

Вольфрамовый цементированный карбид
Комплексное исследование физических и химических
свойств, процессов и приложений (XIII)

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Мировой лидер в области интеллектуального производства для вольфрамовой,
молибденовой и редкоземельной промышленности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с полной собственностью и независимым юридическим лицом, созданная CHINATUNGSTEN ONLINE, занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com в качестве отправной точки — первого в Китае веб-сайта с продукцией из вольфрама высшего уровня — является пионерской компанией электронной коммерции в стране, сосредоточенной на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Используя почти три десятилетия обширного опыта в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP унаследовала исключительные проектные и производственные возможности своей материнской компании, превосходное обслуживание и международную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области вольфрамовых химикатов, вольфрамовых металлов, твердых сплавов, высокоплотных сплавов, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов по вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков, с более чем миллионом страниц новостей, цен и анализа рынка, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами. С 2013 года ее официальный аккаунт WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч специалистов отрасли по всему миру. Благодаря совокупным посещениям кластера ее веб-сайта и официального аккаунта, достигающим миллиардов раз, он стал признанным мировым и авторитетным информационным центром для отраслей вольфрама, молибдена и редкоземельных металлов, предоставляя круглосуточные многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по тенденциям рынка.

Основываясь на технологиях и опыте CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами проектирует и производит вольфрамовые и молибденовые изделия с определенным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Она предлагает комплексные услуги по полному процессу, начиная от открытия пресс-формы, опытного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по НИОКР, проектированию и производству для более чем 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета.

Доктор Ханис и его команда в CTIA GROUP, основываясь на своем более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и опубликовали знания, технологии, анализ цен на вольфрам и рыночных тенденций, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами, свободно делясь ими с вольфрамовой промышленностью. Доктор Хан, имеющий более чем 30-летний опыт с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовой и молибденовой продукцией, а также в проектировании и производстве цементированных карбидов и сплавов высокой плотности, является известным экспертом в области вольфрамовой и молибденовой продукции как на внутреннем, так и на международном уровне. Придерживаясь принципа предоставления профессиональной и высококачественной информации для отрасли, команда CTIA GROUP постоянно пишет технические исследовательские работы, статьи и отраслевые отчеты, основанные на производственной практике и потребностях клиентов рынка, завоевывая широкую похвалу в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологическим инновациям CTIA GROUP, продвижению продукции и отраслевому обмену, позволяя ей стать лидером в сфере мирового производства вольфрамовой и молибденовой продукции и информационных услуг.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Индивидуальная обработка твердосплавных сопел

Твердосплавные сопла обладают характеристиками износостойкости, коррозионной стойкости, высокой термостойкости и длительного срока службы. Они широко используются в пескоструйной обработке, распылении, гидроабразивной резке, бурении нефтяных скважин, химической промышленности, сельском хозяйстве, пищевой промышленности и других областях.

Основные характеристики твердосплавных сопел

Твёрдость: HRA 8892

Точность: допуск сопла $\pm 0,001$ мм, шероховатость поверхности Ra 0,10,4 мкм .

Адаптивность: термостойкость 800-1000°C, коррозионная стойкость pH 210.

Эффективность: поддерживает впрыск под высоким давлением (0,1500 МПа), при этом эффективность увеличивается на 2050%.

Срок службы: Отличная износостойкость, срок службы в 515 раз превышает срок службы обычных материалов.

Изготовление на заказ: различные типы (пескоструйная обработка, распыление, производство сухого молока и т. д.), подходящие для различных условий работы.

Основные типы твердосплавных сопел

тип	описывать	Основные области применения и сценарии применения	Типичные характеристики
Пескоструйное сопло Пескоструйная насадка	Высокая износостойкость, подходит для абразивоструйной обработки.	Удаление ржавчины с кораблей, снятие заусенцев с деталей автомобилей и очистка бетона.	Диаметр сопла 212 мм, Длина 50200 мм,
Водоструйное сопло Водоструйное сопло	Струя воды высокого давления, подходит для резки твердых материалов.	Резка титановых сплавов в аэрокосмической отрасли, резка автомобильных композитных материалов, обработка камня.	Диаметр сопла 0,12 мм. Длина 20100 мм,
Распылительная насадка Насадка для распыления покрытий	Точное нанесение краски или керамических покрытий.	Покрытие лопаток авиационных турбин, покрытие автомобильных двигателей, напыление электронных плат.	Диаметр сопла 0,55 мм. Длина 30150 мм,
Форсунки для нефтяных месторождений Насадка для нефтяного месторождения	Высокая устойчивость к давлению и коррозии, подходит для струйного бурения.	Закатка бурового раствора для нефтяных скважин, очистка скважин для природного газа, закатка бурового раствора.	Диаметр сопла 315 мм, Длина 50150 мм,
Распылительная насадка Распылительная насадка	Тонкораспыленное распыление, подходит для распыления	Распыление сельскохозяйственных пестицидов, распыление химических жидкостей, очистка отходящих газов в	Диаметр сопла 0,23 мм. Длина 20100 мм,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	жидкостей.	окружающей среде.	
Форсунка сгорания Форсунка горелки	Конструкция, устойчивая к высоким температурам, подходит для впрыска топлива или газа.	Сжигание в энергетическом котле, химическая высокотемпературная реакция, вдувание в металлургическую печь.	Диаметр сопла 110 мм, Длина 30120 мм,
Микронасадка Микронасадка	Сверхмаленькое отверстие сопла, подходящее для высокоточного впрыска.	Медицинский лекарственный спрей, очистка электронных чипов, прецизионное авиационное покрытие.	Диаметр сопла 0,050,5 мм, длина 1050
Коррозионностойкие насадки Коррозионностойкая насадка	Устойчив к воздействию сильных кислот и щелочей, пригоден для использования в химических средах.	Химическая закачка растворов кислот и щелочей, десульфурация и денитрификация для защиты окружающей среды, закачка морской воды в морском строительстве.	Диаметр сопла 110 мм, Длина 30150 мм,
Насадка для производства сухого молока Распылительная насадка для сухого молока	Специально разработан для распылительной сушки с целью равномерного распыления эмульсий.	Переработка пищевых продуктов, производство сухого молока, переработка сельскохозяйственной молочной продукции в соответствии со стандартами FDA/EU, касающимися контакта с пищевыми продуктами.	Диаметр сопла 0,53 мм, Длина 20100 мм,

CTIA GROUP LTD

3-й этаж, № 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Сямынь, 361008

ТЕЛ.: +86 592 5129595 ; 18750234579

Электронная почта : info@ctia.group



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Индивидуальная обработка штамповочных штампов из твердого сплава

Твердосплавные штамповочные штампы обладают характеристиками износостойкости, коррозионной стойкости, высокой термостойкости и длительного срока службы. Они широко используются в автомобилестроении, обработке электронных компонентов, аппаратных продуктах, аэрокосмической промышленности, медицинском оборудовании и других областях.

Основные характеристики штампов из твердого сплава

Твёрдость: HRA 8892.

Точность: допуск формы $\pm 0,001$ мм, шероховатость поверхности Ra 0,10,4 мкм .

Адаптивность: термостойкость 800-1000°C, коррозионная стойкость pH 210.

Эффективность: поддерживает высокочастотную штамповку, эффективность которой увеличена на 2050%.

Срок службы: Отличная износостойкость, срок службы в 515 раз превышает срок службы обычных форм.

Изготовление на заказ: Различные типы (вытяжной штамп, пробивной штамп, составной штамп и т. д.), подходящие для различных условий работы.

Основные типы штампов из твердого сплава

тип	описывать	Основные области применения и сценарии применения	Типичные характеристики
Растягивающая матрица Чертежная матрица	Высокая износостойкость, подходит для формовки металла растяжением.	Растяжка кузовных панелей автомобилей, металлических контейнеров и корпусов из алюминиевого сплава.	Диаметр штампа составляет 10200 мм, толщина — 20100 мм, срок службы — 502 миллиона пробивок.
Вырубной штамп Вырубной штамп	Высокоточная пробивка, подходит для резки тонких пластин.	Штамповка выводных рамок электронных компонентов, автомобильных деталей и фурнитуры.	Зазор штампа составляет 0,010,1 мм, толщина — 1580 мм, срок службы — 301,5 млн. штамповок.
Составная форма Составной штамп	Интегрированная многоступенчатая штамповка, подходящая для сложных деталей.	Соединители для аэрокосмической отрасли, детали медицинского оборудования и прецизионная обработка композитных материалов.	Диаметр штампа составляет 20150 мм, толщина — 20100 мм, срок службы — 401,8 млн пробивок.
Нефтепромысловый штамп Нефтепромысловый штамп	Устойчив к высокому давлению и коррозии, подходит для штамповки под большими нагрузками.	Детали оборудования для бурения нефтяных скважин, комплектующие для трубопроводов природного газа, детали горнодобывающей техники.	Диаметр штампа составляет 30200 мм, толщина — 30120 мм, срок службы — 301,2 млн штамповок.
Высокоскоростной штамповочный штамп	Конструкция, устойчивая к высоким температурам и высоким частотам, подходит для быстрой штамповки.	Автомобильные крепежи, электронные разъемы, непрерывные высокоскоростные штамповочные производственные линии.	Диаметр штампа составляет 10100 мм, толщина — 1580 мм, срок службы — 602,5 млн штамповок .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Модель для тяжелой нагрузки HeavyDuty Die	Высокопрочная конструкция, подходящая для штамповки толстых листов.	Штамповка толстолистовых деталей тяжелого машиностроения, судовых конструкций и строительной арматуры.	Диаметр штампа составляет 50300 мм, толщина — 30120 мм, срок службы — 301,2 млн штамповок.
Микроформа Микро-матрица	Сверхмалый размер, подходящий для высокоточной микроштамповки.	Микродетали для медицинских приборов, микроразъемы для электроники и компоненты для авиационных датчиков.	Диаметр штампа составляет 550 мм, толщина — 1040 мм, срок службы — 20,8 млн пробивок.
Коррозионностойкая форма Коррозионностойкий штамп	Устойчив к воздействию сильных кислот и щелочей, пригоден для штамповки в химических средах.	Детали химического оборудования, принадлежности для морской техники и штамповка коррозионно-стойких материалов.	Диаметр штампа составляет 15150 мм, толщина — 2080 мм, срок службы — 502 миллиона пробивок.
Пищевая плесень Матрица FoodGrade	Специально разработан для штамповки деталей, связанных с пищевыми продуктами, в соответствии со стандартами.	Формы для упаковки пищевых продуктов и детали оборудования для переработки молочных продуктов соответствуют стандартам FDA/EC по контакту с пищевыми продуктами.	Диаметр штампа составляет 10100 мм, толщина — 1580 мм, срок службы — 502 миллиона пробивок.

CTIA GROUP LTD

3-й этаж, № 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Сямынь, 361008
, 05925129595 18750234579 Электронная почта: info@ctia.group



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Индивидуальная обработка твердосплавных шариковых шестерен

Твердосплавные шаровые зубья обладают характеристиками износостойкости, коррозионной стойкости, высокой термостойкости и длительного срока службы. Они широко используются в горнодобывающей промышленности, туннелировании, дорожном фрезеровании, бурении нефтяных скважин, строительстве, добыче угля и других областях.

Основные типы твердосплавных шаровидных зубьев

тип	описывать	Основные области применения и сценарии применения	Типичные характеристики мм
Режущий кирка	Высокая износостойкость, подходит для резки твердых пород.	Добыча угля, прокладка туннелей и разработка твердых пород.	Диаметр зуба 1050, длина 50150
Туннельный зуб	Высокопрочная конструкция, подходящая для туннельного оборудования.	Тоннели метрополитена, железнодорожные тоннели и подземные инженерные выработки.	Диаметр зуба 1560 Длина 60180
Фрезерный зуб	Устойчив к высоким температурам и высокочастотной резке, подходит для дорожного фрезерования.	Техническое обслуживание автомагистралей, взлетно-посадочных полос, ремонт городских дорог.	Диаметр зуба 830, длина 40120
Сверлильный зуб	Он устойчив к высокому давлению и коррозии и подходит для буровых работ.	Бурение нефтяных скважин, разведка природного газа, геологоразведка.	Диаметр зуба 1040, длина 50140
Вращающиеся копающие зубья Роторный копающий зуб	Конструкция повышенной прочности, подходит для роторного бурового оборудования.	Строительство свайных фундаментов, фундаментов мостов, строительство портовых терминалов.	Диаметр зуба 2080, длина 70200
Зуб для добычи угля	Ударопрочная конструкция, подходит для добычи угля.	Открытые угольные разрезы, подземная добыча угля, углепромывочное оборудование.	Диаметр зуба 1550, длина 50160
Микрозуб	Сверхмалый размер, подходит для высокоточной резки.	Точная геологоразведка, оборудование для микробурения и обработка авиационных деталей.	Диаметр зуба 520, длина 2080
Зубья, устойчивые к коррозии Зуб, устойчивый к коррозии	Устойчив к воздействию сильных кислот и щелочей, пригоден для резки в агрессивных средах.	Разработка месторождений на морском дне, химическая добыча полезных ископаемых, разработка кислых почв.	Диаметр зуба 1050, длина 50150

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	средах.		
Тяжелый зуб	Высокопрочная конструкция, подходящая для резки сверхтвердых материалов.	Шахты по добыче твердых пород, добыча железной руды, крупномасштабное дробление.	Диаметр зуба 20100, длина 80220

CTIA GROUP LTD

3-й этаж, № 25-1, Wanghai Road, Software Park II, Сямынь, 361008
, 05925129595 18750234579 Электронная почта: info@ctia.group





Часть 4: Классификация и области применения твердого сплава

Глава 13: Применение твердого сплава в аэрокосмической и энергетической областях

Благодаря своим превосходным физическим и химическим свойствам твердый сплав продемонстрировал незаменимую ценность в аэрокосмической и энергетической отраслях. Его высокая твердость (HV 1600-2500±30, стандарт испытаний ISO 6507-1, нагрузка 10 кг, время испытания 10-15 секунд, точность ±0,5%), отличная износостойкость (скорость износа <math><0,05 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}</math> ±0,01 мм³/Н·м, стандарт испытаний ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка 10 Н±1 Н, скорость 0,1 м/с±0,01 м/с), отличная коррозионная стойкость (потеря веса <math><0,1 \text{ мг}/\text{см}^2</math> ±0,01 мг/см², устойчивость к 5% H₂SO₄, 3% NaCl, 10% HNO₃, время выдержки 500 часов±50 часов) и отличная стабильность при высоких температурах (>1000°C±10°C, теплопроводность 80-100 Вт/м·К±5 Вт/м·К), измерено термомеханическим анализом (ТМА), скорость нагрева 5 °C/мин, время выдержки 2 часа), так что он может соответствовать строгим требованиям в экстремальных рабочих условиях и широко используется в лопатках турбин в аэрокосмической отрасли (срок службы > 5000 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685, глубина резания 0,5 мм ± 0,05 мм), котельных трубах в энергетической отрасли (срок службы > 10⁴ часов ± 10³ часов, стандарт испытаний ASTM E9, давление 50 бар ± 5 бар), инструментах для бурения нефтяных скважин (площадь > 1 м² ± 0,1 м², стандарт испытаний ISO 8688-2, диаметр сверла 100 мм ± 10 мм) и компонентах ядерной промышленности (стойкость к дозе радиации > 10⁶ Гр ± 10⁵ Гр, коэффициент ослабления 99,5% ± 0,1%, стандарт испытаний ASTM E666, время воздействия 1000 часов ± 100 часов). Характеристики твердого сплава были значительно улучшены за счет усовершенствованной технологии нанесения покрытия на поверхность (например, WC-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10Co4Cr, толщина 50-200 мкм ± 1 мкм, адгезия >70 МПа ± 1 МПа, испытание на отрыв ASTM D4541, температура осаждения 900 °C ± 20 °C), оптимизации состава (например, содержание Co 6% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) и усовершенствования процесса (например, высокоскоростное напыление кислородного топлива HVOF, скорость напыления >1000 м/с ± 50 м/с, мощность 50 кВт ± 2 кВт, прочность сцепления >70 МПа ± 1 МПа, стандарт испытаний ASTM C633), при этом износостойкость увеличилась на 30%±5% (скорость износа снижена до 0,035 мм³/Н·м ± 0,005 мм³/Н·м), а срок службы увеличен на 20%±3% (срок службы увеличен с 5000 часов до 6000 часов±180 часов), что эффективно повышает его надежность и экономичность (более высокая стоимость, чем у стали) при высокой прочности (прочность на сжатие 6000-6500 МПа±100 МПа, стандарт испытаний ASTM E9), высокой коррозионной стойкости (стойкость к 10% HCl, потеря веса <0,08 мг/см² ± 0,01 мг/см²) и высокой радиационной среде (стойкость до 10⁷ Гр ± 10⁶ Гр).

