавов от режимов термической обработки, для ВК8 показано на рисунке 3.

Анализ результатов показал, что твердость штабиков ВК6 снижается с повышением температуры отпуска. Повышение температуры закалки с 1050 до 1250 °С, также снижает твердость на 200 НВ. Максимальное значение твердости получили при  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С и  $T_{\text{отп}} = 400$  °С – 1570 НВ.

Твердость штабиков ВК8 снижается с повышением  $T_{\text{нор}}$  с 1050 до 1250 °С и  $T_{\text{отп}}$  с 400 до



а) × 1300



б) × 9000

Рисунок 1. Микроструктура сплава ВК8, без обработки. Металлографический анализ (а), просвечивающая электронная микроскопия (б)

700 °С. Максимальное значение твердости получили при  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С;  $T_{\text{отп}} = 400$  °С и  $T_{\text{отп}} = 500$  °С – 1580 НV.

Твердость штабиков ВК15 снижается с повышением  $T_{\text{нор}}$  с 1050 до 1250 °С и  $T_{\text{отп}}$  с 400 до 700 °С. Максимальное значение твердости получили при  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С;  $T_{\text{отп}} = 400$  °С – 1580 НV.

Были построены графики зависимости прочности на изгиб штабиков от режимов термической обработки. Для ВК15 график показан на рисунке 4. Прочность штабиков ВК6, ВК8, ВК15 уменьшается с повышением  $T_{\text{нор}}$  с 1050 до 1250 °С и  $T_{\text{отп}}$  с 400 до 700 °С.

Лучшие режимы термообработки:

– для штабиков ВК6 –  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С,  $T_{\text{отп}} = 400$  °С;

– для штабиков ВК8 –  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С,  $T_{\text{отп}} = 400$  °С.

– для штабиков ВК15 –  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С,  $T_{\text{отп}} = 400$  °С.

По результатам испытаний на износ при трении в течении 30, 60 и 90 с были построены гистограммы.

Анализ результатов показал, что изнашивание при истирании происходит практически линейно с течением времени. Для штабиков из ВК6 минимальный износ около 0,05 г за 30 с для следующих режимов:  $T_{\text{нор}} = 1200$  °С, без отпуска;  $T_{\text{нор}} = 1250$  °С, без отпуска;  $T_{\text{нор}} = 1250$  °С,  $T_{\text{отп}} = 400$  °С. Для штабиков ВК8 минимальный износ 0,04 – 0,05 г за 30 с получен при режимах термообработки:  $T_{\text{нор}} = 1200$  °С,  $T_{\text{отп}} = 400$  °С;  $T_{\text{нор}} = 1250$  °С,  $T_{\text{отп}} = 600$  °С. Для штабиков ВК15 с повышением  $T_{\text{нор}}$  с 1200 до 1250 °С износ увеличивается. Лучший режим термообработки –  $T_{\text{нор}} = 1200$  °С,  $T_{\text{отп}} = 500$  °С, износ около 0,04 г.

Исследуемые образцы подвергали стойкостным испытаниям при точении. Результаты испытаний (таблица 1) на стойкость термобработанных твердых сплавов тождественны результатам испытания на износ при трении.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что оптимальный уровень свойств, т.е. максимальная твердость и прочность при минимальном износе при резании и истирании, составил:

1. для ВК6 лучший режим  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С;  $T_{\text{отп}} = 400$  °С, повышение прочности в 1,6 раза,  $\sigma_B = 2996$  Н/мм<sup>2</sup>, твердость на том же уровне 1562 НV (твердость исходных 1650 НV), износ при истирании 0,064 г - при точении 0,04 мм;

2. для ВК8 лучший режим  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С;  $T_{\text{отп}} = 400$  °С, повышение прочности в 1,6 раза,  $\sigma_B = 2922$  Н/мм<sup>2</sup>, твердость 1590 НV (твердость исходных 1655 НV), износ при истирании 0,059 г - при точении 0,04 мм;

3. для ВК15 лучший режим  $T_{\text{нор}} = 1050$  °С;  $T_{\text{отп}} = 400$  °С, повышение прочности в 1,5 раза,  $\sigma_B = 2844$  Н/мм<sup>2</sup> (исходных  $\sigma_B = 1694$  Н/мм<sup>2</sup>), твердость осталась практически без изменений 1583 НV, износ при истирании 0,028 г - при точении 0,28 мм.

