

# Материаловедение

УДК (536.421.5 + 620.18): 622.24.05

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СПЕКАНИЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10-ОМ НА ЕГО СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА<sup>1</sup>

*Д.А. Захаров<sup>1</sup>, А.П. Амосов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ОАО «Волгабурмаш»  
443004, г. Самара, ул. Грозненская, 1

<sup>2</sup> Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: zaharov.Dmi@yandex.ru

*Исследовано влияние различных режимов спекания образцов из твердого сплава ВК10-ОМ на их физико-механические свойства и структуру. Показана сильная зависимость свойств и структуры от температурно-временных параметров, атмосферы спекания и состава порошковой засыпки. Найдены оптимальные режимы спекания образцов в печах различного типа и проведен сравнительный анализ их свойств.*

**Ключевые слова:** *твердые сплавы с особо мелким зерном, режущий инструмент, спекание, порошковая засыпка, микроструктура, износостойкость.*

**Введение.** Сплавы с особо мелким зерном группы ОМ (ВК6-ОМ, ВК10-ОМ, ВК15-ОМ) разрабатывались для обработки резанием особо твердых и абразивных материалов, когда предъявляются высокие требования к чистоте обработанной поверхности и точности размеров [1]. До последнего времени на этих операциях применялись сплавы с мелким зерном ВК3-М, ВК4-М, ВК6-М, Т30К4, В253 (ВК3 + 0,25% VC), но все они из-за своей хрупкости, а сплав ВК6-М – из-за недостаточной износостойкости оказались менее эффективными по сравнению со сплавами группы ОМ. Для обработки труднообрабатываемых деталей с ударом применяются сплавы ВК10-ОМ и ВК15-ОМ, которые обладают оптимальным сочетанием двух конкурирующих свойств – твердости и механической прочности. ВК10-ОМ рекомендуется применять при черновом и получерновом точении жаропрочных, высокопрочных сталей и сплавов (ЭИ437-Б, ЭП202, ЭИ762, Х18Н10-Т, ЭИ654, ЭИ993 и т. д.), титановых сплавов ВТ14, ВТ9 и др., W, Mo и их сплавов.

Твердосплавную смесь ВК10-ОМ и инструменты на ее основе выпускает в настоящее время в России ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» (ОАО «КЗТС») [2].

**Целью** данной работы было получение сведений об оптимальных режимах спекания для сплава ВК10-ОМ в условиях твердосплавного производства ОАО «Волга-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена с использованием научного оборудования центра коллективного пользования СамГТУ «Исследование физико-химических свойств веществ и материалов».

*Дмитрий Александрович Захаров – аспирант.  
Александр Петрович Амосов – д.ф.-м.н., профессор.*

бурмаш» (ОАО «ВБМ») для исследования возможности использования этого сплава в производстве буровых долот.

Исследования проводились на твердосплавной смеси ВК10-ОМ производства ОАО «КЗТС» со следующими исходными данными сертификата: 1) режим спекания: температура спекания  $1380 \pm 10$  °С; скорость продвижения (продвижки) 6 мм/мин в токе водорода 3-5 м<sup>3</sup>/час; 2) содержание компонентов (% масс.): кобальт – 10,14; углерод общий/свободный – 5,44/0,04; кислород – 0,61; железо – 0,014. Анализ на содержание углерода в данной смеси, проведенный в лаборатории ОАО «ВБМ», показал содержание углерода общего 5,42%, свободного 0,04%, что соответствует данным сертификата.

Для сравнительного анализа изменения свойств твердого сплава от условий спекания изготавливались стандартные образцы для определения физико-механических свойств сплава после спекания в виде брусков с размерами 27×8,4×7мм и штабиков с размерами 12,8×12,7×9мм.

Как известно, свойства твердых сплавов очень сильно зависят от режимов и условий спекания твердосплавных смесей порошков [1]. В твердосплавном производстве ОАО «ВБМ» могут быть реализованы режимы и условия спекания, представленные в табл. 1.