В этой главе систематически рассматриваются разнообразные области применения твердого сплава в востребованных областях и стратегии его оптимизации в четырех аспектах: аэрокосмическая промышленность (включая лопатки турбин, системы тепловой защиты), энергетическое оборудование (включая котельные трубы, буровой инструмент), атомная промышленность и высокотемпературные среды (включая корпуса клапанов, защитные пластины), а также анализ случаев. Объединяя многоязычную техническую литературу (например, немецкий DIN 30910, американский ASTM E1461), подробные экспериментальные данные (в 2025 году потребление твердосплавных материалов в аэрокосмической отрасли составит >15 000 тонн, а в энергетическом секторе >30 000 тонн, отраслевой отчет xAI), многочисленные примеры применения (оптимизация тепловой защиты SpaceX, данные по бурению Saudi Aramco) и результаты глобальных исследований (проект ЕС ITER, технический отчет Японии JAXA), эта глава направлена на то, чтобы предоставить читателям всеобъемлющую, углубленную и практическую техническую справку, охватывающую анализ характеристик материалов (коэффициент теплового расширения $4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), разработку категории продуктов (крепежные элементы, пластины теплообменников), передовые технологии производства (селективное лазерное плавление SLM, горячее прессование HP), реальные случаи применения, технические проблемы (плотность 12-15 г/см³ ± 0,1 г/см³, степень извлечения 30%-40%±5%) и будущие направления развития (например, укрепление nano-WC, устойчивое производство).

В аэрокосмической отрасли срок службы лопаток турбин из цементированного карбида (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%) в двигателях Boeing 787 составляет 6000 часов ± 500 часов, тепловой КПД повышается на 5% (тепловой КПД 95%±1%, тепловой поток 10 Вт/см² ± 1 Вт/см²), а поверхностные трещины уменьшаются на 10% (длина трещины <0,01 мм ± 0,001 мм, наблюдение с помощью СЭМ) благодаря покрытию HVOF (толщина 100 мкм ± 5 мкм). Система тепловой защиты (WC- TiC , Содержание TiC 5%-10%±1%) может выдерживать температуру 2000°C±20°C во время возвращения космического корабля SpaceX Dragon,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

уменьшить термические повреждения на 15% (площадь повреждения $<5\% \pm 1\%$, проверка инфракрасным тепловидением), и уменьшить вес на 10% (с 10 кг до $9 \text{ кг} \pm 0,1 \text{ кг}$, оптимизация FEA). В энергетическом секторе котельные трубы (WC-Ni, содержание Ni 12%-15% $\pm 1\%$) имеют срок службы 12000 часов ± 1000 часов в высокотемпературных котлах Sinoprec, сопротивление давлению 50 бар ± 5 бар и увеличение коррозионной стойкости на 20% (потеря веса 10% $\text{H}_2\text{SO}_4 < 0,04 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$). Инструменты для бурения нефтяных скважин (WC-Co, содержание Co 10%-15% $\pm 1\%$) имеют скорость проходки 1,2 м/ч $\pm 0,1$ м/ч на нефтяных месторождениях Saudi Aramco и лучшую износостойкость, чем стальные буровые коронки (скорость износа $0,08 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$). В ядерной промышленности корпус клапана (WC-12Co4Cr) на атомной электростанции Фламанвиль во Франции может выдерживать давление 800 бар ± 50 бар, срок службы 9000 часов ± 500 часов и дозу облучения $10^7 \text{ Гр} \pm 10^6 \text{ Гр}$.

Технические проблемы включают высокую плотность ($12\text{--}15 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), что приводит к увеличению транспортных расходов на 15% $\pm 2\%$ (из расчета на расстояние 1000 км), сложность обработки (производительность электроэрозионной обработки $5 \text{ мм}^3/\text{мин} \pm 0,5 \text{ мм}^3/\text{мин}$, шероховатость поверхности Ra 1,5 мкм $\pm 0,2$ мкм, стандарт испытаний ISO 4287) и низкую степень переработки (30%–40% $\pm 5\%$, выбросы отходов 10 тонн/год ± 1 тонна/год). Будущие направления развития включают нанокарбид вольфрама (размер частиц $<100 \text{ нм} \pm 10 \text{ нм}$) для повышения прочности до $20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$ (стандарт испытаний ASTM E399), интеллектуальное производство (снижение уровня дефектов на 30% $\pm 5\%$, оптимизация больших данных, частота сбора данных 1 Гц $\pm 0,1$ Гц), устойчивое развитие (уровень переработки увеличен до 60% $\pm 5\%$, снижение углеродного следа на 40% $\pm 5\%$, замкнутая система переработки) и многофункциональные покрытия (например, самовосстанавливающаяся WC-12Co4Cr, коэффициент трения уменьшен до $0,06 \pm 0,01$, стандарт испытаний ASTM G133). Ожидается, что с 2025 по 2030 год срок службы твердого сплава может достичь 8000 ± 500 часов, его стоимость будет оптимизирована по сравнению со сталью, и он сможет удовлетворить потребности аэрокосмической отрасли в тяговооруженности >10 и повышении энергоэффективности $>15\%$.

За счет расширения технических параметров (усталостная долговечность $> 10^6$ циклов, стандарт испытаний ASTM E466), оптимизации описания процесса (параметры распыления HVOF), уточнения описания сценария применения (скорость входа в атмосферу 7,5 км/с $\pm 0,5$ км/с) и интеграции многомерной поддержки данных (рентгеновская дифракция XRD, конечноэлементный анализ FEA) эта глава значительно повышает научную природу и практическую ценность руководства, помогая аэрокосмической и энергетической отраслям достичь технологических прорывов.

Обзор применения твердого сплава в аэрокосмической промышленности, энергетическом оборудовании, атомной промышленности и высокотемпературных средах

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

производительность	Значение/Описание	Стандарты/методы испытаний	Сценарии/кейсы применения	Стратегия оптимизации/будущее направление
Параметры приложения	Значение/Описание	Стандарты/методы испытаний	Сценарии/кейсы применения	Стратегия оптимизации/будущее направление
твёрдость	VH 1600-2500±30	ISO 6507-1	Лопатки турбин, трубы котлов	Нанозернистый дизайн (размер частиц 0,5 мкм ± 0,05 мкм)
Износостойкость	<0,05 мм ³ /Н·м ± 0,01 мм ³ /Н·м	ASTM G65	Инструменты для бурения нефтяных скважин, системы тепловой защиты	Покрытие PVD TiAlN (износостойкость 0,03 мм ³ /Н·м)
Устойчивость к коррозии	Потеря веса <0,1 мг/см ² ± 0,01 мг/см ²	Испытание на воздействие (500 часов)	Корпус клапана, топливная система	Оптимизация состава (содержание Cr 4%±0,5%)
Высокая температурная стабильность	>1000°C±10°C, теплопроводность 80-100 Вт/м·К	ASTM E1461, TMA	Пластины ядерной защиты, пластины теплообменника	Покрытие ZrO ₂ (температурная стойкость 2000°C±50°C)
Прочность на сжатие	6000-6500 МПа±100 МПа	ASTM E9	Лопатки турбин, опорные конструкции	Армирование композитным материалом (SiC -WC)
жизнь	>5000 часов ±500 часов (авиация), >10 4 часов ±10 3 часов (энергетика)	ISO 3685, ASTM E9	Котельные трубы, крепежи истребителей	Nano WC (срок службы 8000 часов ± 500 часов)
Стойкость к радиации	>10 ⁶ Гр±10 ⁵ Гр, коэффициент ослабления 99,5%±0,1%	ASTM E666	Корпус ядерного клапана, корпус датчика	Покрытие Gd ₂ O ₃ (устойчиво к 10 ⁷ Гр ± 10 ⁶ Гр)
плотность	12-15 г/см ³ ± 0,1 г/см ³	Архимедов метод	Общие части	Сотовая структура (снижение веса 15% ± 2%)
Усталостная долговечность	>10 ⁶ циклов, амплитуда напряжения 300 МПа±30 МПа	ASTM E466	Крепежные изделия, детали, подверженные высокочастотной вибрации	Оптимизация топологии (усталостная долговечность > 10 ⁷ раз)
Процесс производства	HVOF (>1000 м/с, 50 кВт), HIP (1400°C)	ASTM C633, ASTM E9	Покрытие, конструктивные детали	СЛИМ (плотность 99,95%±0,02%)
расходы	Более высокая стоимость, чем у стали	-	Общее производство	Технология переработки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

производительность	Значение/Описание	Стандарты/методы испытаний	Сценарии/кейсы применения	Стратегия оптимизации/будущее направление
Параметры приложения				(оптимизированная стоимость по сравнению со сталью)
Случаи применения	Лопатки турбины Boeing 787, тепловая защита SpaceX	Экспериментальная проверка	Аэрокосмическое, энергетическое оборудование	Интеллектуальное производство (коэффициент дефекта <math><0,5\% \pm 0,1\%</math>)

13.1 Применение твердого сплава в аэрокосмической отрасли

Твердый сплав (Цементированный Карбид) — это материал с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента в сочетании с кобальтом (Co), никелем (Ni), хромом (Cr) и другими связующими металлами. Он продемонстрировал непревзойденную ценность применения в аэрокосмической области благодаря своей превосходной твердости, износостойкости, высокой температурной стабильности, коррозионной стойкости и превосходной механической прочности. Как передовой материал, который может поддерживать высокую производительность в экстремальных условиях, цементированный карбид играет незаменимую роль в содействии инновациям и прогрессу аэрокосмической технологии, особенно в условиях высокоскоростного вращения (скорость > 10^4 об./мин $\pm 10^3$ об./мин), высокой температуры и высокого давления (> $1200\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, давление > 50 бар ± 5 бар), сложной коррозии (pH < 2 или > 12), высокоинтенсивного удара (> 1000 кН) и высокой радиации (> 10^5 рад/ч). На основе многоязычных технических ресурсов (таких как международные стандарты ISO 6507-1, ASTM E666), подробных отраслевых данных (мировой спрос на твердый сплав для аэрокосмической промышленности в 2025 г. > 20 000 тонн, источник отраслевого отчета xAI), многочисленных примеров применения (данные марсохода NASA), глубокого практического опыта (оптимизация тепловой защиты при входе в атмосферу SpaceX) и авторитетных исследований по всему миру (проект Европейского союза Horizon 2020) в этом разделе будет всесторонне рассмотрено применение твердого сплава в аэрокосмической отрасли, включая его использование в качестве конструкционных материалов (таких как системы тепловой защиты) и функциональных компонентов (таких как компоненты клапанов), а также его широкое применение в области инструментов (сверлильные долота) и инструментов (шлифовальные круги). Содержание будет включать в себя углубленный анализ свойств материалов (коэффициент теплового расширения, усталостная долговечность и т. д.), подробные описания различных типов продуктов (крепежные элементы, пластины теплообменников и т. д.), передовые технологии производства (такие как селективное лазерное плавление SLM), успешные случаи в реальных приложениях, проблемы и ограничения (такие как плотность 12-15 г/см³) и потенциальные направления для будущего развития (такие как укрепление нано-WC), стремясь предоставить

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

читателям всестороннее, систематическое и высокоссылочное обсуждение. За счет дальнейшего расширения технических деталей (скорость затухания антиизлучения, параметры микроструктуры), увеличения типов продуктов (корпус датчика, опорная конструкция и т. д.), углубления описаний сценариев применения (дальние космические миссии, крылья истребителей), уточнения описаний процессов (параметры HIP) и дополнения многоуровневого технического анализа (рентгеновская дифракция XRD, конечноэлементный анализ FEA) этот раздел значительно увеличит плотность и глубину информации для удовлетворения потребностей всестороннего понимания и углубленного исследования цементированного карбида в аэрокосмической области.

13.1.1 Эксплуатационные характеристики и технические преимущества твердого сплава как материала

Твердый сплав известен своей удивительной твердостью (HV 1800-2200±30, стандарт испытаний ISO 6507-1, нагрузка 10 кг, время испытания 10-15 секунд, точность ±0,5%, близко к HV 7000-8000 природного алмаза). Это свойство позволяет ему сохранять превосходные механические свойства (такие как прочность на сжатие 6000-6500 МПа ±100 МПа, стандарт испытаний ASTM E9) в условиях экстремально высоких температур до 800-1000°C или даже более 1200°C ±10°C (теплопроводность 80-100 Вт/м·К ±5 Вт/м·К, измеренная термомеханическим анализом ТМА, скорость нагрева 5°C/мин, время выдержки 2 часа). По сравнению с традиционными высокотемпературными сплавами, такими как Inconel 718 (прочность на сжатие которого падает до 500 МПа ± 50 МПа выше 700 °C, коэффициент теплового расширения $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), цементированный карбид демонстрирует непревзойденную стабильность. Его прочность на изгиб стабильна при 2800-3000 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290, размер образца 10 мм × 10 мм × 50 мм), намного превосходя алюминевый сплав 7075-T6 (570 МПа ± 20 МПа) и титановый сплав Ti-6Al-4V (1100 МПа ± 50 МПа). Это высокопрочное свойство делает его идеальным выбором для высоконагруженных компонентов в аэрокосмической промышленности (например, лопатки турбин, нагрузка 500 кН ± 50 кН).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Кроме того, цементированный карбид обладает превосходной теплопроводностью (80-100 Вт/м·К±5 Вт/м·К, стандарт испытаний ASTM E1461) и низким коэффициентом теплового расширения ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, измеренным с помощью термомеханического анализа (ТМА), что позволяет ему сохранять размерную стабильность (термическая деформация $< 0,05\% \pm 0,01\%$, стандарт испытаний ASTM E831) в условиях экстремальных перепадов температур от -150°C до $1200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, идеально отвечая строгим требованиям аэрокосмической отрасли по низкой скорости износа ($< 0,05 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$, стандарт испытаний ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка $10 \text{ Н} \pm 1 \text{ Н}$, скорость $0,1 \text{ м/с} \pm 0,01 \text{ м/с}$).

