

# Разупрочнение отходов твердых сплавов закалкой для последующего дробления

М. И. Дворник, Т. Б. Ершова, А. Д. Верхотуров,  
Л. П. Метлицкая, С. А. Пячин

---

Изучена прочность отходов твердого сплава для облегчения последующего дробления посредством закалки твердого сплава. Исследовано влияние температуры закалки на структуру и прочность твердого сплава. Показано, что закалка позволяет существенно снизить прочность твердого сплава за счет создания термических напряжений и изменения структуры кобальтовой фазы.

---

## Введение

Твердые сплавы являются самым распространенным режущим материалом. Широкое использование твердых сплавов WC – Co при одновременном сокращении запасов кондиционного сырья приводит к повышению цены на 20 – 50% в год [1]. Предпринятые попытки заменить вольфрамкобальтовые твердые сплавы более дешевыми безвольфрамовыми твердыми сплавами, карбидостаялями и другими инструментальными материалами в целом не дали достойную замену.

В результате появилась необходимость поиска путей рециркуляции сплавов из их отходов, образующихся в процессе производства изделий и при их эксплуатации.

Известные методы переработки отходов твердых сплавов можно условно разделить на две группы: механические (без изменения химического состава) и физико-химические (с изменением химического состава). При больших объемах перерабатываемого материала выгоден химико-металлургический способ разложения отходов твердого сплава в сильных окислителях — щелочных нитратах и нитритах сплавлением или обжигом, а для небольших объемов перспективны механические методы измельчения, которые обычно осуществляются в две стадии: дробление, а затем измельчение [2].

Основная проблема при дроблении — высокая прочность твердого сплава. Для снижения прочности обычно удаляют кобальт экстракцией в цинковый

расплав или растворением в различных кислотах, после чего карбидный каркас легко измельчается. Все эти методы связаны с использованием вредных веществ и требуют специального оборудования, кроме этого при использовании цинкового метода происходит загрязнение сплава цинком. Альтернативным методом разупрочнения является термическая обработка, которая может осуществляться путем отжига твердого сплава при определенной температуре в защитной атмосфере или в вакууме [3], а также путем нагрева твердого сплава до температуры 1200 – 1400 °С с последующей закалкой твердого сплава в ледяной воде [1].

Последний способ охрупчивания достаточно прост и приводит к разрушению или значительному снижению прочности, однако механизм воздействия градиента температур на структуру и свойства твердого сплава при температурах выше 1200 °С не исследован, что осложняет выбор режима термообработки, включающего температуру закалки, закалочную жидкость. Цель работы — определение механизма разупрочнения твердого сплава и влияния температуры закалки на структуру и свойства твердого сплава.

## Методика эксперимента

Объект исследования — твердый сплав ВК8. Прочность исходного твердого сплава составляет 1670 МПа. Нагрев осуществляли газовой горелкой в среде аргона, время выдержки 10 с. Температуру

измеряли пирометром “Проминь”. За характеристику прочности разупрочненного твердого сплава принимали прочность на изгиб ( $\sigma_{изг}$ ), которая имеет наиболее воспроизводимые результаты при испытании твердого сплава.  $\sigma_{изг}$  определяли трехточечным методом с использованием пресса ИП-100, микротвердость — на микротвердомере ПМТ-3, твердость — на твердомере ТК-2М. Структурные исследования проводили на растровом микроскопе EVO 40, фазовый состав — на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7.

### Результаты и обсуждение

В результате закалки при температуре 1400 °С в 10% водном растворе NaCl в твердом сплаве ВК8 появляются трещины (рис. 1), которые приводят к снижению прочности и разрушению образцов. Согласно современным представлениям наибольшее влияние на прочность твердого сплава оказывает кобальтовая фаза, и именно изменение структуры этой фазы лежит в основе разупрочнения, так как структура самого карбида вольфрама не меняется. Трещины проходят преимущественно по кобальтовой фазе, что вполне согласуется с теорией прочности Креймера, согласно которой разрушение твердого сплава начинается с пластической деформации кобальтовых участков, приводящей к образованию трещины [1]. Известно, что в твердом сплаве существует 2 модификации кобальта ( $\alpha$  и  $\beta$ ). Степень перехода одной кристаллической решетки кобальтовой фазы в другую зависит от скорости охлаждения в определенном диапазоне температур [4].

