

На правах рукописи

ЛУКАШЕВА  
ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА

ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ  $WC-Co-Ni-Re(Mn)$

05.17.11 - Технология керамических, силикатных и тугоплавких  
неметаллических материалов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург

1998

8  
12  
04  
12  
НОЯ  
1998

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете)

Научный руководитель: доктор технических наук Орданьян С.С.

Научный консультант: кандидат технических наук Пантелеев И.Б.

Официальные оппоненты:

профессор, доктор технических наук      Гурин Владимир Николаевич  
старший научный сотрудник,

кандидат технических наук      Вильк Юрий Николаевич

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский и проектный институт тугоплавких металлов и твердых сплавов (г.Москва)

Защита состоится 28 мая 1998 года в 15<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета К 063.25.06 в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете)

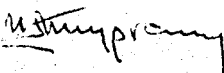
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)

Отзывы, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 198013, Санкт-Петербург, Московский пр. 26 Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

Автореферат разослан 24 апреля 1998 г.

Ученый секретарь диссертационного совета К 063.25.06

кандидат технических наук



И.А. Туркин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Твердые сплавы системы WC-Co являются основным материалом для изготовления режущего инструмента, применяемого для лезвийной обработки металлов и сплавов. Несмотря на внедрение в последнее время в практику машиностроения инструмента из сверхтвердых материалов, минералокерамики, более 95% объема снимаемой металлической стружки приходится на твердые сплавы. В качестве традиционной металл-связки используется металлический кобальт, который является дефицитным и дорогостоящим металлом. Применение кобальта связано с исключительно удачным набором особенностей его взаимодействия с карбидом вольфрама, делающим сочетание WC-Co идеальным. В качестве альтернативных металл-связок для замены дефицитного кобальта предлагались металлы группы железа в различных сочетаниях, чистый никель, а также различные добавки других металлов.

Естественное стремление заменить дефицитный дорогостоящий карбид вольфрама другими карбидами, нитридами и карбонитридами металлов IV-VI групп привело к созданию безвольфрамовых и маловольфрамовых твердых сплавов (ТН-20, КНТ16, ТВ4), однако, эти материалы нашли очень ограниченное применение.

Появление новых марок металлических сплавов, высоколегированных и жаропрочных сталей, сплавов цветных металлов, пластиков настоятельно требует создания эффективного режущего инструмента.

Одним из перспективных направлений в создании современных, более совершенных инструментальных материалов, является разработка новых марок твердых сплавов, обладающих высокими механическими и эксплуатационными свойствами при 600-800°C.

Анализ современных тенденций совершенствования режущего инструмента на основе карбида вольфрама показал, что наиболее перспективным направлением с точки зрения минимизации затрат на изме-

нение технологического процесса и наименее изученным вопросом является разработка новых составов металлической связки.

С учетом изложенного были сформулированы цель и основные задачи исследования.

Целью настоящей работы является создание новых твердых сплавов на основе карбида вольфрама со связкой Co-Ni-Re(Mn) и изучение их физико-механических свойств.

Основные задачи исследования:

1. Изучить в сравнении с системой WC-Co взаимодействие в WC-Co(Ni,Re,Mn).

2. Изучить физико-механические свойства твердых сплавов с двухкомпонентными связками Co-Ni, Co-Re, Ni-Re, Co-Mn, Ni-Mn.

3. Изучить физико-механические свойства твердых сплавов с трехкомпонентными связками Co-Ni-Re, Co-Ni-Mn.

4. Изучить высокотемпературные свойства ряда новых твердых сплавов (окалиностойкость, температурную зависимость предела прочности при поперечном изгибе).

5. Изготовить опытную партию оптимального состава и испытать режущие свойства, разработать технологическую инструкцию.

Научная новизна диссертационной работы. Впервые получены данные о пределах растворимости карбида вольфрама в сплавах кобальта, легированных никелем, рением и марганцем.

Показано, что в разрез WC-Ni не является квазибинарным, в равновесии с карбидом вольфрама находится сплав никеля с вольфрамом и углеродом.