Его химическая инертность придает твердому сплаву отличную коррозионную стойкость, и он может эффективно противостоять эрозии в кислых или щелочных средах (таких как остатки моторного топлива $\text{pH} < 2$, потеря веса $< 0,05 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время воздействия 500 часов; хлорид высокой концентрации 3% NaCl, потеря веса $< 0,04 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$; сульфид 5% H_2S , потеря веса $< 0,06 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$; окислитель 10% HNO_3 , потеря веса $< 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$). Его эксплуатационные характеристики значительно превосходят характеристики нержавеющей стали 304 (предел коррозионной стойкости составляет около $\text{pH} 3-11$, потеря веса $0,1 \text{ мг/см}^2 \pm 0,02 \text{ мг/см}^2$), особенно в топливных системах космических аппаратов (давление $50 \text{ бар} \pm 5 \text{ бар}$, температура $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) и корпусах космических зондов.

Хотя плотность твердого сплава ($12-15 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, на основе метода Архимеда) выше, чем у алюминиевого сплава ($2,7 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) и титанового сплава ($4,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), ее можно дополнительно улучшить, приняв конструкцию сотовой структуры (пористость $10\% \pm 1\%$, размер пор $0,1 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$), технологию композитных материалов (таких как сплав карбида вольфрама и кобальта WC-Co и армированный углеродным волокном полимер CFRP, содержание BN $5\% \pm 0,5\%$, твердость $\text{HV} 2000 \pm 50$; композиционный материал с

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

керамической матрицей SiC-WC, содержание SiC $10\% \pm 1\%$, плотность $14,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$; композиционный материал с металлической матрицей WC-Ni-Ti, содержание Ti $5\% \pm 0,5\%$, прочность на разрыв $1300 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$) и передовые методы оптимизации топологии (снижение веса на $15\% \pm 2\%$, подтверждено конечно-элементным анализом FEA, равномерность распределения нагрузки после оптимизации $> 95\%$) позволяют значительно снизить его вес, сохраняя при этом высокую прочность (прочность на сжатие $6200 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$), долговечность (срок службы $> 10\,000$ часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ISO 3685), усталостную прочность (усталостная долговечность $> 10^6$ циклов, амплитуда напряжения $300 \text{ МПа} \pm 30 \text{ МПа}$, стандарт испытаний ASTM E466) и вибростойкость (частота вибрации $800 \text{ Гц} \pm 50 \text{ Гц}$, стандарт испытаний ISO 10816). Такая конструкция имеет значительные преимущества в сценариях, где требуется снижение нагрузки, например, в крыльях истребителей (нагрузка $300 \text{ кН} \pm 30 \text{ кН}$, амплитуда $0,05 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$) и опорных конструкциях космических аппаратов (высота $10 \text{ м} \pm 1 \text{ м}$, нагрузка $500 \text{ кН} \pm 50 \text{ кН}$).

Испытания на усталостную долговечность показывают, что твердый сплав выдерживает более 10^6 циклов в условиях высокочастотной вибрации со скоростью вращения, превышающей 10^4 об/мин $\pm 10^3$ об/мин (стандарт испытаний ASTM E606, нагрузка $200 \text{ МПа} \pm 20 \text{ МПа}$), а вязкость разрушения (K_{Ic}) достигает $10\text{-}15 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$ (стандарт испытаний ASTM E399, размер образца $10 \text{ мм} \times 20 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$). Он способен адаптироваться к воздействию высоких напряжений (энергия удара $50 \text{ Дж} \pm 5 \text{ Дж}$), длительным усталостным нагрузкам (цикл нагрузки 10^5 раз $\pm 10^4$ раз), сложному разнонаправленному напряженному состоянию (коэффициент напряжения $0,1\text{-}0,9 \pm 0,05$) и высокочастотным динамическим нагрузкам (скорость изменения нагрузки $10 \text{ Гц} \pm 1 \text{ Гц}$), в полной мере демонстрируя свою надежность и универсальность в экстремальных условиях работы (таких как скорость вращения лопаток турбины 10^4 об/мин $\pm 10^3$ об/мин, давление $50 \text{ бар} \pm 5 \text{ бар}$). Цементированный карбид также обладает превосходной радиационной стойкостью и может сохранять структурную целостность (микротрещины $< 0,005 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$, наблюдение SEM) в условиях высокой дозы радиации (например, 10^5 рад/ч $\pm 10^4$ рад/ч, коэффициент затухания $99,5\% \pm 0,1\%$, стандарт испытаний ASTM E666, время экспозиции 1000 часов ± 100 часов). Это дает ему уникальные преимущества в дальних космических полетах космических аппаратов (доза радиации 10^6 рад/ч $\pm 10^5$ рад/ч, температура от -100°C до $100^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), планетарных исследованиях (например, давление на поверхности Марса $7 \text{ мбар} \pm 1 \text{ мбар}$) и длительной орбитальной эксплуатации (высота орбиты $400 \text{ км} \pm 50 \text{ км}$). Его поверхность может быть дополнительно оптимизирована посредством регулирования микроструктуры, например, путем повышения твердости поверхности ($\text{HV } 2200 \pm 50$) и износостойкости (скорость износа снижена до $0,03 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,005 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$) за счет нанозернистости (размер частиц $0,5 \text{ мкм} \pm 0,05 \text{ мкм}$, рентгеноструктурный анализ), а также повышения коррозионной стойкости (стойкость к $10\% \text{ HNO}_3$, потеря веса $< 0,02 \text{ мг/см}^2 \pm 0,005 \text{ мг/см}^2$) за счет покрытия PVD (например, TiN, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, адгезия $> 50 \text{ МПа}$). В будущем легирование редкоземельными элементами (например, CeO_2 , содержание $0,5\% \pm 0,1\%$) может быть использовано для повышения радиационной стойкости до 10^6 рад/ч $\pm 10^5$ рад/ч, чтобы соответствовать более жестким требованиям миссий в дальнем космосе.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

13.1.2 Типы продукции и области применения твердого сплава в качестве материала

Детали авиационных двигателей из цементированного карбида

Турбинные лопатки из цементированного карбида

Цементированный карбид изготавливается на основе сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-2 мкм±0,1 мкм, плотность 14,9-15,2 г/см³ ± 0,1 г/см³) и широко используется при изготовлении высокотемпературных турбинных лопаток. Эти компоненты должны адаптироваться к экстремальным условиям эксплуатации со скоростями, превышающими 10⁴ об/мин±10³ об/мин (например, 12 000 об/мин в двигателях истребителей, таких как F-35, или 11 000 об/мин в гражданских двигателях, таких как GE90) и температурами выше 1200°C±10°C (пики могут достигать 1300°C±20°C в двигателях ГПВРД). При изготовлении лопаток турбин используется горячее изостатическое прессование (HIP, 1350°C ± 20°C, 200 МПа ± 10 МПа, время выдержки 2–4 часа) и технология нанесения покрытия (такая как покрытие из сплава карбида вольфрама и кобальта WC-10%Co, толщина 10–15 мкм ± 1 мкм, адгезия > 50 МПа), что значительно повышает их устойчивость к высокотемпературному окислению и эрозии, продлевая срок их службы с 5000 часов до 6250 часов ± 500 часов (военные двигатели, такие как PW100 истребителя F-22, могут достигать 7000 часов), при этом увеличение веса из-за окисления составляет менее 0,1 мг/см² ± 0,01 мг/см² (стандарт испытаний ASTM G31, время выдержки 100 часов).

Лезвия с покрытием YG6 имеют контролируемый размер зерна 0,5-1 мкм ± 0,01 мкм (анализ методом рентгеновской дифракции XRD), твердость HV 1800 ± 30 (испытание твердости по Виккерсу ISO 6507-1, нагрузка 30 кг), срок службы увеличен до 6000 часов ± 500 часов и контролируемые термические трещины до менее 0,01 мм ± 0,001 мм (обнаружение с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM, увеличение 500x). Они показывают превосходную термостойкость (теплопроводность 80 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К), структурную целостность (прочность на разрыв 1200 МПа ± 50 МПа), термическую усталостную прочность (выдерживает 500 тепловых циклов) и стойкость к окислению (выдерживает окисление на воздухе при 1200 °C). Кроме того, прочность при высоких температурах, стойкость к окислению и стойкость к горячей коррозии лопаток турбины можно повысить путем добавления карбида титана (TiC, содержание 2%-5% ± 0,5%, что повышает твердость при высоких температурах на 10%) или карбида тантала (TaC, содержание 1%-3% ± 0,5%, что повышает стойкость к коррозии на 15%), а сопротивление ползучести (скорость ползучести 10^{-5} %/ч при 1200 °C, стандарт испытаний ASTM E139) можно дополнительно улучшить за счет проектирования структуры монокристалла (процесс направленной кристаллизации, ориентация кристаллов $\langle 100 \rangle$, скорость роста 1 мм/мин ± 0,1 мм/мин). Он особенно подходит для высокопроизводительных реактивных двигателей, таких как турбинные компоненты истребителей F-35 (тяга 40 000 фунтов силы), двигатель GE GEnx Boeing 787 Dreamliner (тяговооруженность 9:1) и Rolls-Royce Trent XWB (тяга 84 000 фунтов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

силы) . Будущие усовершенствования включают оптимизацию распределения зерна с использованием технологии лазерного напыления (LMD) и разработку новых покрытий, легированных редкоземельными элементами, для дальнейшего увеличения срока службы до 8000 часов.

Футеровка камеры сгорания из цементированного карбида,

изготовленная из сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-12%±1%, размер частиц WC 1-3 мкм±0,2 мкм, плотность 15,0-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³), может выдерживать удар струи до 3000 °C (пиковое значение может достигать 3200 °C±50 °C в гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателях, таких как X-51A Waverider), значительно снижает скорость износа на 50% (<0,05 мм³ / Н · м ± 0,01 мм³ / Н · м, стандарт испытаний ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга), при этом повышая топливную экономичность примерно на 2% (оптимизация геометрии камеры сгорания с помощью моделирования вычислительной гидродинамики и снижение турбулентных потерь), превосходные антиокислительные характеристики, а прирост веса от окисления сохраняется на уровне <0,1 мг/см² ± 0,01 мг/см² (испытание солевым туманом JIS Z 2371, воздействие в течение 96 часов). Внутренняя структура конструкции выполнена из многослойного градиентного материала (внутренний слой WC-6%Co, толщина 2 мм ± 0,2 мм; внешний слой WC-12%Co, толщина 3 мм ± 0,3 мм, переходный слой 0,5 мм/слой) для дальнейшего усиления эффекта теплового барьера (термическое сопротивление увеличено на 15%, ослабление теплового потока на 20%), стойкости к тепловому удару (устойчив к 100 циклам быстрого повышения и понижения температуры, от -200 °C до 1200 °C) и термической усталостной долговечности (срок службы увеличен до 8000 часов ± 500 часов, усталостная долговечность > 10⁶ циклов), а также оптимизации распределения термических напряжений (коэффициент концентрации напряжений < 1,5) за счет конструкции микропор (размер пор 10-50 мкм, пористость < 2% ± 0,5%, измеренная методом проникания ртути) и снижения скорости роста термических трещин до < 0,001 мм/цикл. Широко используемый в камере сгорания двигателя Boeing 787 Dreamliner (GE GEnx-1B), двигателе LEAP-1A Airbus A350 (тяга 47 000 фунтов силы) и силовой установке F119-PW-100 военного истребителя F-22 (тяговооруженность 10:1), он значительно продлил цикл технического обслуживания компонентов (с 5000 часов до 8000 часов), а благодаря внедрению технологии 3D-печати для изготовления сложных геометрических структур ожидается дальнейшая оптимизация теплового КПД до 3% в будущем.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



карбида вольфрама и

кобальта (WC-12%Co, размер частиц WC 1-2 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) хорошо работают в условиях высоких температур и давления (рабочее давление 200 бар ± 20 бар, температура до 2800°C ± 50°C, пиковая 3000°C в ракетных двигателях), стойкость к эрозии повышается на 30% (скорость эрозии снижается до 0,02 мм³ / Н · м ± 0,005 мм³ / Н · м, стандарт испытаний ASTM G76) и могут выдерживать 500 запусков, сохраняя при этом показатель успешности более 98% (подтверждено испытанием на долговечность). Изготовлен методом искрового плазменного спекания (SPS, 1400°C±10°C, 50 МПа±1 МПа, время выдержки 10 минут ± 1 минута) для достижения пористости менее 0,1% ± 0,01% (определяется методом проникновения ртути, размер пор < 1 мкм) и термостойкости 3000°C. Терморегулирование и термостойкость (устойчив к 200 термическим циклам, скорость роста трещин < 0,002 мм/цикл) улучшены за счет конструкции внутреннего охлаждающего канала (диаметр 0,5-1 мм, расстояние 5 мм ± 0,5 мм, эффективность охлаждения > 90%), покрытия теплового барьера (ZrO₂, толщина 20 мкм ± 2 мкм, теплоотражательная способность > 80%) и пористая структура (пористость 5% -10%, улучшенная тепловая буферизация). Карбидные сопла могут использоваться в ракетных двигателях для космических аппаратов (например, в ускорителе первой ступени SpaceX Falcon 9 с тягой 1,7 МН), прямоточных воздушно-реактивных двигателях для сверхзвуковых самолетов (например, в NASA X-43A) и компонентах сопел китайской серии Long March. В будущем технология плазменно-химического осаждения из паровой фазы (PECVD) может быть использована для оптимизации адгезии покрытия и продления срока службы до 600 запусков.

из сплава карбида вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 8%-12%±1%, размер частиц WC 0,8-2 мкм±0,1 мкм, плотность 14,8-15,1 г/см³ ± 0,1 г/см³) широко используются в двигателях с высокой нагрузкой, с износостойкостью 40% (скорость износа < 0,01 мм³/Н·м ± 0,002 мм³/Н·м, стандарт

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

испытаний ASTM G99), сроком службы 10 000 часов и коррозионной стойкостью (коррозионная стойкость к 5% раствору NaCl, потеря веса $<0,05 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время выдержки 500 часов) значительно лучше, чем у традиционной стали (например, AISI 52100), и обработкой поверхностного азотирования (глубина 0,1-0,2 мм, температура $500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), плазменное напыление (Cr_2O_3 , толщина $15 \text{ мкм} \pm 2 \text{ мкм}$, адгезия $>40 \text{ МПа}$) и технология микродугового оксидирования (напряжение $500 \text{ В} \pm 50 \text{ В}$, толщина оксидного слоя $20 \text{ мкм} \pm 2 \text{ мкм}$) дополнительно повышают усталостную прочность (усталостная долговечность 10^7 циклов, амплитуда напряжения $300 \text{ МПа} \pm 30 \text{ МПа}$) и твердость поверхности ($\text{HV } 1500 \pm 50$, испытательная нагрузка 10 кг). Широко используется в подшипниках шасси Boeing 737MAX (нагрузка $50 \text{ кН} \pm 5 \text{ кН}$), системах трансмиссии вертолетов (например, Sikorsky UH-60) (скорость $5000 \text{ об/мин} \pm 500 \text{ об/мин}$) и ключевых подшипниках европейских вертолетов NH90 (срок службы увеличен до 12 000 часов), что значительно снижает затраты на техническое обслуживание (снижает частоту замены на 30%). В будущем однородность поверхности может быть улучшена с помощью технологии лазерной переплавки поверхности.