Исследования показали, что при закалке от температур 1200 – 1300 °С существенного падения прочности не происходит (рис. 2), не обнаружено

также изменение фазового состава. Единственный результат такой закалки — изменение параметров кристаллической решетки. Это означает, что образование трещин при этих условиях происходит в результате напряжений второго и третьего рода, которые незначительны по сравнению с прочностью твердого сплава. Прочность отдельных образцов даже увеличивается по известным механизмам [5 – 9]. Резкое снижение прочности некоторых образцов, закаленных от температур 1200 – 1300 °С, возможно лишь при наличии существенных дефектов в исходных образцах.

Исследования полученных образцов в оптическом микроскопе показали, что образование измененного поверхностного слоя при этих температурах не происходит. Этот слой образуется только у образцов, закаленных от температур 1700 – 1800 °С.

При нагреве твердого сплава происходит растворение углерода и вольфрама в кобальте [10]. При быстром охлаждении образуется метастабильный твердый раствор внедрения-замещения вольфрама и углерода в кобальте [4], что приводит к стабилизации метастабильной фазы  $\beta$ -Co. Наибольшее количество вольфрама растворяется в кобальте, когда кобальт находится в жидком состоянии. Температура образования жидкой фазы в сплаве ВК8 находится в интервале от 1320 до 1340 °С. Фазовый анализ показал, что при закалке выше этих температур в твердом сплаве происходит заметное увеличение содержания  $\beta$ -Co (рис. 3). В результате изменения фазового состава появляются внутренние напряжения, снижающие прочность твердого сплава. Кроме этого, пересыщенный метастабильный твердый раствор на основе  $\beta$ -Co более хрупок, чем стабильный  $\alpha$ -Co. Одновременное действие термических напряжений и фазовых превращений приводит к изменению свойств

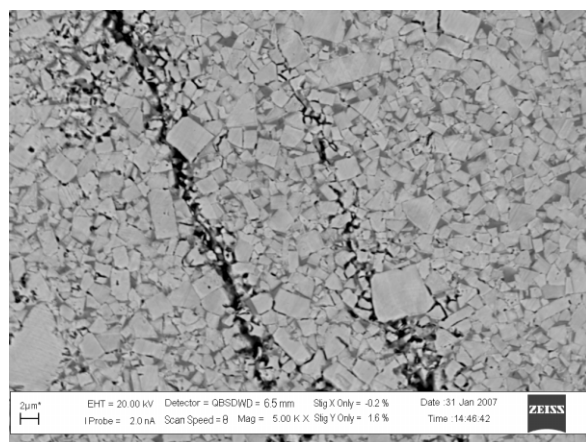


Рис. 1. Структура сплава ВК8 после закалки при температуре 1400 °С в 10% водном растворе NaCl.

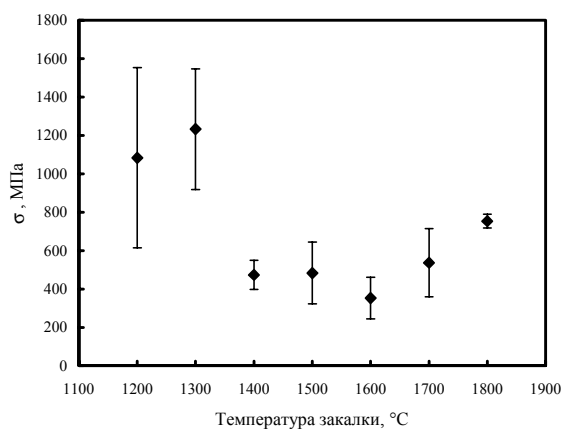


Рис. 2. Зависимость прочности твердого сплава от температуры закалки.