Исследование процесса смачивания карбида вольфрама в вакууме показало, что все изученные сплавы металлов идеально смачивают подложку из WC и могут быть использованы в качестве металл-связки твердых сплавов.

При изучении структуры, физико-механических и эксплуатационных свойств твердых сплавов WC-Co-Ni-Re(Mn) установлено:

- в системе WC-Co-Ni зависимость прочности от состава металл-связки имеет экстремальный характер с максимумом при 40-60% масс. кобальта в связке;

- в системах WC-Co-Re, WC-Ni-Re, WC-Ni-Mn введение небольших добавок Re или Mn приводит к упрочнению твердых сплавов;

- зависимости прочности твердых сплавов WC-Co-Ni-Re и WC-Co-Ni-Mn, имеют экстремальный характер и по прочности превосходят твердые сплавы WC-Co и WC-Co-Ni.

Показано, что введение в состав металл-связки рения увеличивает окалинностойкость твердых сплавов при одновременном увеличении жаропрочности в интервале 600-800°C.

Практическое значение и реализация работы. На основании результатов исследования разработаны технологии группы новых твердых сплавов WC-Co-Ni с содержанием карбида вольфрама 88% об., при соотношении Co:Ni=60:40 в связке, сплав WC-Co-Ni-Re при соотношении компонентов в связке Co: Ni: Re = 52,5:33:14,5 соответственно и сплав WC-Co-Ni-Mn = 59,5:38:2,5 для обработки резанием труднообрабатываемых материалов.

Определены основные эксплуатационные свойства сплавов, установлены области применения: обработка точением, фрезерованием, сверлением труднообрабатываемых материалов, в том числе сталей, легированных никелем, молибденом, хромом и др. (стали ХВГ ЧС 88, ЭИ 769, нержавеющей стали).

Разработанные сплавы целесообразно использовать в средних и тяжелых условиях работы, включая точение по корке с ударами, при прерывистом резании в условиях среднего и большого сечения среза.

Выявлены преимущества сплава WC-Co-Ni-Re по износостойкости перед твердыми сплавами группы ВК и возможность использования более скоростных режимов резания.

Разработана технология и оформлена нормативно-техническая документация по производству сплавов WC-Co(Ni,Re,Mn).

Внедрение инструмента, оснащенного пластинами новой марки твердых сплавов при обработке резанием труднообрабатываемых материалов позволит получить экономический эффект.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на научно-технической конференции аспирантов СПбГТИ(ТУ) посвященной памяти М.М.Сычева (С.-Петербург, 1997г.), научно-технической конференции "Новые материалы и технологии в машиностроении и приборостроении" (г.Пенза, 1997г.).

Публикации. Результаты исследования изложены в 7 печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, списка используемой литературы из 61 наименований и приложения.

Работа изложена на 142 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков, 22 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан обобщенный анализ современного состояния вопроса и поставлены задачи исследования, обосновывается актуальность темы диссертации и выбор объектов исследования.

В главе 1 дан анализ современного состояния вопроса. Приведен обзор работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных диаграммам состояния двойных и тройных металлических систем (Co-Ni, Co-Re, Ni-Re, Co-Ni-Re, Co-Mn, Ni-Mn, Co-Ni-Mn) и применению легированных связей, изучению взаимодействия в системе WC-Me.

Ограниченность и противоречивость данных по системам WC-Co-Ni-Re(Mn) выявили необходимость дополнительных исследований взаимодействия между компонентами исходных веществ и изучению структуры и свойств твердых сплавов WC-Co-Ni-Re(Mn).

Анализ литературы позволил обосновать целесообразность введения добавок никеля, рения и марганца в кобальтовую связку твердых сплавов на основе карбида вольфрама.

В главе 2 приведены данные об исходных материалах, используемых в работе, методах исследования твердых сплавов, а также описана технология изготовления твердых сплавов методами порошковой технологии.