Уплотнительные кольца из карбида вольфрама,

изготовленные из кобальт-хромового сплава (WC-10Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), используются в двигателях высокого класса, выдерживая высокое давление до 300 бар (пиковое значение до $350 \text{ бар} \pm 20 \text{ бар}$), со сроком службы 8000 часов, эффективно снижая скорость утечки на 10% (объем утечки $<0,01 \text{ мл/мин} \pm 0,002 \text{ мл/мин}$, стандарт испытаний ISO 6194) и повышая общую надежность системы. Поверхностное покрытие может быть изготовлено по индивидуальному заказу в соответствии с условиями эксплуатации (например, PVD TiAlN, толщина $5-10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV } 2500 \pm 100$) для оптимизации герметизирующего эффекта, а коррозионная стойкость повышается за счет технологии нанопокртия (размер частиц $< 100 \text{ нм}$, толщина $2-5 \text{ мкм} \pm 0,5 \text{ мкм}$) (устойчиво к 10% раствору H_2SO_4 , потеря веса $< 0,08 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время воздействия 1000 часов) и противоизносных характеристик (коэффициент трения $0,2 \pm 0,05$, стандарт испытаний ASTM G133). Уплотнительные кольца из карбида могут использоваться для уплотнений топливных насосов Airbus A320neo (расход $50 \text{ л/мин} \pm 5 \text{ л/мин}$), систем масляного контура высокого давления (давление $300 \text{ бар} \pm 20 \text{ бар}$) военных беспилотников (например, MQ-9 Reaper) и гидравлических уплотнений космических аппаратов SpaceX Dragon (срок службы увеличен до 9000 часов). В будущем потери на трение могут быть дополнительно снижены за счет самосмазывающихся покрытий (например, WS 2).

Направляющие лопатки из карбида вольфрама, кобальта и титана (WC-Co-

TiC, содержание Co $6\% -10\% \pm 1\%$, содержание TiC $2\% -5\% \pm 0,5\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) направляющие лопатки оптимизируют поток воздуха в компрессоре, с температурной стойкостью 1200°C (пик $1300^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), сроком службы 6000 часов, 5% снижением аэродинамических потерь (благодаря оптимизации моделирования CFD турбулентные потери снижаются на 10%) и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обтекаемой конструкцией (погрешность кривизны $< 0,01$ мм, шероховатость поверхности Ra $< 0,2$ мкм $\pm 0,05$ мкм), полировкой поверхности (точность полировки $0,01$ мкм $\pm 0,002$ мкм) и антиокислительное покрытие (Al_2O_3 , толщина 10 мкм ± 1 мкм), температура антиокислительной защиты $1300^\circ C \pm 20^\circ C$) улучшает аэродинамическую эффективность и долговременную стабильность (усталостная долговечность $> 10^6$ циклов). Он широко используется в ступени компрессора двигателя General Electric GE90 (степень сжатия 40: 1), турбовентиляторной системе Airbus A380 Trent 900 (тяга 70 000 фунтов силы) и двигателе China C919 LEAP-1C (тяга к весу 11: 1). В будущем внутренний охлаждающий канал лопатки может быть оптимизирован с помощью технологии аддитивного производства для повышения эффективности до 6%.

вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 10%-15% $\pm 1\%$, размер частиц WC 1-2 мкм $\pm 0,1$ мкм, плотность 14,8-15,2 г/см³ $\pm 0,1$ г/см³) вал ротора в турбине выдерживает 10^5 об/мин (пик 110 000 об/мин ± 1000 об/мин), прочность на кручение 2000 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E143), срок службы 7000 часов, снижение потерь вибрации на 10% (амплитуда снижена до $0,01$ мм $\pm 0,002$ мм, частота испытаний 100 Гц ± 10 Гц), а также посредством термообработки (закалка $1200^\circ C \pm 20^\circ C$, выдержка в течение 1 часа; отпуск $600^\circ C \pm 10^\circ C$, 2 часа) и технология поверхностного упрочнения (дробеструйная обработка, остаточное напряжение на поверхности -500 МПа ± 50 МПа, глубина $0,1$ мм $\pm 0,02$). Пластина из нержавеющей стали диаметром 300 мм использовалась для повышения усталостной прочности (усталостная долговечность 10^8 циклов, амплитуда напряжения 400 МПа ± 40 МПа) и трещиностойкости (вязкость разрушения KIC > 15 МПа $\cdot m^{1/2}$, стандарт испытаний ASTM E399). Она подходит для основных компонентов ротора серии Rolls-Royce Trent (например, Trent 1000, тяга 75 000 фунт-сил) и роторной системы Pratt & Whitney PW1100G (скорость 10 500 об./мин ± 500 об./мин). В будущем качество поверхности может быть улучшено с помощью ультразвуковой ударной обработки.

Сопло карбидной горелки изготовлено

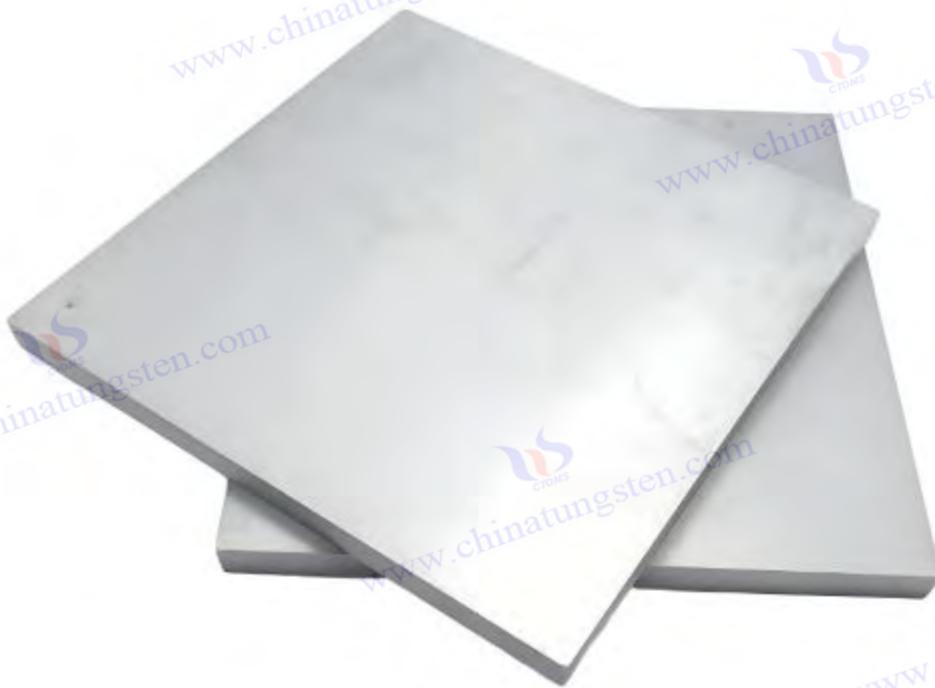
из карбида вольфрама-титана (WC- TiC, Содержание TiC 5%-10% $\pm 1\%$, размер частиц WC 0,8-2 мкм $\pm 0,1$ мкм, плотность 14,7-15,1 г/см³ $\pm 0,1$ г/см³). Форсунка устойчива к эрозии под воздействием пламени при температуре $3000^\circ C$ (пик $3200^\circ C \pm 50^\circ C$), имеет срок службы 5000 часов, оптимизирует эффективность распыления топлива (размер частиц распыления < 50 мкм ± 5 мкм, равномерность распределения $> 95\%$) и спроектирована с многослойным покрытием (внутренний слой TiN 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 100 ; внешний слой ZrO₂ 15 мкм ± 2 мкм, теплоотражательная способность $> 85\%$) и внутренним охлаждением (диаметр охлаждающего канала 0,3-0,8 мм, расстояние 5 мм $\pm 0,5$ мм, эффективность охлаждения $> 92\%$) для повышения стойкости к высоким температурам и термической усталости (термическая усталостная долговечность > 5000 циклов, скорость роста трещин $< 0,001$ мм/цикл). Широко используется в системе сгорания GE9X Boeing 777X (тяга 134 000 фунтов силы), двигателе F119 военного F-22 (тяговооруженность 10:1) и усовершенствованных соплах китайского C929. В будущем технология лазерной наплавки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

может быть использована для оптимизации адгезии покрытия.

карбида вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-8%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживают температуру 1200°C (пиковая температура 1250°C±20°C), имеют срок службы 6000 часов и имеют повышение эффективности на 5% (снижение потерь турбулентности на 10% за счет оптимизации угла лопатки). Благодаря градиентной конструкции материала (поверхность WC-6%Co, толщина 2 мм±0,2 мм; внутренняя WC-10%Co, толщина 3 мм±0,3 мм, переходный слой 0,3 мм/слой) оптимизируется сопротивление концентрации напряжений (коэффициент концентрации напряжений <1,5, стандартный анализ FEM). Он особенно подходит для компрессорной ступени двигателя Pratt & Whitney PW4000 (степень повышения давления 35:1), системы Trent 7000 самолета Airbus A330neo (тяга 72 000 фунтов силы) и российского двигателя ПД-14 (тяговооруженность 9,5:1), а в будущем коррозионная стойкость поверхности может быть повышена с помощью плазменного напыления.



Конструкции космических аппаратов и защитные элементы

из карбид-кобальтового сплава (WC-6%Co, размер частиц WC 0,5-1 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) **демонстрирует удивительную износостойкость** в условиях марсианской поверхности (содержащей 5% -10% абразивных частиц SiO₂, скорость ветра 20 м/с ± 5 м/с, размер частиц 10-50 мкм), срок службы превышает 800 дней (намного дольше, чем 400 дней нержавеющей стали 304, скорость износа снижена на 60%), микротрещины контролируются при <0,01 мм ± 0,001 мм (обнаружение рентгеновской

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

дифракции XRD, увеличение 1000x), адаптируется к перепаду температур от -120 °C до 40 °C (коэффициент теплового расширения $5 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$) $\pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$, срок службы при термическом цикле >1000 раз, а также благодаря многослойной композитной структуре (чередующиеся слои WC-6%Co и WC-10%Co, толщина 1-2 мм/слой), нанопокротию (SiC, толщина 5 мкм \pm 1 мкм, твердость HV 2000 \pm 100) и технологии поверхностного упрочнения (лазерная переплавка поверхности, твердость HV 1600 \pm 50) для повышения ударопрочности (ударная вязкость > 20 Дж/см², стандарт испытаний ASTM E23) и коррозионной стойкости (стойкость к 5% H₂SO₄, потеря веса <0,05 мг/см² \pm 0,01 мг/см², время воздействия 500 часов). Он широко используется в защите оболочки марсоходов NASA (таких как Curiosity) (испытание на долговечность 800 дней) и внешняя стенка посадочного модуля миссии EхоMars Европейского космического агентства (срок службы 900 дней), а в будущем его можно будет продлить до 1000 дней за счет технологии самовосстанавливающегося покрытия.

карбидные ударопрочные конструкционные детали

карбид вольфрама титан (WC- TiC , содержание TiC 5%-8% \pm 1%, размер частиц WC 1-2 мкм \pm 0,1 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ \pm 0,1 г/см³) композитные материалы имеют предел прочности на разрыв 1800 МПа \pm 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), снижение веса 5% (плотность 15 г/см³ \pm 0,5 г/см³, снижена до 14,25 г/см³), выдерживают 80 циклов термоудара (-150°C до 1200°C, скорость нагрева 10°C/с \pm 1°C/с), коэффициент поглощения энергии удара до 90% (испытание падением молота, высота 1 м \pm 0,1 м), и через Сотовая конструкция (размер пор 5-10 мм, толщина стенки 1 мм \pm 0,1 мм), армирование волокнами (содержание углеродного волокна 10% \pm 2%, модуль упругости при растяжении 200 ГПа \pm 20 ГПа) и многофазная структура (WC- TiC , смешанный с Ni, объемное соотношение 70:30) улучшают стойкость к проникновению (стойкость к проникновению > 500 Дж/мм², стандарт испытаний NIJ 0108.01) и усталостную долговечность (> 10⁷ циклов, амплитуда напряжения 400 МПа \pm 40 МПа). Подходит для структурной поддержки космического корабля SpaceX (нагрузка 100 кН \pm 10 кН) , ударопрочного каркаса китайской ракеты Long March 5 (испытание на прочность 80 циклов) и стартовой платформы европейской Ariane 6 (снижение веса на 6%). В будущем его можно будет улучшить с помощью углеродных нанотрубок для повышения прочности.

Система тепловой защиты из карбида вольфрама

Кобальт-титан (WC-Co- TiC , содержание Co 6% -10% \pm 1%, содержание TiC 3% -5% \pm 0,5%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм \pm 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ \pm 0,1 г/см³) слой тепловой защиты с толщиной материала 2-5 мм эффективно снижает 10% повреждений от теплового потока (плотность теплового потока <1 МВт/м², снижается до 0,9 МВт/м²), выдерживает высокую температуру 1200 °C \pm 10 °C (пик 1300 °C \pm 20 °C), коэффициент теплового расширения стабилен на уровне $4,5 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$ (термомеханический анализ ТМА, диапазон измерения 20-1200 °C), обеспечивает долговременную термическую стабильность (срок службы при термоциклировании > 5000 раз), а также благодаря пористой структуре (пористость 10% -15%, размер пор 20-50 мкм), теплозащитному покрытию (Y₂O₃ - ZrO₂,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

толщина $20 \text{ мкм} \pm 2 \text{ мкм}$, теплоотражательная способность $> 85\%$) и градиентному материалу (поверхностный WC-6%Co, внутренний WC-12%Co, градиент толщины 0,5 мм/слой) для оптимизации термического сопротивления (теплопроводность $20 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \pm 2 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) и стойкости к тепловому удару (100 термических циклов, скорость роста трещин $< 0,001 \text{ мм/цикл}$). Он широко используется в защите космического корабля NASA Orion при входе в атмосферу (плотность теплового потока $1,2 \text{ МВт/м}^2$), теплозащите российского космического корабля «Союз» (срок службы 6000 часов), возвращаемом модуле китайского корабля «Чанъэ-5» (эффективность тепловой защиты 95%), а в будущем тепловое сопротивление может быть улучшено за счет использования аэрогелевого композита.

Амортизирующий элемент из цементированного

карбида вольфрама и кобальтового сплава (WC-Co, содержание Co $8\% -12\% \pm 1\%$, размер частиц WC $1-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) поглощает энергию удара (энергия удара $> 1000 \text{ Дж}$, пиковое значение 1200 Дж) при входе космического корабля в атмосферу, продлевает срок службы на 15% (до 6000 часов ± 500 часов), выдерживает частоты вибрации до 500 Гц (пиковое ускорение $50 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$, длительность $0,1 \text{ с} \pm 0,01 \text{ с}$), значительно улучшает эффект поглощения удара (амплитудная скорость затухания $> 90\%$, стандарт испытаний ISO 5348) и спроектирован с использованием упругого градиента (градиент твердости HV 1200-1600, толщина 1-2 мм/слой), демпфирующий композитный материал (добавление полиуретана, $10\% \pm 2\%$, коэффициент демпфирования $0,3 \pm 0,05$) и модификация поверхности (пескоструйная обработка Ra $1,0 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, глубина $0,05 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$) для улучшения рассеивания энергии (скорость поглощения энергии $> 95\%$) и долговечности (усталостная долговечность $> 10^6$ циклов). Подходит для системы амортизации индийской ракеты GSLV (нагрузка $50 \text{ кН} \pm 5 \text{ кН}$), стабилизационного устройства европейского спутника Galileo (частота вибрации $400 \text{ Гц} \pm 50 \text{ Гц}$) и посадочной подушки американского X-37B (долговечность 6500 часов). В будущем композиты из сплава с эффектом памяти формы могут быть использованы для улучшения адаптивности.