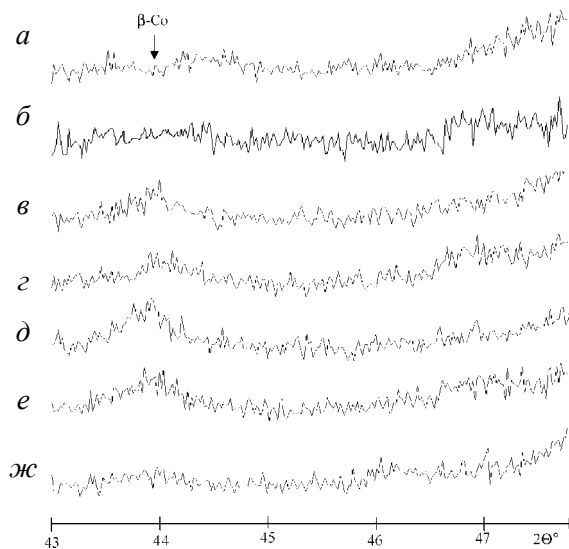


Рис. 3. Участок рентгенограммы исходного сплава ВК8 (а) и закаленного при температуре 1300°C (б), 1400°C (в), 1500°C (г), 1600°C (д), 1700°C (е), 1800°C (ж).

кобальтовой фазы, что объясняет снижение прочности в среднем в 3 раза (рис. 2).

### Выводы

1. Закалка отходов твердого сплава ВК8 позволяет снизить его прочность за счет термических напряжений и фазовых превращений кобальтовой фазы. Исходные дефекты в твердом сплаве обуславливают значительный разброс значений прочностей.

2. Установлено, что в результате закалки твердого сплава с температуры, обеспечивающей плавление кобальтовой фазы, повышается содержание метастабильной фазы  $\beta$ -Co, и происходит падение прочности в 3 раза. Дальнейшее повышение температур не приводит к существенным изменениям в прочности и структуре отходов твердого сплава.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН 20-ИН-07 и ДВО РАН 06-III-B-04-100.

### Литература

1. Панов В.С., Чувиллин А.М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. М.: МИСИС, 2001, 452 с.
2. Орданьян С.С., Скворцова И.В., Пантелеев И.Б. Свойства твердых сплавов на основе регенерированного сплава ВК6. Цветные металлы. 2001, № 1, с. 94 – 96.
3. Никонов Н.Б., Лейтман М.С. Способ изготовления твердосплавных смесей из отработанных твердых сплавов. Патент № 2157741 РФ, 1998.
4. Горбачева Т.Б. Рентгенография твердых сплавов. М.: Metallurgia, 1985, 103 с.
5. Лошак М.Г., Александрова Л.И. Упрочнение твердых сплавов. Киев: Наукова думка, 1977, 149 с.
6. Кудрявцева В.И., Чапорова И.Н., Вараксина А.В. Термообработка твердых сплавов WC-Co и изделий из них. Порошковая металлургия, 1987, № 5, с. 56 – 61.
7. Александрова Л.И., Лошак М.Г., Горбачева Т.Б., Вараксина А.В. Рентгенографическое исследование термообработанных твердых сплавов WC-Co. Порошковая металлургия, 1986, № 5, с. 93 – 99.
8. Лошак М.Г., Александрова Л.И., Гордынский Н.И. Использование метода акустической эмиссии для исследования механизма упрочнения твердых сплавов при термической обработке. Порошковая металлургия, 1990, № 5, с. 72 – 76.
9. Драчинский А.С., Кривцов В.А., Луговой Н.И., Рябенко Н.Н. Влияние скоростной электротермической обработки на механические характеристики твердых сплавов типа ВК и ВН. Порошковая металлургия, 1992, № 6, с. 29 – 31.
10. Haglund S., Agren J. W content in Co binder during sintering of WC-Co. Acta Metallurgica, 1998, v. 45, no. 6, p. 1801 – 1807.

**Дворник Максим Иванович** — Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, кандидат технических наук, научный сотрудник. Специалист в области материаловедения.

**Ершова Татьяна Борисовна** — Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, кандидат технических наук, заместитель директора. Специалист в области материаловедения.

**Верхотуров Анатолий Демьянович** — Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, доктор технических наук, профессор, директор института. Специалист в области материаловедения.

**Метлицкая Любовь Павловна** — Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, научный сотрудник. Специалист в области металлографии.

**Пячин Сергей Анатольевич** — Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Специалист в области физики твердого тела.