Для исследования сплавов использовали металлографический, рентгеноструктурный анализ, стандартные методы определения физико-механических и эксплуатационных свойств. Описан метод симплекс-решеточного планирования эксперимента для условия ограничения концентрации одного из компонентов.

Глава 3 посвящена изучению взаимодействия в системе карбид вольфрама - расплав Co-Ni-Re(Mn).

На основании данных металлографического и рентгеноструктурного анализов установлены границы растворимости карбида вольфрама в сплавах на основе кобальта и никеля с добавками рения и марганца, а также проведено сравнение полученных данных по растворимости WC в кобальте и никеле с известными в литературе данными (табл.1).

Данные металлографического анализа хорошо согласуются с измерениями микротвердости  $\gamma$  - твердого раствора. При достижении предела растворимости микротвердость достигает максимума и остается постоянной при дальнейшем увеличении концентрации WC.

Введение незначительных добавок (10-20% масс.) рения и марганца слабо влияют на форму кристаллов WC. Однако, можно однозначно утверждать, что введение рения во все сплавы снижает растворимость WC, а марганца несколько повышает ее.

Пределы растворимости карбида вольфрама в кобальте и никеле хорошо согласуются с описанными в литературе, однако, для системы Ni-WC получены отличающиеся значения границ фазовых полей. Так,

до концентрации 9% масс. WC существует однофазный  $\gamma$ -раствор Ni-WC. При увеличении концентрации карбида вольфрама в интервале 9-24 % масс. появляются выделения графита, сосредоточенные преимущественно по границам металлических зерен. При увеличении концентрации WC выше 24 % масс. появляются кристаллы карбида вольфрама, то есть сплав становится трехфазным.

Таблица 1

Растворимость карбида вольфрама в металлических сплавах

Металл или состав сплава	Растворимость WC, % масс.
Co	14
Ni	9
60%Co+40%Ni	14
60%Co+40%Re	8
60%Ni+40%Re	8
(50%Co+40%Ni)+10%Re	15,4
(60%Co+40%Ni)+20%Re	11,7
(50%Co+50%Ni)+20%Re	13
90%Co+10%Mn	16
90%Ni+10%Mn	14
(60%Co+40%Ni)+10%Mn	15

Существенным является тот факт, что введение в кобальт до 40% масс. никеля не приводит к появлению свободного углерода во всем интервале изученных концентраций карбида вольфрама.

Изучение смачивания в системе карбид вольфрама - расплав металлической связки методом лежащей капли показало, что все изученные составы (содержащие не более 40% масс. рения) обладают идеальным смачиванием, причем для кобальт-никелевых связок отмечается интенсивное растворение подложки в месте контакта. Сплавы с содержанием рения более 40% масс. в интервале изученных температур не



расплавляются полностью и, следовательно не могут быть рекомендованы в качестве металл-связки для твердых сплавов.

Полученные данные позволили установить границы рационального легирования металлической связки на основе кобальта для получения твердых сплавов с высокими механическими свойствами.

Глава 4 посвящена изучению физико-механических свойств твердых сплавов на основе карбида вольфрама со связкой Co-Ni.

В ряде работ по твердым сплавам WC-Ni, опубликованных в последнее время, установлено, что такие сплавы имеют твердость и механическую прочность на 10-20% ниже, чем у твердых сплавов WC-Co, что объясняется меньшей прочностью никелевой связки и связано с упоминавшимися выше особенностями фазовых равновесий по разрезу WC-Ni.

При изучении физико-механических свойств твердых сплавов WC-Co-Ni установлено, что зависимость предела прочности при поперечном изгибе от состава металл-связки Co-Ni имеет максимум прочности при содержании кобальта 40-60% масс. при температурах спекания 1410-1440°C (рис.1).

Изучение твердости по Виккерсу и модуля Юнга показало, что при данном интервале концентраций никеля в кобальте имеется возможность получать сплавы с высоким уровнем механических свойств (предел прочности при поперечном изгибе, твердость по Виккерсу), что превышает таковые для стандартного сплава BK8.