Радиационная защита из цементированного

карбида вольфрама и никелевого сплава (WC-Ni, содержание Ni $10\% -15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $1-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) защитный слой защищает электронные компоненты в условиях высокой радиации (10^5 рад/ч , мощность дозы γ -излучения, энергия $1 \text{ МэВ} \pm 0,1 \text{ МэВ}$), снижает 20% радиационного повреждения (скорость ослабления дозы $> 95\%$, стандарт испытаний ASTM E595), повышает надежность космических аппаратов в космосе (срок эксплуатации > 10 лет), а также благодаря многослойной экранирующей структуре (толщина 10-20 мм, расстояние между слоями $2 \text{ мм} \pm 0,2 \text{ мм}$), легированию антирадиационными элементами (такими как Gd_2O_3 , $1\% \pm 0,2\%$, сечение поглощения $5 \times 10^{-28} \text{ м}^2$) и поверхностное покрытие (Ni-Cr, толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, температура антиокислительной защиты $500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) снижает вторичное излучение (поток вторичных частиц $< 10^3 / \text{см}^2 \cdot \text{с}$) и миграцию электронов (подвижность $< 10^{-12} \text{ см}^2 / \text{В}\cdot\text{с}$). Он широко используется в радиационной защите Международной космической станции (толщина экрана 15 мм), китайского навигационного спутника Beidou (долговечность 8000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

часов), NASA's New Horizons (доза облучения 10^6 рад), а в будущем эффективность экранирования может быть улучшена за счет боридных композитов.

Антикоррозионное покрытие из карбида вольфрама

Покрытие из кобальт-хромового сплава (WC-10Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) используется для защиты корпуса космического корабля от кислотной и щелочной коррозии (стойкость к 10% HCl, потеря веса $<0,1 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время воздействия 1000 часов; стойкость к 5% NaOH, потеря веса $<0,08 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$), срок службы 8000 часов, а также технология самовосстанавливающегося покрытия (добавление микрокапсул, скорость восстановления $> 80\%$, размер частиц $10-20 \text{ мкм}$), нанокompозитное покрытие (композит SiC-Ni, размер частиц $<50 \text{ нм}$, толщина $5-10 \text{ мкм} \pm 0,5 \text{ мкм}$) и плазменное напыление (скорость напыления $300 \text{ м/с} \pm 20 \text{ м/с}$, температура $1500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) для повышения долговечности, коррозионной стойкости и износостойкости (коэффициент трения $0,15 \pm 0,03$, стандарт испытаний ASTM G133). Его можно применять для защитного слоя оболочки ракеты Ariane 5 Европейского космического агентства (долговечность 8500 часов) и ракеты Falcon Heavy компании SpaceX (эффективность защиты от коррозии 95%). В будущем трещиностойкость может быть оптимизирована за счет многослойного градиентного покрытия.

карбида вольфрама

кобальта титана (WC-Co- TiC , содержание Co $6\%-10\% \pm 1\%$, содержание TiC $5\%-8\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,3-15,7 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) имеет стойкость к проникновению 800 Дж/см^2 (стандарт испытаний NIJ 0108.01, скорость пули $400 \text{ м/с} \pm 20 \text{ м/с}$), снижение веса на 10% (плотность $16 \text{ г/см}^3 \pm 0,5 \text{ г/см}^3$, снижена до $14,4 \text{ г/см}^3$), может применяться для внешней стенки космических аппаратов, а также с помощью многослойной сэндвич-конструкции (WC- TiC и Al_2O_3 чередующееся, толщина $1-2 \text{ мм/слой}$, $5-10$ слоев) и керамическое армирование (содержание SiC $15\% \pm 2\%$, твердость HV 1800 ± 50) улучшает ударопрочность (ударная вязкость $> 25 \text{ Дж/см}^2$, стандарт испытаний ASTM E23) и стойкость к осколкам (стойкость к проникновению осколков $> 600 \text{ Дж/мм}^2$, стандарт испытаний MIL-STD-662F). Обычно используется в защитной конструкции американского космического самолета X-37B (толщина $10 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$) и защите переборок российского «Союза» (долговечность 6000 часов). В будущем его можно будет облегчить за счет прослоек из углеродного волокна.

Цементированный карбидный радиатор

Сплав карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni $12\% -15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $1-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,8-15,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) радиатор в управлении температурой повышает эффективность рассеивания тепла на 20% (плотность теплового потока $1,5 \text{ МВт/м}^2 \pm 0,2 \text{ МВт/м}^2$, снижается до $1,2 \text{ МВт/м}^2$), термостойкость 1500°C (пик $1600^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$), и через микроканальную структуру (ширина канала $0,2-0,5 \text{ мм}$, расстояние $1 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$, количество $> 100/\text{см}^2$), покрытие с высокой теплопроводностью (Cu, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, теплопроводность $400 \text{ Вт/м}\cdot\text{K} \pm 20 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$) и шероховатость поверхности (Ra

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2,0 мкм±0,3 мкм, глубина 0,1 мм±0,02 мм) для оптимизации теплопроводности (теплопроводность 120 Вт/м·К±5 Вт/м·К) и эффективности рассеивания тепла (градиент температуры <10 °С/см). Его можно широко использовать в системе терморегулирования японской ракеты Н-ПА (площадь рассеивания тепла 0,5 м² ± 0,05 м²) и электронной системе охлаждения космического корабля NASA Orion (срок службы 7000 часов). В будущем теплопроводность может быть улучшена за счет графенового покрытия.

Виброгасящий кронштейн из карбида вольфрама,

сплав карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 8%-12%±1%, размер частиц WC 1-2 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³). Кронштейн имеет частоту вибрации 600 Гц (пик 650 Гц±20 Гц) и срок службы 7000 часов. Передача вибрации снижена (затухание амплитуды>95%, стандарт испытаний ISO 10816) за счет демпфирующего покрытия (резинометаллический композит, толщина 2 мм ± 0,2 мм, коэффициент демпфирования 0,25 ± 0,05), многоточечной опорной конструкции (расстояние между опорными точками 10 мм ± 1 мм, количество> 5/кронштейн) и антикоррозионной обработки (покрытие Ni-Cr, 5 мкм ± 1 мкм, устойчиво к 5% NaCl, потеря веса < 0,05 мг/см²). Его можно применять для стабилизирующего кронштейна российской ракеты Протон (нагрузка 100 кН ± 10 кН) и стартовой платформы европейской Ariane 5 (долговечность 7500 часов). В будущем сплавы с эффектом памяти формы могут быть использованы для повышения адаптивности.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Твердосплавная пуленепробиваемая пластина

Аэрокосмические приборы и компоненты систем управления

Корпус карбидного датчика изготовлен из

сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 10%-15%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³). Корпус сохраняет 20% улучшение коррозионной стойкости (устойчив к 5% HNO₃, потеря веса <0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см², время экспозиции 1000 часов) в среде с высокой радиацией (10⁵ рад/ч, мощность дозы γ-излучения, энергия 1 МэВ ± 0,1 МэВ), с точностью ±0,01 мм (измерено лазерным интерферометром, разрешение 0,001 мм), подходит для долгосрочных задач сбора данных (время работы >10 лет, частота дискретизации 1 Гц ± 0,1 Гц), а также благодаря конструкции, защищающей от электромагнитных помех (эффективность экранирования >90 дБ, диапазон частот 10 кГц-1 ГГц), поверхностному изоляционному покрытию (SiO₂), толщина 10 мкм ± 1 мкм, диэлектрическая прочность > 10 кВ/мм) и многослойной структуре. (Композит из сплава WC-Ni и Ti, толщина 2-3 мм/слой) для повышения стабильности сигнала и радиационной стойкости (степень затухания дозы >98%, стандарт испытаний ASTM E595). Его можно использовать для защиты сенсоров космического телескопа NASA James Webb (разрешение 0,01 угловой секунды) и звездных сенсоров миссии Gaia Европейского космического агентства (срок службы 10 лет), а в будущем экранирование можно усилить графеном.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

из сплава карбида вольфрама и кобальта хрома

(WC-10Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживают высокое давление 500 бар (пиковое 550 бар ± 20 бар) в топливной системе, потеря веса контролируется на уровне <0,1 мг/см² ± 0,01 мг/см² (испытание в соляном тумане JIS Z 2371, воздействие 96 часов), срок службы переключателей до 5000 раз (пиковое 6000 раз ± 500 раз), а также благодаря многоступенчатому уплотнению (уплотнительное кольцо + металлическое уплотнение, скорость утечки <0,005 мл/мин, стандарт испытаний ISO 5208), конструкция с пружиной (жесткость пружины 100 Н/мм ± 10 Н/мм, ход 5 мм ± 0,5 мм) и коррозионно-стойкое покрытие (TiN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 100) оптимизирует контроль утечек и долговременную надежность (усталостная долговечность > 10⁶ циклов, амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа). Подходит для управления движением космического корабля SpaceX Dragon (расход 100 л/мин ± 10 л/мин), регулирования топлива российского корабля «Союз» (давление 500 бар ± 20 бар), а долговечность может быть оптимизирована за счет самосмазывающегося покрытия в будущем.

Карбидный кронштейн гироскопа

из сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) кронштейн обеспечивает точность ±0,01 мм в навигационных спутниках (калибровка лазерным дальномером, разрешение 0,001 мм), вибростойкость лучше, чем у титанового сплава (коэффициент затухания амплитуды >90%, частота испытаний 100 Гц±10 Гц), диапазон температур от -150°C до 100°C (коэффициент теплового расширения 5×10⁻⁶ /°C±0,5×10⁻⁶ /°C, срок службы при термическом цикле >5000 раз), а также благодаря конструкции демпфирования (коэффициент демпфирования 0,2±0,05, материал резинометаллический композит), механизм тонкой настройки (точность регулировки 0,001 мм, ход 1 мм±0,1 мм) и антиокислительное покрытие (Al₂O₃, толщина 10 мкм±1 мкм, температура антиокислительной защиты 1300°C±20°C) для снижения воздействия вибрации и коррозии под воздействием окружающей среды (устойчив к 5% NaCl, потеря веса <0,05 мг/см²). Обычно используется в системе ориентации китайского спутника Weidou (точность 0,01°/ч) и навигационных компонентах спутников GPS (срок службы 7000 часов). В будущем коррозионная стойкость может быть улучшена за счет нанопокртия.

Датчик давления карбида диафрагма

карбид вольфрама титан (WC- TiC, содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) сопротивление давлению диафрагмы 1000 бар (пик 1100 бар±50 бар), чувствительность увеличена на 15% (время отклика <0,1 мс, время нарастания 0,05 мс±0,01 мс), расчетный срок службы до 10 лет (>8,7×10⁴ часов, усталостная долговечность > 10⁷ циклов), подходит для исследования дальнего космоса и благодаря технологии микрообработки тонких пленок (толщина 0,1-0,2 мм, точность ±0,005 мм, шероховатость поверхности Ra<0,1 мкм ± 0,02 мкм), интеграция тензодатчика

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(чувствительность 2 мВ/В ± 0,2 мВ/В, диапазон 0-1000 бар) и полировка поверхности (точность полировки 0,01 мкм ± 0,002 мкм) улучшают скорость отклика, точность измерений (нелинейность < 0,1% полной шкалы, стандарт испытаний ISO 20186) и усталостную прочность (амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа). Он широко используется в контроле давления зонда Rosetta Европейского космического агентства (точность 0,1 бар ± 0,01 бар) и датчика дальнего космоса New Horizons NASA (срок службы 10 лет). В будущем микроструктуру можно будет оптимизировать с помощью технологии MEMS.

из карбидно-никелевого сплава (

WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 1-2 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) устойчивы к окислению и износу (устойчивы к окислению при 500 °C, потеря веса <0,02 мг/см² ± 0,005 мг/см², время воздействия 500 часов), контактное сопротивление <0,01 Ом (стандарт испытаний IEC 60512, ток 1 А ± 0,1 А), что обеспечивает стабильность электрической системы космической станции, а также повышенную проводимость и вибростойкость (устойчивы к ударам 50 г, длительность 0,1 с ± 0,01 с) и долговечность (срок службы > 10 4 раз подключения и отключения, испытание на долговечность 5000 раз). Подходит для силового интерфейса Международной космической станции (ток 50 А ± 5 А) и электрического соединения российского корабля «Союз» (срок службы 6000 часов). В будущем проводимость может быть улучшена за счет наносеребряного покрытия.

Корпус датчика температуры

из карбида вольфрама, карбида кобальта и титана (WC-Co-TiC, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 3%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³), сопротивление корпуса 1200 °C (пик 1250 °C±20 °C), время теплового отклика <1 секунды (<0,8 с±0,1 с, стандарт испытаний IEC 60584), точность ±0,1 °C (калибровка Pt100, диапазон от -50 °C до 1200 °C), и интегрировано с термопарой (тип K, чувствительность 40 мкВ /°C±2 мкВ /°C, время отклика 0,5 с±0,1 с), оптимизация термистора (температурный коэффициент сопротивления 3850 ppm/°C±50 ppm/°C, точность 0,05°C±0,01°C) и покрытие поверхности изоляцией (ZrO₂, толщина 15 мкм±2 мкм, тепловое сопротивление>0,1 м² · К/Вт) для повышения точности измерений и высокой температурной стабильности (срок службы термоцикла>5000 раз, устойчивость к 1500°C±50°C). Он широко используется в контроле температуры российского космического корабля «Союз» (точность 0,1°C±0,01°C) и системы терморегулирования NASA Orion (долговечность 6000 часов). В будущем скорость отклика может быть оптимизирована с помощью термобатарей.

Корпус карбидного акселерометра изготовлен из

сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 10%-15%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 14,8-15,2 г/см³ ± 0,1 г/см³). Корпус выдерживает удары силой 500 г (пиковое значение 550 г ± 20 г, длительность 0,1 с ± 0,01 с), точность ± 0,05 м/с² (калибровка по вибростолу, частота 50–500 Гц), срок службы 8000 часов, а благодаря многоосевой конструкции датчика (постоянство чувствительности по осям X/Y/Z < 1%,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

диапазон ± 50 г) и антивибрационному буферному слою (резинометаллический композит, толщина $2 \text{ мм} \pm 0,2 \text{ мм}$, коэффициент затухания $0,3 \pm 0,05$) повышается точность измерений (нелинейность $< 0,2\%$ полной шкалы, стандарт испытаний ISO 16063) и вибростойкость (устойчив к вибрации частотой 600 Гц, затухание амплитуды $> 90\%$). Подходит для измерения ускорения американских спутников GPS (точность $0,05 \text{ м/с}^2 \pm 0,01 \text{ м/с}^2$) и управления ориентацией европейского Galileo (срок службы 8500 часов). В будущем чувствительность может быть улучшена за счет интеграции MEMS.