Провели несколько опытов по термодиффузионному насыщению поверхности образцов режущего инструмента из твердого сплава.

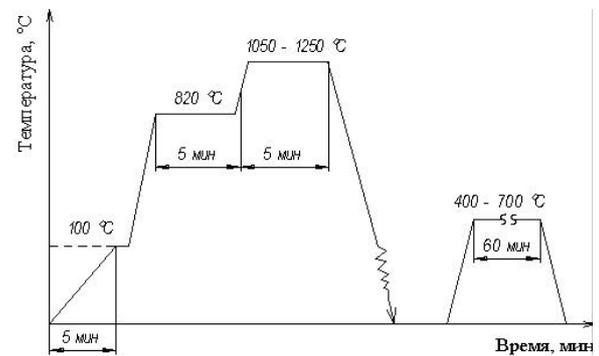


Рисунок 2. Схема термической обработки твердосплавных образцов в соляных ваннах

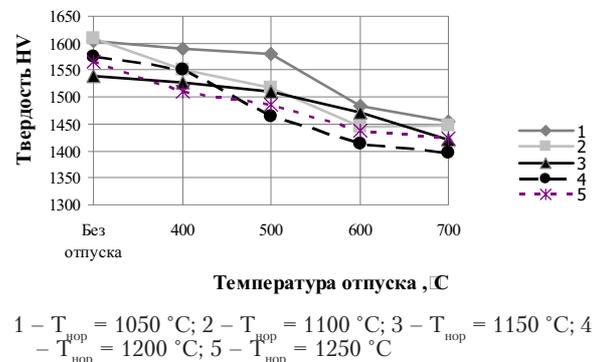


Рисунок 3. График зависимости твердости штабиков ВК8 от температуры отпуска

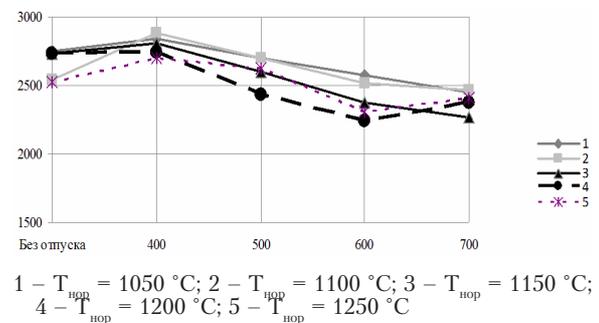


Рисунок 4. График зависимости прочности штабиков ВК15 от температуры отпуска

Таблица 1. Сводная таблица результатов испытаний свойств твердых сплавов

Марка	Прочность, $\sigma_{\text{в}}, \frac{\text{max}}{\text{min}}, \text{Н/мм}^2$	Твердость HV, $\frac{\text{max}}{\text{min}}$	Износ при истирании, г	Износ при точении, мм
BK6	2996 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 400$ )*	1562 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 400$ )	0,064 ( $T_{\text{н}} = 1200,$ $T_{\text{о}} = 600$ )	0,04 ( $T_{\text{н}} = 1050,$ $T_{\text{о}} = 400$ )
	1829 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 600$ )	1452 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 700$ )		
BK8	2922 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 400$ )	1590 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 400$ )	0,059 ( $T_{\text{н}} = 1150,$ $T_{\text{о}} = 400$ )	0,04 ( $T_{\text{н}} = 1050,$ $T_{\text{о}} = 400$ )
	2479 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 700$ )	1455 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 700$ )		
BK15	2844 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 400$ )	1571 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 400$ )	0,061 ( $T_{\text{н}} = 1200,$ $T_{\text{о}} = 400$ )	0,28 ( $T_{\text{н}} = 1050,$ $T_{\text{о}} = 400$ )
	2448 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 700$ )	1409 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 700$ )		
	2070 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 700$ )	1518 ( $T_{\text{н}} = 1050, T_{\text{о}} = 700$ )		

\* – в скобках указана температура нормализации и отпуска в °С

Перед проведением ХТО с целью определения необходимости стабилизации механических свойств, провели отжиг образцов твердого сплава BK8 в засыпке графита. Режим отжига представлен на рисунке 5.