При изучении микроструктуры установлено, что сплавы с максимальной прочностью обладают минимально пористостью (0,2%), при этом размер зерен карбидной фазы составляет 2-5 мкм, распределение металл-связки равномерное, крупных скоплений не обнаружено.

Установлено также, что снижение прочности для сплавов WC-Ni связано, помимо выделения свободного графита, с частичным испарением никеля при спекании в вакууме; это приводит к увеличению по-

риности и среднего размера зерна карбидной составляющей, а также образованию сростков поликристаллов твердой фазы.

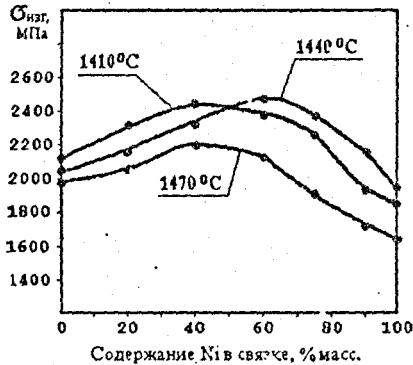


Рис. 1 Зависимость предела прочности при поперечном изгибе твердых сплавов WC-Co-Ni от состава металл-связки.

В результате проведенных исследований получены твердые сплавы в системе WC-Co-Ni, имеющие высокую прочность при изгибе при содержании 40-60% (масс) никеля в связке и твердость HV= 13-13,5 ГПа, что позволяет рекомендовать их в качестве материала для режущего инструмента.

Глава 5 посвящена изучению физико-

механических свойств твердых сплавов со связкой Co-Ni-Re.

Предварительное изучение свойств твердых сплавов WC-Co-Re и WC-Ni-Re при 12% об. металл-связки показало, что концентрационная зависимость предела прочности при поперечном изгибе твердого сплава WC-Co-Re имеет ярко выраженный экстремальный характер (максимум прочности 2300 МПа достигается при 10% Re в металл-связке). При 40% рения и более в связке предел прочности при изгибе снижается до 1400 МПа, что достаточно для изготовления режущего инструмента.

Концентрационная зависимость предела прочности при изгибе твердого сплава WC-Ni-Re также имеет экстремальный характер (максимум 2030 МПа достигается при 4% масс. Re в металл-связке).

С учетом полученных результатов и данных диаграмм состояния Co(Ni)-Re изучены свойства твердых сплавов в системе карбид вольфрама - связка Co-Ni-Re с применением метода симплексо-решеточного планирования эксперимента.

В качестве основного плеча эксперимента была выбрана модель 2-й степени с ограничением одного из компонентов (в данном случае - рения, до 40% масс.), включающая 6 основных точек. Объем металл-связки, содержащейся в твердом сплаве, для всех изученных составов был постоянным и составлял 12% об.

Предел прочности при поперечном изгибе в изученной области концентраций компонентов металл-связки (рис.2) также имеет максимум, расположенный в области, богатой кобальтом, при содержании рения 15-20 % масс.

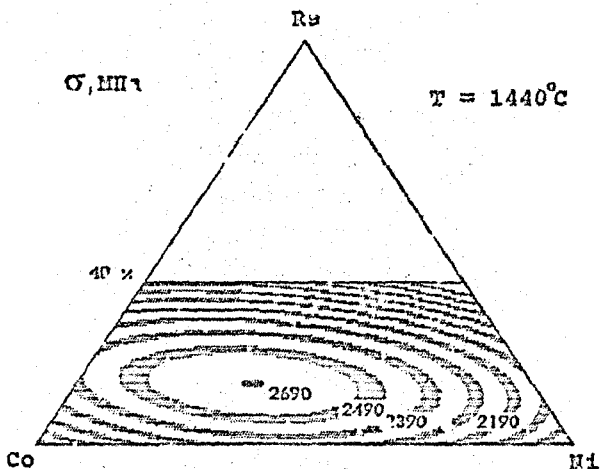


Рис.2 Расчетные значения  $\sigma_{изг.}$  твердых сплавов в системе WC-Co-Ni-Re ( $T_{спек.} = 1440^{\circ}\text{C}$ )

Твердость по Виккерсу возрастает с увеличением содержания рения в металл-связке, что соответствует данным, полученным сотрудниками ВНИИТС.