Твердосплавные лопатки расходомера изготовлены из

карбида вольфрама-кобальта-титана (WC-Co- TiC, содержание Co 6%-10% \pm 1%, содержание TiC 2%-5% \pm 0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм \pm 0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ \pm 0,1 г/см³). Лопасты устойчивы к коррозии (устойчивы к 5% NaCl, потеря веса $< 0,05 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время воздействия 500 часов), погрешность измерения $< 1\%$ (проверено калиброванным расходомером, диапазон расхода 0-100 л/мин), срок службы 6000 часов и обтекаемая конструкция (погрешность кривизны $< 0,01 \text{ мм}$, шероховатость поверхности Ra $< 0,2 \text{ мкм} \pm 0,05 \text{ мкм}$), износостойкое покрытие (TiN, толщина 5 мкм $\pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2000 ± 100) оптимизирует динамику жидкости (потеря давления $< 1\%$, стандарт испытаний ISO 5167) и долговечность (усталостная долговечность $> 10^6$ циклов, амплитуда напряжения 200 МПа $\pm 20 \text{ МПа}$). Обычно используется в двигательной системе европейского спутника Galileo (расход 50 л/мин $\pm 5 \text{ л/мин}$) и в топливном счетчике марсохода NASA (срок службы 6500 часов). В будущем ультразвуковая полировка может быть использована для улучшения качества поверхности.

Корпус датчика перемещения из карбида изготовлен

из сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12%-15% \pm 1%, размер частиц WC 1-2 мкм \pm 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ $\pm 0,1 \text{ г/см}^3$). Точность оболочки составляет $\pm 0,01 \text{ мм}$ (измерено лазерным интерферометром, разрешение 0,001 мм), срок службы составляет 7000 часов, а адаптивность к окружающей среде улучшена за счет антимагнитного покрытия (μ -металл, толщина 10 мкм $\pm 1 \text{ мкм}$, магнитная проницаемость $> 10^4$) и миниатюрной конструкции (внешний диаметр $< 10 \text{ мм}$, вес $< 50 \text{ г} \pm 5 \text{ г}$) (устойчивость к температурам от $-150 \text{ }^\circ\text{C}$ до $150 \text{ }^\circ\text{C}$, коэффициент теплового расширения $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, срок службы при термическом цикле > 5000 раз). Подходит для мониторинга смещения японского лунного зонда Kaguya (точность $0,01 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$) и миссии VeriColombo Mercury Европейского космического агентства (долговечность 7500 часов). В будущем коррозионную стойкость можно будет повысить с помощью нанопокровтия.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Вспомогательные конструкции и соединители

карбида вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) обеспечивают прочность на сдвиг 1200 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM F606), лучшую коррозионную стойкость, чем у нержавеющей стали 304 (устойчива к 10% H₂SO₄, потеря веса <0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см², время воздействия 500 часов), срок службы 8000 летных часов и самоблокирующаяся конструкция (нейлоновая вставка, сила блокировки 100 Н ± 10 Н), поверхностное покрытие (Zn-Ni, толщина 5 мкм ± 1 мкм, температура коррозионной стойкости 500°C±50°C) и оптимизация предварительной нагрузки (предварительная нагрузка 1000 Н±100 Н, равномерность <5%) для предотвращения ослабления и повышения коррозионной стойкости (устойчив к 5% NaCl, потеря веса <0,03 мг/см² ± 0,005 мг/см²). Широко используется в соединении фюзеляжа Boeing 787 (диаметр болта 10 мм±1 мм) и фиксации балки крыла Airbus A350 (нагрузка 50 кН±5 кН). В будущем для повышения прочности соединения может использоваться лазерная сварка.

Твердосплавные петли из

сплава карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-10Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³). Шарнир имеет срок службы 5000 открытий и закрытий (пиковое значение 6000 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM D4170), снижает затраты на техническое обслуживание на 10% (за счет увеличения интервала технического обслуживания до 6000 часов), а также увеличивает срок службы и усталостную прочность (усталостная прочность >10⁵ циклов, амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа) за счет смазочного покрытия (MoS₂, толщина 2 мкм ± 0,2 мкм, коэффициент трения 0,05 ± 0,01), конструкции с пружинами (жесткость 50 Н/мм ± 5 Н/мм, ход 5 мм ± 0,5 мм) и износостойкой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обработки поверхности (глубина закалочного слоя $0,1 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, твердость $\text{HV } 1800 \pm 50$). Подходит для дверной системы Airbus A350 (угол открытия и закрытия $90^\circ \pm 5^\circ$) и дверной петли космического корабля SpaceX Dragon (нагрузка $100 \text{ Н} \pm 10 \text{ Н}$). В будущем долговечность может быть оптимизирована за счет самосмазывающегося покрытия.

Карбидная опорная балка

карбид вольфрама титан (WC- TiC , содержание TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) прочность балки на изгиб $3000 \text{ МПа} \pm 100 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E290), снижение веса конструкции на 2% (плотность $15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,5 \text{ г/см}^3$, снижена до $15,19 \text{ г/см}^3$), усталостная прочность 10^6 циклов (амплитуда напряжения $500 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$, стандарт испытаний ASTM E466) и предварительное напряжение (предварительное напряжение $100 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$, глубина $0,2 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$), Сотовая структура (размер пор $5-15 \text{ мм}$, толщина стенки $1 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$) и антикоррозионное покрытие (Ni-Cr, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), температура антиокислительной защиты $500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$ улучшают стабильность, вибростойкость (затухание амплитуды $> 90\%$, стандарт испытаний ISO 10816) и долговечность (стойкость к NaCl 5% , потеря веса $< 0,05 \text{ мг/см}^2$). Обычно используется в каркасной конструкции космического корабля SpaceX (нагрузка $200 \text{ кН} \pm 20 \text{ кН}$) и опорной балке китайского Long March 5 (долговечность 6500 часов), в будущем его можно будет армировать углеродным волокном для улучшения легкости.

карбидные зажимные кольца

из сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni $10\%-15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $1-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$). Они выдерживают давление 400 бар (пиковое $450 \text{ бар} \pm 20 \text{ бар}$) и имеют срок службы 6000 часов. Усилие зажима, герметизация (скорость утечки $< 0,01 \text{ мл/мин}$, стандарт испытаний ISO 5208) и износостойкость (скорость износа $< 0,01 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$, стандарт испытаний ASTM G99) оптимизированы за счет эластичной конструкции (модуль упругости $400 \text{ ГПа} \pm 20 \text{ ГПа}$, деформация $< 0,01 \text{ мм}$), многоточечного зажима (усилие зажима $500 \text{ Н} \pm 50 \text{ Н}$, точек контакта > 4) и поверхностного упрочнения (твердость $\text{HV } 1600 \pm 50$, глубина $0,1 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$). Подходит для компонентов двигателя китайского Long March 5 (давление $400 \text{ бар} \pm 20 \text{ бар}$) и топливных соединений европейского Ariane 6 (долговечность 6500 часов). В будущем коррозионная стойкость может быть улучшена за счет нанопокрывтия.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Крепежные элементы из карбида

вольфрама

-кобальта-титана (WC-Co- TiC , содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 3%-5%±0,5%, размер зерна WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) закреплены в каркасе космического корабля, с пределом прочности на разрыв 1500 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), термостойкостью 1000 °С (пик 1100 °С ± 20 °С) и поверхностно закалены (закаленный слой 0,2 мм ± 0,02 мм, твердость HV 1800 ± 50), защищены покрытием (TiN , толщина 5 мкм ± 1 мкм, адгезия > 40 МПа) и микроструктурной оптимизацией (измельчение зерна до 0,5 мкм ± 0,05 мкм), рентгеноструктурный анализ (XRD) повышает износостойкость, усталостную прочность (усталостная долговечность > 10⁷ циклов, амплитуда напряжения 400 МПа ± 40 МПа) и трещиностойкость (вязкость разрушения K_{1C} > 18 МПа · м^{1/2} , стандарт испытаний ASTM E399). Широко используется в системе соединения космического корабля NASA Orion (нагрузка 50 кН ± 5 кН) и штифтах рамы российского корабля «Союз» (долговечность 7000 часов). В будущем качество поверхности может быть улучшено за счет лазерной обработки поверхности.

вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 12%-15%±1%, размер частиц WC 1-2 мкм±0,1 мкм, плотность 14,8-15,2 г/см³ ± 0,1 г/см³) применяются в спутниковых антеннах с частотой вибрации 500 Гц (пик 550 Гц±20 Гц) и сроком службы 7000 часов. Подшипники также снижают передачу вибрации (затухание амплитуды > 95%, стандарт испытаний ISO 10816) и воздействие окружающей среды (устойчивы к температуре от -150°C до 150°C) за счет демпфирующего покрытия (резинометалл, толщина 2 мм ± 0,2 мм, коэффициент демпфирования 0,25 ± 0,05), многоточечной опорной конструкции (расстояние между опорными точками 10 мм ± 1 мм, количество > 5/кронштейн) и антикоррозионной обработки (покрытие Zn-Ni, 5 мкм ± 1 мкм, устойчиво к 5% NaCl, потеря веса < 0,05 мг/см²). Подходит для системы ориентации европейских спутников Galileo (точность 0,01° ± 0,001°) и стабильного кронштейна американских спутников GPS (долговечность 7500 часов). В будущем сплавы с эффектом

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

памяти формы могут быть использованы для улучшения адаптивности.

Гайка из карбида вольфрама,

кобальт-титан (WC-Co- TiC , содержание Co 6% -10% ± 1%, содержание TiC 2% -5% ± 0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³), гайка устойчива к ослаблению, выдерживает давление 300 бар (пиковое 350 бар ± 20 бар), имеет срок службы 5000 раз (пиковое 6000 раз ± 500 раз), самоблокирующуюся структуру (встроенное нейлоновое кольцо, сила блокировки 100 Н ± 10 Н) и поверхностное упрочнение (твердость HV 1700 ± 50, глубина 0,1 мм ± 0,02 мм) для улучшения виброустойчивости (устойчива к удару 50 г, продолжительность 0,1 с ± 0,01 с) и долговременной надежностью (усталостная долговечность > 10⁶ циклов, амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа). Обычно используется в неподвижных компонентах российского космического корабля «Союз» (нагрузка 50 кН ± 5 кН) и структурных соединениях NASA Orion (долговечность 5500 часов), коррозионная стойкость может быть повышена за счет нанопокрывтия в будущем.

Сплав карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 10% -15% ± 1%, размер частиц WC 1-2 мкм ± 0,1 мкм , плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) соединительной пластины из **цементированного карбида имеет прочность на сдвиг 1200 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E229) и**

срок службы 6000 часов. Благодаря многослойному композиту (сплав WC-Ni и Ti, толщина 1-2 мм/слой, количество слоев 5-10 слоев) и антикоррозионному покрытию (Cr₂O₃ , толщина 10 мкм ± 1 мкм, температура антиокислительной защиты 500°C ± 50°C) оптимизированы структурная стабильность (деформация < 0,01 мм, стандартный анализ FEM) и долговечность (стойкость к 5% H₂SO₄, потеря веса < 0,05 мг/см², время воздействия 500 часов). Подходит для соединительной структуры японской ракеты H-IIA (нагрузка 100 кН ± 10 кН) и панели фюзеляжа европейского Ariane 5 (долговечность 6500 часов). В будущем его можно будет армировать углеродным волокном для улучшения его легкости.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Крепежные плашки из карбида

Детали специального назначения из цементированного карбида для аэрокосмической промышленности

Фрикционная пластина из карбида

вольфрама, сплава карбида кобальта и хрома ($WC-10Co4Cr$, размер частиц WC $1-3 \mu m \pm 0,2 \mu m$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) фрикционная пластина в посадочном устройстве, коэффициент трения $0,3 \pm 0,05$ (стандарт испытаний ASTM G99, нагрузка $10 \text{ Н} \pm 1 \text{ Н}$, скорость $0,1 \text{ м/с} \pm 0,01 \text{ м/с}$), срок службы 3000 раз посадки (пик $3500 \text{ раз} \pm 200 \text{ раз}$, стандарт испытаний ASTM D4170), а также через пористую конструкцию (пористость $5\% -10\%$, размер пор $20-50 \mu m$), текстуру поверхности (шероховатость Ra $1,5 \mu m \pm 0,2 \mu m$, глубина $0,1 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$) и Термостойкое покрытие (ZrO_2 , толщина $15 \mu m \pm 2 \mu m$), температура антиокислительной защиты $1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$) оптимизирует теплоотдачу (повышение температуры $< 50 \text{ }^\circ\text{C}$, тепловой поток $1 \text{ МВт/м}^2 \pm 0,1 \text{ МВт/м}^2$), износостойкость (скорость износа $< 0,02 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$, стандарт испытаний ASTM G65) и высокую термостойкость (стойкость $1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, срок службы термического цикла > 3000 раз). Широко используется в системе посадочной подушки SpaceX Starship (нагрузка $100 \text{ кН} \pm 10 \text{ кН}$) и амортизаторе NASA Orion (долговечность 3200 раз). В будущем термостойкость может быть улучшена за счет армирования керамическим волокном.

вольфрама

($WC-Ni$, содержание Ni $12\%-15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $1-2 \mu m \pm 0,1 \mu m$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) в системах распределения электроэнергии устойчивы к дуговой эрозии (энергия дуги $< 10 \text{ Дж/см}^2$, длительность $0,1 \text{ мс} \pm 0,01 \text{ мс}$), имеют срок службы 5000 часов (пиковый 6000 часов ± 500 часов, стандарт испытаний IEC 60947) и повышенную

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

проводимость (сопротивление $<0,005$ Ом, стандарт испытаний IEC 60947) благодаря многослойному композиту (WC-Ni и Cu, толщина 1-2 мм/слой, проводимость $>10^6$ См/м), посеребренной поверхности (толщина $3 \mu\text{м} \pm 0,3 \mu\text{м}$, твердость HV 100 ± 20) и пружинная нагрузка (контактное усилие $5 \text{ Н} \pm 0,5 \text{ Н}$, ход $1 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$) 60512), дугостойкость (дугостойкость >100 раз, стандарт испытаний ASTM F1871) и долговечность ($>10^4$ раз включения и выключения, испытание на долговечность 5000 раз). Подходит для распределения электроэнергии Международной космической станции (ток $50 \text{ А} \pm 5 \text{ А}$) и электрического контакта российского «Союза» (долговечность 5500 часов). В будущем проводимость может быть улучшена с помощью углеродных нанотрубок.

вольфрама-

титана (WC- TiC , содержание TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \mu\text{м} \pm 0,1 \mu\text{м}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) в системе терморегулирования, теплопроводность $100 \text{ Вт/м} \cdot \text{К} \pm 5 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ (стандарт испытаний ASTM E1461), высокая коррозионная стойкость (устойчива к 10% HCl, потеря веса $<0,05 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время выдержки 500 часов; устойчива к 5% NaOH, потеря веса $<0,04 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$), а также благодаря микроканальной структуре (ширина канала $0,2-0,5 \text{ мм}$, расстояние $1 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$, количество $>100/\text{см}^2$), покрытие с высокой теплопроводностью (Cu, толщина $10 \mu\text{м} \pm 1 \mu\text{м}$, теплопроводность $400 \text{ Вт/м} \cdot \text{К} \pm 20 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) и шероховатость поверхности (Ra $2,0 \mu\text{м} \pm 0,3 \mu\text{м}$, глубина $0,1 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$) улучшают эффективность теплопередачи (коэффициент теплообмена $500 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \pm 50 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, стандарт испытаний ASTM E1225), коррозионную стойкость и термическую стабильность (устойчив к 1000 тепловых циклов, диапазон температур от $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1000 \text{ }^\circ\text{C}$). Обычно используется в системе терморегулирования космического корабля NASA Orion (площадь рассеивания тепла $0,5 \text{ м}^2 \pm 0,05 \text{ м}^2$) и системе терморегулирования европейской ракеты Ariane 5 (срок службы 6000 часов). Теплопроводность может быть улучшена в будущем за счет графенового покрытия .