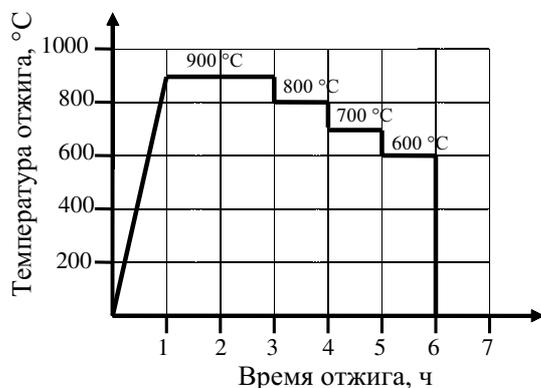


Рисунок 5. Режим отжига твердого сплава BK8

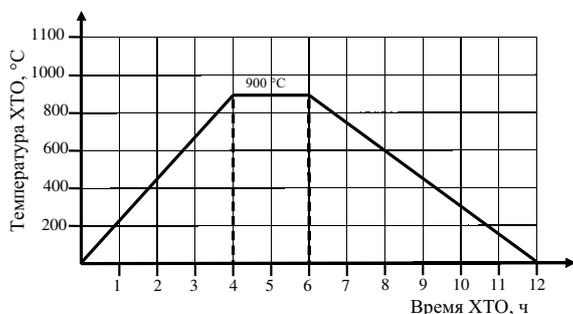


Рисунок 6. Режим термодиффузионного насыщения

Анализ данных после отжига по механическим свойствам указал на очень малое изменение разброса механических свойств, и незначительное увеличение механических свойств после отжига (прочность на изгиб увеличилась на 6 %, износостойкость на 5 %, твердость увеличилась на 15 %), связи с этим проведение отжига до ХТО принято проводить нецелесообразным.

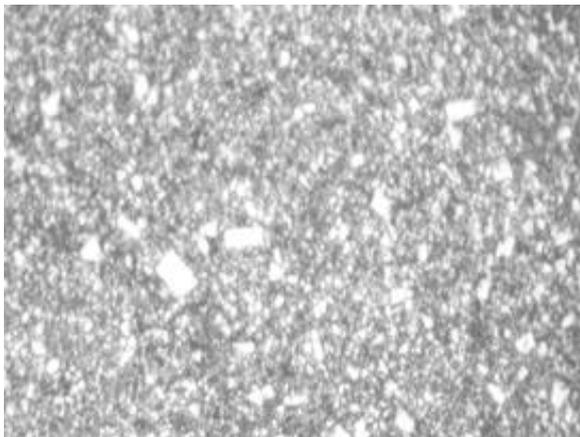
При проведении химико-термической обработки твердых сплавов нагрев контейнеров с образцами осуществляли в электропечи СУОЛ-044. В каждый контейнер загружали по 5 штабиков марок BK6, BK8, BK15 и шихту. Составы шихт: ТiС + ЖКС (TiC - 25%,  $K_4[Fe(CN)_6]$  - 25%, шамот - 48,5%,  $NH_4Cl$  - 1,5 %); бура ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  - 50%, шамот - 48,5%,  $NH_4Cl$  - 1,5 %); цианирование ( $(NH_2)_2CO$  - 2,5 %,  $Na_2CO_3$  - 2,5 %,  $NaCl$  - 10 %, шамот - 85 %); ЖКС ( $K_4[Fe(CN)_6]$  - 50 %, шамот - 48,5 %,  $NH_4Cl$  - 1,5 %).

Контейнеры герметизировали и подвергали нагреву до 900 °С, с выдержкой при этой температуре 2 часа либо нагреву до 1100 °С, с выдержкой 4 часа. Затем проводили охлаждение контейнера вместе с печью, в течение 6 часов (рисунок 6).