Анализ микроструктуры травленных шлифов показал, что твердые сплавы со связкой Co-Ni-Re характеризуются равномерным ее распределением (за исключением состава 5 - 60%Ni+40%Re) и размером зерна карбида вольфрама в интервале 1-4 мкм.

Для сплавов, обладающих низкой прочностью (не содержащих в металл-связке кобальта), отмечается появление крупных зерен WC. Этим фактом, а также повышенной пористостью объясняется низкая прочность таких сплавов.

Полученные в работе результаты подтвердили выводы о положительном влиянии рения на твердость и показали, что введение в металл-связку 15-20% масс. рения повышает прочность при изгибе. Это дает возможность рекомендовать твердые сплавы со связкой оптимального по прочности состава для изготовления режущего инструмента.

Глава 6 посвящена изучению физико-механических свойств твердых сплавов в системе WC-Co-Ni-Mn.

Максимальное содержание марганца в металл-связке твердых сплавов WC-Co-Mn было ограничено 30% масс. Объемное содержание металл-связки во всех составах было одинаково и составило 2% об.

Данные по прочности согласуются со значениями по пористости, которая растет с увеличением содержания марганца (рис.3а). Этот факт скорее всего связан с испарением марганца при спекании, так как он обладает большей упругостью пара в вакууме по сравнению с кобальтом и никелем.

Рост значений твердости по Виккерсу также хорошо согласуются с описанными процессами при спекании и объясняется уменьшением объема металл-связки за счет испарения марганца. Сильное увеличение пористости при максимальном содержании марганца замедляет рост твердости.

Зависимость прочности при изгибе твердых сплавов WC-Ni-Mn от содержания марганца в связке несколько отличается от системы WC-Co-Mn. С увеличением содержания марганца прочность сначала несколько возрастает, достигая максимума при содержании марганца 7% масс. металл-связке, а затем резко падает, достигая значения 1000-1100 МПа при 20% масс. (рис.3б).

Отсюда следует, что содержание марганца в металл-связке не должно превышать 15% масс. Изменение значений пористости и твердости по Виккерсу аналогично предыдущей системе.

На рис.4 представлен изотермический разрез при температуре 1050 К, на котором видно, что двухфазная область ( $\gamma + \eta$ ) будет находиться в интервале концентраций марганца 40-60% ат. Сравнение 20% масс. позволяет оставаться в пределах  $\gamma$ -тв. раствора.

С учетом полученных результатов и данных диаграмм состояния Co(Ni)-Mn изучены свойства твердых сплавов в системе карбид вольфрама - связка Co-Ni-Mn с применением метода симплекс-решечного планирования эксперимента.

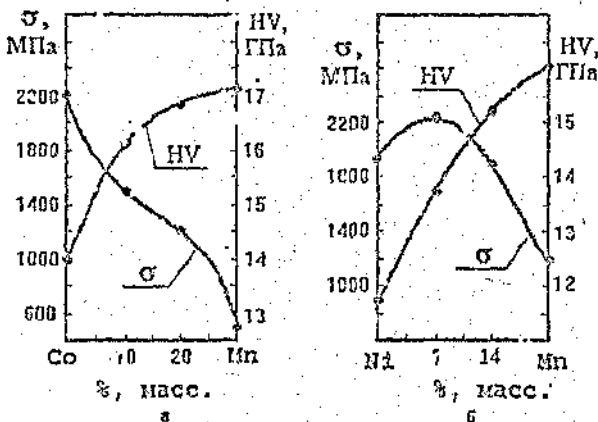


Рис.3 Предел прочности при поперечном изгибе и твердость по Виккерсу твердых сплавов: а) WC-Co-Mn; б) WC-Ni-Mn