Таблица 1

**Режимы и условия спекания образцов из смеси ВК10-ОМ**

№ режима спекания	Тип печи	Атмосфера спекания	Состав засыпки	Температура спекания, °С	Время спекания, мин	Скорость продвижки, мм/мин
1	Проходная	Водород	25А, С <sub>общ</sub> до 1%	1390	–	9,6
2	Проходная	Водород	25А+ Т900, С <sub>общ</sub> до 1,5%	1390	–	19,2
3	Проходная	Водород	25А+ Т900, С <sub>общ</sub> до 3%	1390	–	19,2
4	Вакуумная	Вакуум	Нет	1400	30	Нет
5	Вакуумно-компрессионная	Вакуум с пониженным давлением аргона 10 <sup>3</sup> Па, высокое давление аргона 3 МПа	Нет	1400	40	Нет
6	Вакуумно-компрессионная	Смесь природного газа и водорода, вакуум с пониженным давлением аргона 10 <sup>3</sup> Па, высокое давление аргона 3 МПа	Нет	1400	40	Нет

Для спекания образцов применялись три типа печей с различной атмосферой в них: проходная с водородной атмосферой, вакуумная с остаточным давлением воз-

духа порядка 6 Па и вакуумно-компрессионная с атмосферой из смеси природного газа и водорода на первом этапе, пониженным давлением аргона на втором этапе и высоким давлением аргона 3МПа на третьем.

В проходной печи использовалась порошковая засыпка образцов для защиты их от обезуглероживания. Засыпка состояла из электрокорунда белого марки 25А с добавками сажи технической марки Т900, которые увеличивали содержание общего углерода в засыпке с 1 до 3% масс.

Температура спекания была 1390-1400 °С. В проходной печи варьировалась скорость продвижения, определяющая время спекания. При спекании по вакуумной технологии время спекания было фиксированным: 30 и 40 мин.

Результаты определения физико-механических свойств и анализа микроструктуры спеченных образцов представлены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2

**Физико-механические свойства спеченных образцов смеси ВК10-ОМ**

Номер режима спекания	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Твердость HRA,	Коэрцитивность $H_c$ , Эрстед	Магнитное насыщение $M_s$ , г/гСо	Предел прочности на изгиб $\sigma_{изг}$ , МПа
1	14,53	91,4	260	116	740
2	14,51	91,0	274	126	1570
3	14,43	89,7	206	131	1790
4	14,63	91,3	238	104	1750
5	14,59	91,0	238	116	1780
6	14,53	90,9	234	123	1820

Таблица 3

**Результаты анализа микроструктуры спеченных образцов ВК10-ОМ**

Номер режима спекания	Пористость*	Наличие сегрегации	Наличие $\eta$ -фазы (CoW) <sub>3</sub> C	Большие кристаллы, мкм	Скопления крупных кристаллов, мкм
1	B2-B3	Нет	Большие включения	35	42×10
2	B2	Есть	Есть	31	95×18
3	B2	Нет	Нет	33	123×14
4	B3	Есть	Есть	24	58×31
5	A1	Нет	Мелкие включения	Нет	102×19
6	A1	Нет	Есть	Нет	30×10

\*Балл пористости приведен по стандартной шкале ГОСТ 9391-80 [3].

Режим 1 практически соответствует режиму спекания, указанному в сертификате поставщика. Состав засыпки: электрокорунд белый марки 25А с содержанием общего углерода до 1% , без добавления сажи Т900.

Следует отметить высокое значение твердости образцов после спекания при очень низком значении предела прочности на изгиб. Повышенная пористость сплава, дефекты микроструктуры в виде больших кристаллов и их скоплений, большое присутствие включений  $\eta$ -фазы  $(CoW)_3C$  значительно снижают прочностные свойства твердого сплава, следовательно, инструмент из такого сплава будет очень хрупким и быстро выйдет из строя.

Скорее всего, темп толкания 9,6 мм/мин – слишком медленный для проходной печи ОАО «ВБМ» и образцы сильно обезуглероживаются в печи из-за длительного воздействия водородной атмосферы. Также часть углерода из сплава может переходить в засыпку при малом содержании общего углерода в ней.