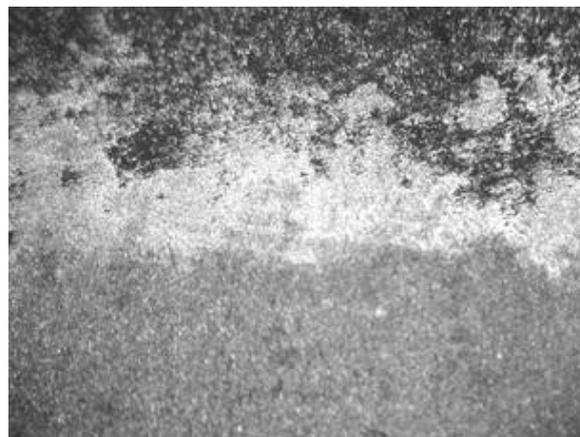
После проведения экспериментов анализировали глубину диффузирования насыщающих элементов (рисунок 7), определяли микро-

Таблица 2. Свойства образцов после ХТО при 1100 °С, выдержка 4 часа, охлаждение вместе с печью

Условное название шихты при ХТО	Твердость HV	Прочность, Н/мм <sup>2</sup>	Износ при истирании в течении 30 с, г	Износ после точения, мм	
				по передней поверхности	по задней поверхности
<b>ВК6</b>					
Исходные	1650	1669	0,072	0,02	0
TiC + ЖКС	1521	2996	0,057	0,18	0,44
Бура	1438	3041	0,063	0,04	0
Цианирование	1448	2582	0,065	0,36	0
ЖКС	1480	3121	0,062	0,12	0
<b>ВК8</b>					
Исходные	1655	1678	0,059	0,08	0
TiC + ЖКС	1553	2735	0,057	0,28	0,18
Бура	1473	2324	0,061	0,05	0,04
Цианирование	1511	3048	0,064	0,58	скол
ЖКС	1492	2264	0,051	0,12	0



а) × 600



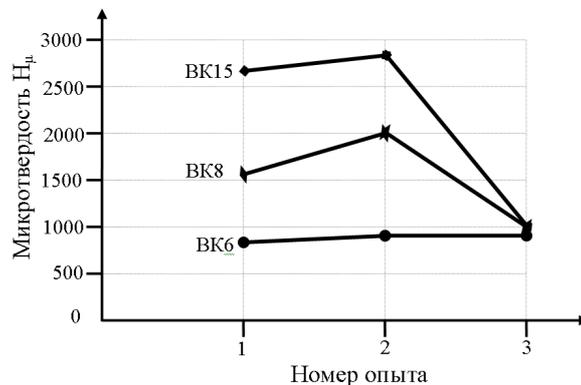
б) × 200, h = 420 мкм

Рисунок 7. Микроструктуры образцов твердого сплава ВК8 до и после термодиффузионного насыщения: а) исходный ВК8; б) насыщение ЖКС  $K_4(Fe(CN)_6)$  без активатора

твердость (рисунок 8), твердость, прочность на изгиб, а также проводили испытания на износостойкость (таблица 2).

После ХТО на образцах наблюдалось незначительное понижение твердости (до 15%), повышение прочности (до 50%). Стойкость образцов при истирании на алмазном диске заметно повысилась. Нельзя сделать однозначный вывод по стойкостным испытаниям точением, так как наблюдается большой разброс величины износа даже на одинаково обработанных образцах.

В целом процесс ХТО твердых сплавов группы ВК дает некоторое повышение эксплуатационных свойств, но требуются дальнейшие исследования по подбору составов и режимов.



Опыт №1  $Al_2O_3, K_4(Fe(CN)_6)$  при  $T = 900\text{ }^\circ C$ .  
 Опыт №2  $Al_2O_3, NH_4Cl, K_4(Fe(CN)_6)$  при  $T = 900\text{ }^\circ C$   
 Опыт №3  $Al_2O_3, NH_4Cl, Cu$  при  $T = 900\text{ }^\circ C$

Рисунок 8. Диаграмма микротвердости

В результате проведенной работы по упрочнению изделий из твердых сплавов с использованием различных методов нагрева (индукционный, контактный, в водороде, в соляных ваннах и др.) установлено, что:

– твердость термообработанных изделий повышается до 20 % по сравнению с исходными в состоянии поставки.

– прочность на изгиб изделий повышаются в 1,5 – 1,8 раза;

– после ХТО на образцах наблюдалось незначительное понижение твердости (до 15 %), повышение прочности (до 50 %). Стойкость об-

разцов при истирании на алмазном диске заметно повысилась.