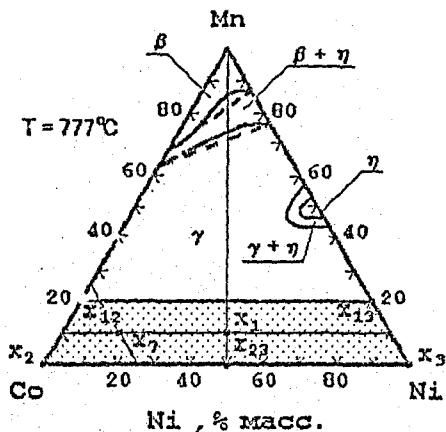


Рис.4 Изотермическое сечение системы Co-Ni-Mn при 777°C и план эксперимента второй степени для состава металл-связки

Образцы для физико-механических испытаний изготавливали по стандартной технологии твердых сплавов и спекали в при температуре 1420-1480°C в вакууме.

Предел прочности при поперечном изгибе в изученной области концентраций компонентов металл-связки характеризуется наличием максимума, расположенного в области низкого содержания марганца 3-7% масс. (рис.5).

Аналогичной обработке подвергались данные по твердости. При всех температурах спекания наблюдается тенденция увеличения HV с ростом содержания марганца в связке.

Введение марганца в состав цементирующей матрицы позволяет увеличить прочность при изгибе при сохранении достаточно высокой твердости, причем максимальная прочность достигает 2640 МПа, что значительно превышает прочность стандартных WC-Co сплавов (1800-2000 МПа).

Исследование микроструктуры травленных шлифов показало, что сплавы, по составу близкие к оптимальному (№ 6 и № 7), обладают мелкозернистой структурой с равномерным распределением металл-связки. Размер зерна WC для них составил 0,5-3,0 мкм. Для составов с высоким содержанием марганца (составы 4,5) отмечаются отдельные крупные зерна карбида вольфрама (до 15-20 мкм), но доля их невелика.

Следует отметить зависимость прочности от пористости, причем увеличение последней характерно при увеличении конденсации марганца выше 10% масс., что скорее всего связано с частичным испарением марганца при спекании. Положительное влияние введения марганца в металл-связку на твердость позволяет прогнозировать увеличение износостойкости.

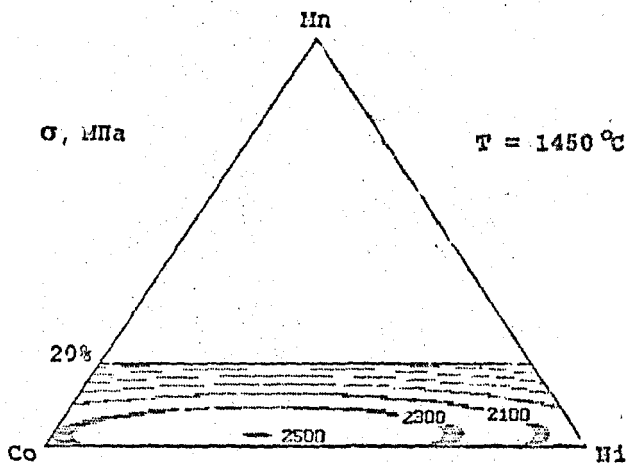


Рис.5 Расчетные значения  $\sigma_{изг}$  твердых сплавов в системе WC-Co-Ni-Mn ( $T_{спек.} = 1450^\circ\text{C}$ )

Глава 7 посвящена изучению окалинностойкости и высокотемпературной прочности при изгибе твердых сплавов WC-Co-Ni-Re(Mn).

При изучении окалинностойкости образцов твердых сплавов в неизотермических условиях при нагреве до 900°C на воздухе установлено, что:

- все изученные сплавы превосходят по окалинностойкости твердый сплав WC-Co;

- одновременное введение Ni-Re или Ni-Mn повышает температуру начала окисления на 50-70°C при одновременном замедлении скорости окисления.