Поэтому для следующего исследования был выбран режим 2, где был увеличен в 2 раза темп толкания и к электрокорунду белому марки 25А добавлена сажа марки Т-900 с доведением содержания общего углерода до 1,5%.

Полученное значение предела прочности в 2 раза превысило результат предыдущего испытания, но  $\eta$ -фаза в структуре все еще присутствовала, пусть и в меньшем количестве. В образце наблюдалась пористость В2 по ГОСТ 9391-80, а также большие кристаллы и их скопления. Следует отметить, что в структуре образца появился дефект сегрегации, т. е. неправильного распределения зерна, – такая ситуация проявляется обычно в результате загрязнения сортом порошка с другой дисперсностью. Значение твердости уменьшилось, но тем не менее осталось на высоком уровне. Полученные свойства образца соответствует техническим требованиям на сплав ВК10-ОМ[1].

Следующим этапом исследования стала попытка еще более науглеродить сплав путем диффузии углерода из засыпки в образцы. Для этого к электрокорунду белому марки 25А была добавлена сажа марки Т-900 с доведением содержания общего углерода до 3%.

Результаты спекания по режиму 3 показывают значительное повышение предела прочности на изгиб, но в ущерб значению твердости. В структуре сплава уже практически нет  $\eta$ -фазы, но наблюдается увеличение размера скоплений крупных кристаллов. Поэтому предыдущий вариант режима спекания в водородной печи более предпочтителен.

Далее проводилось спекание опытных образцов в вакуумной печи General Electric (режим 4) при остаточном давлении порядка 6 Па. Как видно из табл. 3, после спекания сплав получился сильно пористым с баллом В3, с присутствием  $\eta$ -фазы и сегрегации в структуре. Но тем не менее этот образец имеет по сравнению со свойствами всех образцов, спекавшихся в проходной печи, наилучшее сочетание твердости и прочности. Микроструктура полученного сплава оказалась достаточно мелкозернистой.

Для повышения значения предела прочности за счет устранения сильной пористости в испытываемом сплаве было проведено спекание образцов в вакуумно-компрессионных печах с газовой атмосферой разного состава (режимы 5 и 6).

Спекание по режиму 5 проводилось при пониженном давлении аргона порядка  $10^3$  Па, затем на стадии газостатирования прикладывалось высокое давление аргона 3МПа. Результаты анализа микроструктуры показали практически отсутствие пористости, больших кристаллов и  $\eta$ -фазы. Отрицательным моментом явилось присут-

ствие скопления крупных кристаллов, но при этом образец имел высокое значение твердости и предела прочности на изгиб (см. табл. 2).

Спекание по режиму 6 проводилось с нормализованной подачей смеси газов при 1000 °С и пониженным давлением аргона при спекании 10<sup>3</sup> Па. Остальные условия соответствовали режиму 5. Микроструктура очень мелкозернистая, но по всей поверхности образца обнаружена кружевная η-фаза, а также скопление крупных кристаллов. Этот образец показал наиболее высокое значение предела прочности при практически идентичной твердости образца, спеченного по режиму 5.

На графике представлены обобщенные для всех образцов зависимости предела прочности от твердости. Из него видно, что наибольшей прочностью при высокой твердости обладают образцы, спеченные по режимам 4, 5 и 6. У образца 4 наибольшая твердость, но и наиболее дефектная структура, которая отрицательно может сказаться на ударной стойкости изделия из такого сплава. У образца 6 наибольшая прочность, но присутствуют включения η-фазы. Образец 5 обладает несколько меньшей прочностью, но большей твердостью и однородной мелкозернистой структурой. Изделия из такого сплава должны обладать высокой износостойкостью и лучше переносить нагрузки ударного характера.