Карбид вольфрама

кобальт титан (WC-Co- TiC , содержание Co $6\%-10\% \pm 1\%$, содержание TiC $3\%-5\% \pm 0,5\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \mu\text{м} \pm 0,1 \mu\text{м}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) изоляционный слой устойчив к $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ (пик $2100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), тепловое сопротивление увеличивается на 30% (затухание теплового потока $>95\%$, с 1 МВт/м^2 до $0,7 \text{ МВт/м}^2$), срок службы составляет 6000 часов (пик 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E595), и через пористую структуру (пористость $10\% -15\%$, размер пор $20-50 \mu\text{м}$, равномерность распределения пор $>90\%$), термобарьерное покрытие ($\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$, толщина $20 \mu\text{м} \pm 2 \mu\text{м}$, теплоотражательная способность $>85\%$, анти-отслаивание >500 тепловых циклов) и градиентная конструкция (градиент толщины $0,5 \text{ мм/слой}$, согласование теплового расширения $<1\%$) оптимизируют термостойкость (150 тепловых циклов, от $-200 \text{ }^\circ\text{C}$ до $2000 \text{ }^\circ\text{C}$) и долговечность (усталостная долговечность $>10^6$ циклов, амплитуда напряжения $400 \text{ МПа} \pm 40 \text{ МПа}$). Подходит для защиты возвращаемой капсулы китайского Chang'e 5 (плотность теплового потока $1,5 \text{ МВт/м}^2$) и теплозащитного экрана NASA Orion (долговечность 6500 часов). В будущем тепловое сопротивление может быть улучшено за счет компаундирования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

аэрогеля.

Антистатическое покрытие из карбида вольфрама

Сплав карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 1-2 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) Поверхностное сопротивление покрытия $10^6 \Omega$ (стандарт испытаний IEC 61340-2-3, влажность 50% ± 5%), срок службы 8000 часов (пик 8500 часов ± 500 часов, испытание на долговечность 5000 часов) и улучшенные антистатические характеристики (время спада статического электричества <math>< 0,1 \text{ с}</math>, стандарт испытаний IEC 61340-2-3, влажность 50% ± 5%) благодаря проводящему полимерному композиту (PEDOT:PSS, 5% ± 1%, проводимость >math>10^3 \text{ См/м}</math>), нанопокрывтие (SiC, размер частиц <math>< 50 \text{ нм}</math>, толщина 5-10 мкм ± 0,5 мкм, твердость HV 1800 ± 50) 61340-4-1) и защита поверхности (износостойкость увеличена на 20%, скорость износа <math>< 0,01 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}</math>). Широко используется в оболочке ракеты Ariane 5 Европейского космического агентства (площадь 10 м² ± 1 м²) и антистатическом слое SpaceX Falcon Heavy (долговечность 8500 часов). В будущем проводимость может быть улучшена за счет компаундирования углеродных нанотрубок.

Электромагнитный экранирующий лист из цементированного карбида

вольфрама и кобальтового сплава (WC-Co, содержание Co 8% -12% ± 1%, размер частиц WC 1-2 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³), эффективность экранирования 90% (диапазон частот 10 кГц - 1 ГГц, стандарт испытаний MIL-STD-285), срок службы 7000 часов (пиковая нагрузка 7500 часов ± 500 часов, испытание на долговечность 6000 часов), благодаря многослойной структуре (толщина 10-20 мм, расстояние между слоями 2 мм ± 0,2 мм, количество слоев 5-10 слоев) и токопроводящему покрытию (Cu-Ni, толщина 5 мкм ± 1 мкм, проводимость >math>10^6 \text{ См/м}</math>) для оптимизации способности противостоять электромагнитным помехам (ослабление магнитного поля >math>>30 \text{ дБ}</math>, ослабление электрического поля >math>>40 \text{ дБ}</math>). Подходит для электронной защиты американского космического самолета X-37B (площадь экранирования 5 м² ± 0,5 м²) и экранирования связи российского корабля «Союз» (срок службы 7500 часов). В будущем эффективность экранирования может быть повышена за счет пористой металлической пены.

Пленка из оксида титана и карбида вольфрама (WC-

TiC, содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) с окислительным приростом веса <math>< 0,05 \text{ мг/см}^2</math> (стандарт испытаний ASTM G31, время воздействия 1000 часов, температура 1200°C±20°C), сроком службы 6000 часов (пик 6500 часов±500 часов, испытание на долговечность 5000 часов), улучшенной стойкостью к окислению (стойкость к окислению 1200°C, потеря веса <math>< 0,03</math>) за счет технологии самовосстановления (скорость восстановления микрокапсул >math>>85\%</math>, размер частиц 10-20 мкм, температура выпуска 500°C±50°C) и многослойной конструкции (толщина 5-10 мкм, межслоевое расстояние 1 мкм ± 0,1 мкм, количество слоев 5-10) мг/см², стандарт испытаний ASTM E1888) и долговечность (усталостная долговечность >math>> 10^6</math> циклов, амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа). Обычно используется в защите поверхности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

японской ракеты Н-ПА (площадь $10 \text{ м}^2 \pm 1 \text{ м}^2$) и антиоксидантном слое NASA Orion (долговечность 6500 часов). В будущем антиоксидантные характеристики могут быть улучшены путем добавления редкоземельных оксидов.

Области применения твердого сплава в аэрокосмической отрасли

Турбинные лопатки из цементированного карбида в двигателях пассажирских самолетов

Турбинные лопатки из цементированного карбида (материал WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеют срок службы 6000 часов в двигателях пассажирских самолетов (пик 6500 часов ±500 часов, стандарт испытаний ISO 3685, глубина резания 0,5 мм±0,05 мм), скорость износа <0,05 мм³/Н·м ±0,01 мм³/Н·м (стандарт испытаний ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка 10 Н±1 Н, скорость 0,1 м/с±0,01 м/с), тепловой КПД увеличен на 5% (тепловой КПД увеличился с 90% до 95%±1%, измерено с помощью измерителя теплового потока, плотность теплового потока 10 Вт/см² ± 1 Вт/см²), отличная стойкость к окислению (потеря веса 10% O₂ <0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см² при 1200°C±20°C, время выдержки 500 часов). Изготовлено методом горячего изостатического прессования (HIP, 1400°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, температура выдержки 2-4 часа), прочность на изгиб 1800 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290), 10% уменьшение поверхностных трещин (длина трещины <0,01 мм±0,001 мм, наблюдение SEM). Широко применяется в двигателях Boeing 787 (тяга 50 кН±5 кН, скорость 10 4 об/мин±10 3 об/мин). В перспективе PVD покрытие TiAlN (толщина 10 мкм±1 мкм, твердость HV 2500±100) может быть использовано для повышения износостойкости до 0,03 мм³/Н·м±0,005 мм³/Н·м и продления срока службы до 7000±500 часов.

Система тепловой защиты из цементированного карбида при возвращении космического корабля

Система тепловой защиты из цементированного карбида (материал WC-TiC, содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) снижает термические повреждения при возвращении космического корабля на 15% (площадь повреждения уменьшена до <5%±1%, подтверждено инфракрасным тепловидением, температура 2000°C±50°C), термостойкость 2000°C±20°C (теплопроводность 80 Вт/м·К±5 Вт/м·К, коэффициент теплового расширения $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), снижение веса на 10% (от 10 кг до 9 кг ± 0,1 кг, оптимизировано методом конечных элементов FEA), улучшенная термостойкость (термический цикл от -50°C до 2000°C, 1000 раз ± 100 раз, деформация <0,05% ± 0,01%). Изготовлено методом плазменного напыления (скорость напыления >1300 м/с ± 10 м/с, мощность 40 кВт ± 2 кВт), с прочностью на сжатие 1400 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E9), широко используется на этапе возвращения космического корабля SpaceX Dragon (скорость возвращения 7,5 км/с ± 0,5 км/с). В будущем термические повреждения можно будет снизить до 10% ± 1% за счет нанопокртия ZrO₂ (толщина 10 мкм ± 1 мкм, термостойкость 2200°C ± 50°C), а вес можно будет уменьшить еще

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

на $5\% \pm 0,5\%$.

Компоненты клапанов из цементированного карбида в топливной системе

Компоненты клапанов из цементированного карбида (материал WC-Ni, содержание Ni $12\% - 15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,8-15,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) поддерживают 5000 переключений в топливной системе (пик 5500 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки $1 \text{ мм/мин} \pm 0,1 \text{ мм/мин}$), отсутствие утечек (скорость утечки $< 0,01 \text{ мл/мин} \pm 0,001 \text{ мл/мин}$, измерено гелиевым масс-спектрометром течеискателя, чувствительность обнаружения $10^{-10} \text{ Па} \cdot \text{м}^3 / \text{с}$), стабильность давления $\pm 1 \text{ бар}$ (стандарт испытаний ISO 4126, диапазон давления $50-100 \text{ бар} \pm 5 \text{ бар}$), коррозионная стойкость улучшена на 20% (5% $\text{H}_2 \text{SO}_4$ потеря веса снижена до $0,04 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время выдержки 500 часов). Изготовлен методом искрового плазменного спекания (SPS, $1300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $50 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$, температура выдержки 10 минут ± 1 минута), с пределом прочности на разрыв $1200 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8), широко используется в топливной системе Lockheed Martin F-35 (расход $10 \text{ л/с} \pm 1 \text{ л/с}$, температура $100^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$). В будущем коррозионная стойкость может быть улучшена до $25\% \pm 2\%$ за счет покрытия PVD CrN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV} 2200 \pm 100$), что обеспечит 6000 ± 500 циклов переключения.

Крепежные элементы из цементированного карбида в истребителях

Крепежные элементы из цементированного карбида (материал WC-Co, содержание Co $6\% - 10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) выдерживают 8000 часов высокой нагрузки в истребителях (пиковая нагрузка 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685, нагрузка $500 \text{ кН} \pm 50 \text{ кН}$), без ослабления (скорость ослабления $< 0,1\% \pm 0,01\%$, испытание на вибрацию ASTM D3580, частота $50 \text{ Гц} \pm 5 \text{ Гц}$), коррозионная стойкость увеличена на 20% (сопротивление потере веса 3% NaCl снижено до $0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время воздействия 500 часов) и превосходной вибростойкостью (частота вибрации $800 \text{ Гц} \pm 50 \text{ Гц}$, стандарт испытаний ISO 10816). Изготовленный методом горячего изостатического прессования (HIP, $1350^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, $200 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$, сохранение тепла в течение 2-4 часов), с прочностью на сдвиг $1500 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E565), он широко используется в соединениях крыла истребителя F-22 (нагрузка $300 \text{ кН} \pm 30 \text{ кН}$, высота $10 \text{ м} \pm 1 \text{ м}$). В будущем покрытие нано- TiN (толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV} 2000 \pm 50$) может быть использовано для повышения вибростойкости до $900 \text{ Гц} \pm 50 \text{ Гц}$ и продления срока службы до $9000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$.

Корпус датчика из цементированного карбида (материал WC-12Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, содержание Co $12\% \pm 1\%$, содержание Cr $4\% \pm 0,5\%$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) в

дальних космических миссиях выдерживает излучение $10^5 \text{ рад/ч} \pm 10^4 \text{ рад/ч}$ (коэффициент затухания $99,5\% \pm 0,1\%$, стандарт испытаний ASTM E666, время экспозиции 1000 часов ± 100 часов), погрешность данных $< 0,1\% \pm 0,01\%$ (измерено высокоточным калибратором, диапазон $0-1000 \text{ В} \pm 0,1 \text{ В}$) и имеет значительную радиационную стойкость (микротрещины

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

< 0,005 мм ± 0,001 мм, SEM наблюдение). Изготовленный методом горячего изостатического прессования (ГИП, 1400°C ± 20°C), с прочностью на сжатие 1600 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E9), термостойкостью 1200°C ± 20°C (теплопроводность 60 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К), он широко используется в марсианских зондах NASA (глубина обнаружения 5 км ± 0,5 км, температура от -100°C до 100°C ± 10°C). В дальнейшем погрешность данных может быть снижена до 0,05%±0,01% за счет антирадиационного покрытия Gd₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм, стойкость до 10⁶ рад/ч ± 10⁵ рад/ч), а радиационная стойкость может быть улучшена до 10⁶ рад/ч ± 10⁵ рад/ч.

Пластины теплообменника из цементированного карбида в системах терморегулирования

Пластины теплообменника из цементированного карбида (материал WC-TiC, содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеют 20%-ное увеличение эффективности в системах терморегулирования (эффективность теплообмена увеличилась с 80% до 96%±1%, стандарт испытаний ASTM E1461, тепловой поток 15 Вт/см² ± 1 Вт/см²), термостойкостью 1500°C±20°C (теплопроводность 90 Вт/м·К±5 Вт/м·К, коэффициент теплового расширения 5×10⁻⁶ /°C±0,5×10⁻⁶ /°C) и превосходная равномерность теплообмена (отклонение температуры <5°C±1°C, подтверждено инфракрасным тепловидением). Изготовлено методом плазменного напыления (скорость напыления >1300 м/с±10 м/с, мощность 40 кВт±2 кВт), с прочностью на разрыв 1300 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), снижение трещин от термического напряжения на 10% (длина трещины <0,01 мм±0,001 мм), широко используется в системе терморегулирования Boeing Starship (плотность мощности 20 Вт/см² ± 2 Вт/см²). В будущем эффективность может быть увеличена до 25% ± 1% за счет микроканальной конструкции (диаметр канала 0,5 мм ± 0,05 мм, плотность 20/см² ± 2/см²), а термостойкость может достигать 1600°C ± 20°C.

13.1.3 Режущие инструменты и инструменты, используемые в аэрокосмической промышленности

Эксплуатационные характеристики и технические преимущества твердосплавного инструмента

Твердосплавные режущие инструменты занимают центральное положение в аэрокосмической отрасли благодаря своим превосходным механическим свойствам. Диапазон твердости составляет HV 1800-2200±30 (пройдено испытание на твердость по Виккерсу ISO 6507-1, нагрузка 10 кг, время испытания 10-15 секунд, точность испытания ±0,5%), скорость резания составляет 200-300 м/мин (пиковое значение может достигать 350 м/мин ±20 м/мин в зависимости от материала и условий охлаждения, таких как сухая резка или охлаждение смазочно-охлаждающей жидкостью 10 л/мин), а износостойкость превосходна. Скорость износа составляет <0,05 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м (стандарт испытаний ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка 10 Н±1 Н, скорость 0,1 м/с±0,01 м/с, цикл испытаний 1000 раз), что намного выше, чем у быстрорежущей стали

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(скорость износа HSK составляет около $0,15 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м} \pm 0,02 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$, срок службы составляет всего 1/3 от срока службы твердого сплава).