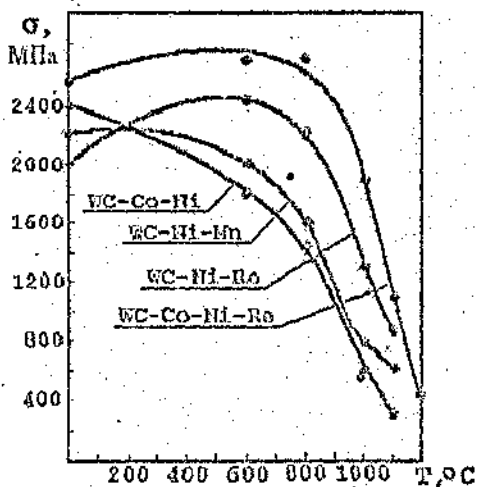


Рис. 6 Зависимость прочности при изгибе твердых сплавов WC-Co-Ni-Re(Mn) от температуры

Добавление в связку рения резко изменяет характер зависимости. До температуры 600°C для Ni-Re и 800°C для Co-Re связки происходит некоторое упрочнение твердых сплавов (до 40%), а затем прочность снижается, оставаясь, однако, более высокой по сравнению с кобальтовой и никелевой связками.

Зависимость прочности при изгибе от температуры для твердых сплавов со связками Co-Ni и Ni-Mn (рис. 6) практически не отличаются от таковой для твердых сплавов типа ВК. Добавление в связку рения резко изменяет характер зависимости.

До температуры 600°C для Ni-Re и 800°C для Co-Re связки происходит некоторое упроч-



Максимальная прочность твердых сплавов WC-Co-Ni-Re находится в интервале температур 600-800°C, что соответствует рабочей температуре режущей кромки материала. Это позволяет предположить, что такие резцы будут обладать более высокими эксплуатационными свойствами.

## ВЫВОДЫ

Для достижения поставленных в работе целей были решены следующие научные и практические задачи:

1. На основании исследований взаимодействия компонентов системы WC-Me(Co, Ni, Re, Mn) уточнены границы растворимости карбида вольфрама в кобальте и никеле, впервые установлены границы растворимости в сплавах Co-Ni, Co-Ni-Re(Mn), что имеет важное значение для практики получения твердых сплавов.

2. На основе анализа данных по диаграммам состояния металлических систем и исследований процесса смачивания подложек из WC расплавами металлов Co (Ni, Re, Mn) установлены концентрационные границы рационального легирования цементующего металла для выбора оптимального состава сложной металл-связки, показано, что выбранные составы обладают нулевым краевым углом смачивания в системе WC-расплав.

3. Изучены зависимости физико-механических свойств сплавов WC-Co-Ni от состава металл-связки и их структура. Показано, что при соотношении Co-Ni = 3:2 прочность при изгибе превышает таковую для сплавов WC-Co на 15-20% при том же уровне твердости.

В результате проведенных исследований получены твердые сплавы в системе WC-Co-Ni, имеющие высокую прочность при изгибе (до 2500 МПа) при содержании 40-60% (масс.) никеля в связке и твер-

достью при этом  $HV = 13-13,5$  ГПа, что позволяет рекомендовать их в качестве материала для режущего инструмента.

4. Изучены зависимости физико-механических свойств и структура сплавов WC-Co-Re и WC-Ni-Re от состава металл-связки. Показано, что зависимость прочности при изгибе от содержания рения носит экстремальный характер и имеет максимум при 10 и 4% масс. рения соответственно. Показано, что для промышленного применения не следует использовать концентрично рения в связке выше 20% масс.

5. Методом симплекс-решеточного планирования эксперимента изучены свойства и структура сплавов WC-Co-Ni-Re от состава металл-связки. Полученные в работе результаты подтвердили выводы о положительном влиянии Re на твердость и показали, что введение 15-20% масс. рения повышает прочность при изгибе. Определенный расчетным путем оптимальный состав связки (52,5% Co+33%Ni+14,5%Re) по принятой технологии обеспечил для твердого сплава прочность при изгибе 2670 МПа и твердость  $HV = 17$  ГПа, что позволяет рекомендовать его в качестве материала для режущего инструмента.