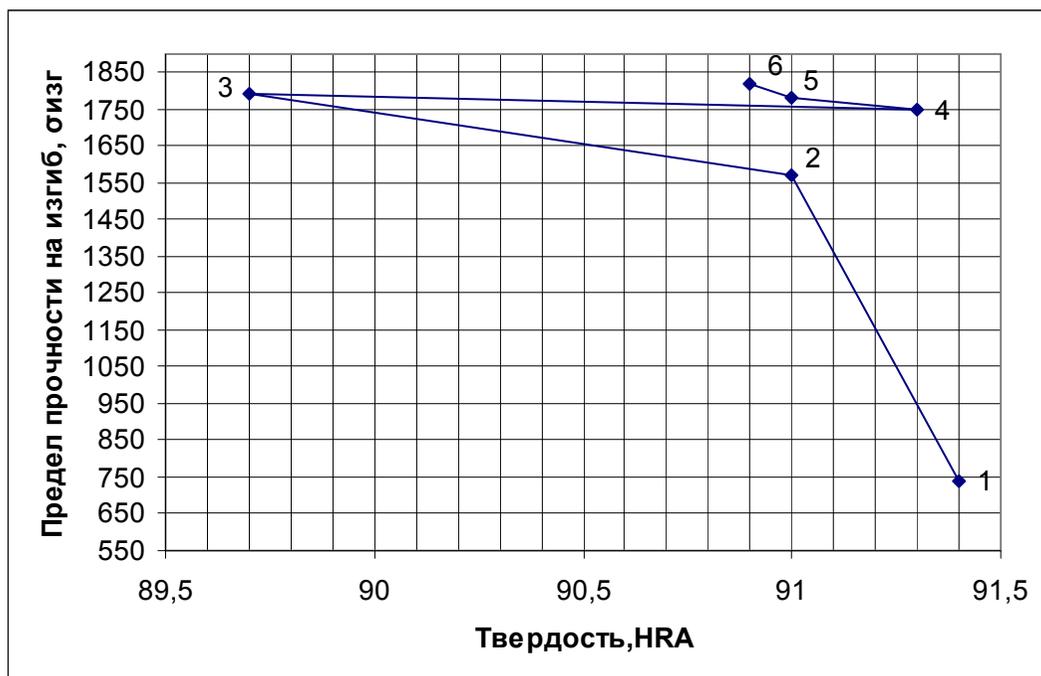


График зависимости предела прочности на изгиб от твердости образцов ВК10-ОМ, спеченных по разным режимам (обозначены цифрой и точкой)

#### Выводы:

1. Исследовано влияние 6 различных режимов спекания образцов из твердого сплава ВК10-ОМ на их физико-механические свойства и структуру.
2. Показана сильная зависимость свойств и структуры от температурно-временных параметров, атмосферы спекания и состава порошковой засыпки.
3. Найдены оптимальные режимы спекания образцов в печах различного типа и проведен сравнительный анализ их свойств.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Панов В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: Учеб. пособие / В.С. Панов, В.А. Фальковский, А.М. Чувилин. – 2-е изд. – М.: МИСИС, 2004. – 464 с.
2. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Под ред. Ю.В. Левинского. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.
3. Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры: ГОСТ 9391-80. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 12 с.

*Статья поступила в редакцию 5 июля 2011 г.*

## INFLUENCE OF CONDITIONS OF SINTERING OF HARD ALLOY WC-CO 10-OM ON ITS STRUCTURE AND PROPERTY

***D.A. Zaharov<sup>1</sup>, A.P. Amosov<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> Open Societies «Volgaburmash»  
1, Grozny st., Samara, 443004

<sup>2</sup> Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*Influence of various modes of sintering of samples from firm alloy WC-Co10 fine grain size on their physical-mechanical properties and structure is investigated. Strong dependence of properties and structure from temperature-time parameters, atmosphere of sintering and structure powder charge is shown. Optimum modes of sintering of samples are found in furnaces of various type and the comparative analysis of their properties is carried out.*

***Keywords:*** firm alloys with especially small grain, the cutting tool, sintering, powder charge, a microstructure, wear resistance.

---

*Dmitriy A. Zaharov – Postgraduate student.*

*Alexander P. Amosov – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor.*