Исследован процесс термообработки твердых сплавов (ВК6, ВК8, ВК15) в соляных ваннах, проведена оптимизация условий изотермической закалки.

Проводятся промышленные испытания термообработанных изделий из твердых сплавов на Оренбургском локомотиворемонтном заводе, по завершении которых будут выданы рекомендации по внедрению термической обработки изделий из твердых сплавов при подготовке режущего инструмента.

22.09.11

**Список литературы:**

1. Богодухов, С.И. Методы повышения эксплуатационных свойств твердосплавного режущего инструмента / С.И. Богодухов, В.С. Гарипов, Е.В. Калмыков, Б.М. Шейнин ; ГОУ ОГУ. – Оренбург, 2004. – 27 с. - Деп. в ВИНТИ 11.10.04 № 1583-В2004.
2. Панов, В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В.С. Панов, А.М. Чувиллин.- М.: МИСИС, 2001. - 428 с.
3. Бондаренко, В.А. Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов / В.А. Бондаренко, С.И. Богодухов. – М.: Машиностроение, 2000. – 141 с.
4. Лошак, М.Г. Упрочнение твердых сплавов / М.Г. Лошак. – К.: Наукова думка, 1997. – 142 с.
5. Верещака, А.С. Производство и применение в промышленности режущего инструмента из твердых сплавов с покрытиями / А.С. Верещака, В.П. Табаков. – М.: ЦНИИцветмет, 1980. – 34 с.
6. Табаков, В.П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана / В.П. Табаков. – Ульяновск, 1998. – 144 с.
7. О термической обработке карбидо-вольфрамовых твердых сплавов. Осолкова Т.Н. Вестн. гор. - металлург. секции РАЕН. Отд-ние металлургии. 2008, №22 с 192-200.

Сведения об авторах:

**Богодухов С.И.**, заведующий кафедрой МТМ Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор

**Шейн Е.А.**, преподаватель кафедры МТМ Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук

**Ясаков А.С.**, аспирант Оренбургского государственного университета

**Гарипов В.С.**, кандидат технических наук, доцент  
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 773419  
E-mail: matm@mail.osu.ru

**UDC 621.762**

**Bogoduhov S.I., Garipov V. S., Shein E.A., Jasakov A.S.  
HIMIKO-THERMAL PROCESSING OF FIRM ALLOYS OF GROUP VK**

In work processes of hardening of products of firm alloys by methods of himiko-thermal processing with application of induction heating, heating in salinas, and also with without oxidising heating are considered. Results of tests of the processed products from firm alloys on durability, hardness, and also on wear resistance and tests by cutting are resulted.

Keywords: firm alloys, heat treatment, tests.

**Bibliography:**

1. Bogoduhov, S.I. Method of increase of operational properties твердосплавного the cutting tool / S.I. Bogoduhov, V.S. Garipov, E.V. Kalmyks, B.M. Shejnin; GOU OGU. - Orenburg, 2004. - 27 with. - Dep. In VINITI 11.10.04 № 1583-V2004.
2. Sirs, V.S. Tehnologija and property firm alloys and products from them / V.S. Panov, A.M. Chuvilin. - M: MISIS, 2001. - 428 with.
3. Bondarenko, V.A. Obespechenie qualities and improvement of characteristics of cutting tools / V.A. Bondarenko, S.I. Bogoduhov. - M: mechanical engineering, 2000. - 141 with.
4. Loshak, M.G. Uprochnenie of firm alloys / M.G. Loshak. - K: Naukova dumka, 1997. - 142 with.
5. Vereshchaka, A.S. Manufacture and application in the industry of the cutting tool from firm alloys with coverings / A.S. Vereshchaka, V.P. Tabakov. - M: CNIIcvetmet, 1980. - 34 with.
6. Tabakov, V.P. Rabotosposobnost of the cutting tool with wearproof coverings on the basis of difficult nitrides and karbidonitridov the titan / V.P. Tabakov. - Ulyanovsk, 1998. - 144 with.
7. About thermal processing of karbido-tungsten firm alloys. Oskolkova So-called Vestn. Mountains. - the metallurgist, sections of the Russian Academy of Natural Sciences. Otd-nie metallurgy. 2008, №22 with 192-200.