6. Изучены зависимости физико-механических свойств и структура сплавов WC-Co-Ni-Mn от состава металл-связки. Показано, что для сплавов WC-Co-Mn с увеличением содержания Mn увеличивается пористость и снижается прочность. Это связано с испарением Mn при спекании в вакууме и подтверждается анализом потерь массы образцов.

Для твердых сплавов WC-Ni-Mn зависимость прочности при изгибе имеет иной характер с максимумом при 7% масс. Mn. Показано, что для получения высокопрочных твердых сплавов твердых сплавов нецелесообразно увеличение содержания Mn в связке более 15% масс.

При изучении зависимости физико-механических свойств сплавов WC-Co-Ni-Mn от состава металл-связки методом симплекс-решеточного планирования эксперимента установлено, что в данной системе имеется максимум прочности соответствующий составу связки 50%Co + 44%Ni + 5,5%Mn при одновременном увеличении твердости;

показано, что такие сплавы обладают весьма мелкозернистой структурой с равномерным распределением металл-связки.

7. Изучена окалиностойкость твердых сплавов WC-Co(Ni,Re,Mn). Установлено, что введение Ni, Mn и Re положительно сказывается на стойкости сплавов к окислению, увеличивая температуру начала активного окисления до 750°C и снижая скорость окисления с ростом температуры.

8. При изучении жаропрочности установлено, что зависимость прочности при изгибе от температуры при введении в металл-связку рения приводит к упрочнению твердых сплавов в интервале 600-800°C, а при 800-1100°C имеют прочность более высокую по сравнению с кобальтовой и никелевой связками.

9. На основании полученных научных результатов разработана технология твердых сплавов WC-Co-Ni-Re(Mn), обеспечивающая высокие физико-механические свойства; изготовлены опытные партии режущих пластин по ГОСТ 19048-80 и переданы для испытаний в ЦНИИ КМ "Прометей" (г. Санкт-Петербург).

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Пантелеев И.Б., Лукашова Т.В., Орданьян С.С. Твердые сплавы WC-Co-Ni // Цветные металлы. - 1998. - № 7. - С. 70-73.
2. Твердые сплавы WC-Co-Ni-Re/Орданьян С.С., Пантелеев И.Б., Лукашова Т.В., Гарабаджиу А.А. // Цветные металлы. - 1998. - № 9. - С. 62-65.
3. Твердые сплавы WC-Co-Ni-Mn/Орданьян С.С., Пантелеев И.Б., Лукашова Т.В., Глушкова М.С. // Цветные металлы. - 1998. - № 10. - С. 70-72.
4. Твердые сплавы WC-Co-Ni-Mn/Лукашова Т.В. // Научно-техническая конференция аспирантов СПГТИ(ТУ) памяти М.М.Сычева. Тез. докл. ч.2. - С.-Пб.: Издательство СПГТИ(ТУ), 1997г. - С.16.

5. Твердые сплавы WC-Co-Ni-Re/Лукашова Т.В.//Научно-техническая конференция аспирантов СПбГТИ(ТУ) памяти М.М.Сычева: Тез.докл.-ч.2.-С.-Пб.: Издательство СПбГТИ(ТУ), 1997г.- С.17.
6. Твердые сплавы WC-Co-Ni/ Лукашова Т.В.//Научно-техническая конференция аспирантов СПбГТИ(ТУ) памяти М.М.Сычева: Тез.докл.-ч.2.-С.-Пб.: Издательство СПбГТИ(ТУ), 1997г.- С.18.
7. Лукашова Т.В., Пантелесов И.Б., Ордамян С.С. Растворимость карбида вольфрама в сплавах Co-Ni-Re(Mn)//Новые материалы и технологии в машиностроении и приборостроении/ Научн.-техн. конф.-Пенза: Приволжский Дом знаний.-1997.- С.57-59.

23.04.98г. Зак. 50-70 РПН ИК СИНТЕЗ Московский пр., 26