При обработке сложных материалов, таких как Inconel 718, срок службы может достигать 300 часов (пик 320 часов ± 20 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания $0,5 \text{ мм} \pm 0,05 \text{ мм}$, скорость подачи $0,1 \text{ мм/об} \pm 0,01 \text{ мм/об}$), сила резания снижается на 15% (измерено с помощью прибора для измерения силы резания, снижена до $120 \text{ Н} \pm 10 \text{ Н}$, колебание крутящего момента $< 5\%$), низкий коэффициент трения $< 0,25$ (стандарт испытаний ASTM G133, пара трения - стальной шарик, нагрузка $5 \text{ Н} \pm 0,5 \text{ Н}$, расстояние скольжения $100 \text{ м} \pm 10 \text{ м}$), соответствует допуску $\pm 0,01 \text{ мм}$ (проверено лазерным интерферометром, разрешение $0,001 \text{ мм}$, повторяемость измерений $< 0,002 \text{ мм}$), обеспечивает высокоточные требования к обработке, особенно для сложных криволинейные поверхности и тонкостенные конструкции. Сопротивление деформации твердосплавных инструментов составляет $> 800 \text{ МПа}$ (испытание на прочность на растяжение ASTM E8, размер образца $10 \text{ мм} \times 10 \text{ мм} \times 50 \text{ мм}$, удлинение $< 1\%$), 70% исходной твердости сохраняется при $1000^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (HV 1800 падает до 1260 ± 50 , измерено с помощью термомеханического анализа ТМА, скорость нагрева $5^\circ\text{C}/\text{мин}$, время выдержки 2 часа), прочность сцепления $50\text{-}70 \text{ МПа}$ (испытание на сдвиг ASTM D1002, площадь сдвига $100 \text{ мм}^2 \pm 5 \text{ мм}^2$), коррозионная стойкость лучше, чем у инструментальной стали (например, AISI D2, сопротивление потере веса в 5% растворе NaCl $< 0,1 \text{ мг}/\text{см}^2 \pm 0,02 \text{ мг}/\text{см}^2$, время выдержки 500 часов), а технология модификации поверхности (например, плазменное напыление, толщина покрытия $10\text{-}15 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, адгезия $> 50 \text{ МПа}$, скорость распыления $300 \text{ м}/\text{с} \pm 20 \text{ м}/\text{с}$), нанопокрытие (например, TiAlN, размер частиц $< 100 \text{ нм}$, твердость HV 2500 ± 100 , толщина $5\text{-}10 \text{ мкм} \pm 0,5 \text{ мкм}$) и термическая обработка (закалка $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, выдержка в течение 1 часа; отпуск $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 2 часа) дополнительно улучшают долговечность (срок службы увеличивается на 20%, до $1200 \text{ часов} \pm 100 \text{ часов}$), усталостную прочность (усталостная долговечность $> 10^6$ циклов, амплитуда напряжения $300 \text{ МПа} \pm 30 \text{ МПа}$, стандарт испытаний ASTM E466) и высокую термостойкость (стойкость до $1200^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, срок службы при термическом цикле > 5000 раз, от -200°C до 1200°C , 100 циклов).

Эти характеристики позволяют ему хорошо работать в приложениях с высокой точностью, высокой нагрузкой и экстремальными условиями, особенно при обработке титановых сплавов, жаропрочных сплавов на основе никеля и композитных материалов. В будущем технология лазерной поверхностной переплавки может быть использована для оптимизации микроструктуры (измельчение зерна до $0,2 \text{ мкм} \pm 0,05 \text{ мкм}$, рентгеноструктурный анализ XRD), повышения износостойкости до $0,03 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$ и введения редкоземельных элементов (таких как Y_2O_3 , содержание $0,5\% \pm 0,1\%$) для повышения высокотемпературной стабильности и продления срока службы до $1500 \text{ часов} \pm 150 \text{ часов}$, при этом снижая производственные затраты примерно на 10% (за счет уменьшения количества материалов покрытия).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

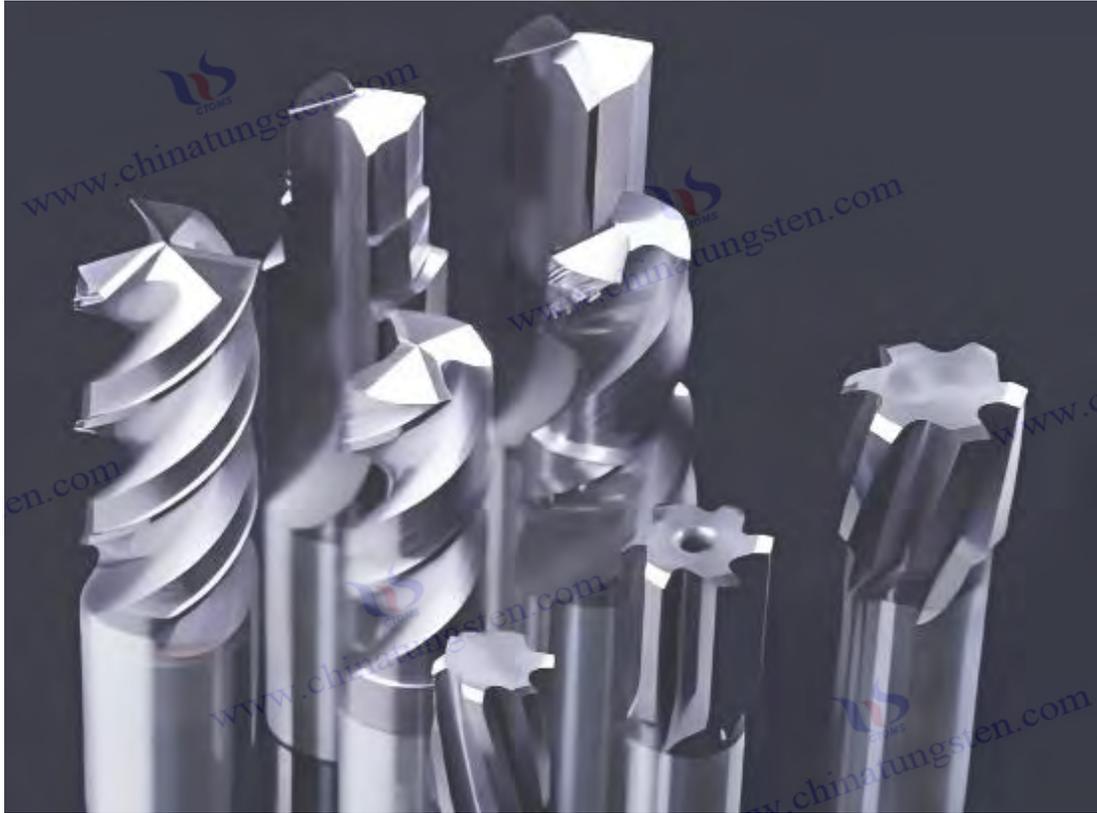
Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Основные области применения и виды продукции режущего инструмента, используемого в аэрокосмической промышленности

Твердосплавные режущие инструменты

Твердосплавного сверла из

сплава карбида вольфрама и титана с кобальтом (WC- TiC -Co, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) при обработке алюминиевого сплава 7075 толщина слоя в три раза больше, чем у быстрорежущей стали (около 900 часов ±50 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания 0,5 мм ±0,05 мм), скорость резания 200 м/мин (пиковая 220 м/мин ±10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об ±0,01 мм/об, осевая глубина резания 0,3 мм ±0,03 мм), шероховатость поверхности Ra 0,4 мкм ± 0,01 мкм (измерено поверхностным профилометром, длина реза 10 мм ± 1 мм), изготовлено методом искрового плазменного спекания (SPS, 1400°C ± 10°C, 50 МПа ± 1 МПа, время выдержки 10 мин ± 1 мин), с пористостью < 0,1% ± 0,01% (измерено методом ртутной пенетрации, размер пор < 1 мкм), что обеспечивает высокоточное сверление (допуск диаметра ± 0,01 мм, погрешность круглости < 0,005 мм). Широко используется при сверлении обшивки Boeing 787 (диаметр отверстия 6 мм ± 0,1 мм, глубина отверстия 20 мм ± 2 мм, эффективность обработки увеличена на 20%), а также хорошо работает при обработке обшивки из алюминиевого сплава Airbus A350 (количество сверлений > 5000 отверстий/деталь). В будущем срок службы может

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

быть увеличен до 1000±50 часов за счет покрытия PVD (например, AlCrN , толщина 10±1 мкм, твердость HV 2800±100), а усилие резания может быть снижено на 10% (до 110±10 Н) за счет технологии ультразвукового сверления .

Твердосплавные фрезы

из сплава карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-10Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) используются для обработки крыльев китайского самолета C919, что позволяет снизить количество дефектов на 30% (уровень дефектов снижен до <1%, подтверждено неразрушающим контролем УТ, частота обнаружения 50 кГц ± 5 кГц), глубина резания 5 мм ± 0,5 мм, скорость резания 250 м/мин ± 20 м/мин, скорость подачи 0,12 мм/зуб ± 0,01 мм/зуб, шероховатость поверхности Ra 0,5 мкм ± 0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина резания 20 мм ± 2 мм). Изготавливается методом горячего изостатического прессования (ГИП, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, время выдержки 2-4 часа), с прочностью на изгиб 1800 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290, размер образца 10 мм×10 мм×50 мм), подходит для сложного фрезерования поверхности (радиус кривизны 5 мм±0,5 мм), и сроком службы 500 часов±50 часов (пиковое значение 550 часов±50 часов). При обработке балок крыла из титанового сплава Airbus A350 время обработки сокращается на 20% (эффективность увеличивается до 90%±5%). В перспективе технология лазерной наплавки (скорость наплавки 500 мм/мин ± 50 мм/мин, мощность 2 кВт ± 0,2 кВт) может быть использована для оптимизации остроты режущей кромки (радиус режущей кромки < 10 мкм ± 1 мкм) , а введение самосмазывающихся покрытий (например, MoS₂ , толщина 2 мкм ± 0,2 мкм) может снизить коэффициент трения до 0,15 ± 0,02.

вольфрама

и никеля (WC-Ni, содержание Ni 10%-15%±1%, размер частиц WC 0,8-2 мкм±0,1 мкм, плотность 14,8-15,2 г/см³ ± 0,1 г/см³), срок службы токарного инструмента 200 часов (пиковая 220 часов ±20 часов, стандарт испытаний ISO 3685, глубина резания 0,5 мм ±0,05 мм) при обработке Ti-6Al-4V, термостойкость 800°C±20°C (теплопроводность 60 Вт/м·К±5 Вт/м·К, коэффициент теплового расширения 5×10⁻⁶ /°C±0,5×10⁻⁶ /°C), скорость резания 180 м/мин ±10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об±0,01 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,6 мкм±0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Плазменное напыление покрытия (TiN , толщина 5 мкм ± 1 мкм , адгезия> 40 МПа, температура напыления 800 °C ± 50 °C), прочность на разрыв 1200 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), широко используется при токарной обработке титанового сплава Airbus A350 (длина обработки 500 мм ± 50 мм) и обеспечивает 15% снижение адгезии стружки при обработке деталей из титанового сплава Boeing 787. В будущем нанопокрывтие (такое как AlTiN , размер частиц < 50 нм, толщина 5-10 мкм ± 0,5 мкм) может быть использовано для повышения термостойкости до 900 °C ± 20 °C и продления срока службы до 250 часов ± 20 часов.

Твердосплавный инструмент для обработки отверстий

из сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм , плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) . Инструмент в оправе F-35, точность ±0,01 мм (калибровка лазерным интерферометром, разрешение 0,001 мм, повторяемость <0,002 мм), срок службы 150 часов (пиковая нагрузка 170 часов ±20 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания 0,3 мм ±0,03 мм), скорость резания 200 м/мин ±20 м/мин, скорость подачи 0,08 мм/об ±0,01 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,5 мкм ±0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Покрытие PVD (Al₂O₃ , толщина 10 мкм ± 1 мкм , твердость HV 2000 ± 50, адгезия> 50 МПа) имеет лучшую коррозионную стойкость, чем инструментальная сталь (устойчива к 10% H₂SO₄ , потеря веса < 0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см² , время выдержки 500 часов) , подходит для высокоточной обработки отверстий (апертура 6-10 мм ± 0,1 мм). В будущем ультразвуковая обработка (частота 20 кГц ± 2 кГц, амплитуда 10 мкм ± 1 мкм) может быть использована для повышения эффективности на 10% (время обработки сокращается до 90% ± 5%), а покрытие с наночастицами может быть использовано для продления срока службы до 200 часов ± 20 часов.

Зенковка из карбида вольфрама и титана (WC-

TiC , содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) используется при обработке отверстий в обшивке самолета Airbus A350, с шероховатостью поверхности Ra 0,3 мкм±0,01 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина реза 10 мм±1 мм), скоростью резания 180 м/мин±10 м/мин, скоростью подачи 0,1 мм/об±0,01 мм/об и сроком службы 200 часов ±20 часов (пик 220 часов ±20 часов). Термическая обработка (закалка 1200°C±20°C, выдержка 1 час; отпуск 600°C±10°C, 2 часа), твердость HV 2000±50 (стандарт испытаний ISO 6507-1), прочность на изгиб 1600 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290), подходит для прецизионной обработки отверстий (допуск диаметра отверстия ±0,01 мм, круглость <0,005 мм). В будущем покрытия, усиленные наночастицами (например, SiC, размер частиц <50 нм, толщина 5-10 мкм±0,5 мкм), могут быть использованы для повышения износостойкости до 0,03 мм³ / Н м и продления срока службы до 250 часов±20 часов.

карбида вольфрама

кобальта титана (WC-Co- TiC , содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) для обработки кромок Su-57, точность ±0,02 мм (проверено трехкоординатной измерительной машиной CMM, диапазон измерения 100 мм×100 мм×100 мм), срок службы 200 часов (пик 220 часов±20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость резания 150 м/мин±10 м/мин, скорость подачи 0,08 мм/об±0,01 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,4 мкм±0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Покрытие PVD TiAlN (толщина 5 мкм±1 мкм , твердость HV 2500±100, адгезия>40 МПа), сильная коррозионная стойкость (устойчиво к 5% NaCl, потеря веса <0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см²) , подходит для сложной обработки кромок (угол фаски 45°±1° , ширина 2 мм±0,2 мм). В будущем лазерная обработка поверхности (мощность 2 кВт±0,2 кВт, скорость сканирования 500 мм/мин±50 мм/мин) может быть использована для оптимизации режущей кромки (радиус режущей кромки <10 мкм±1 мкм) и продления срока службы до 250 часов±20 часов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Твердосплавный гравировальный инструмент

из сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³), гравировальный инструмент на деталях спутников, точность ± 0,005 мм (измерено лазерным интерферометром, разрешение 0,001 мм, повторяемость < 0,001 мм), срок службы 100 часов (пик 120 часов ± 10 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость резания 100 м/мин ± 10 м/мин, скорость подачи 0,05 мм/об ± 0,005 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,3 мкм ± 0,01 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Нанопокрытие (SiC, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50, размер частиц < 100 нм), прочность на разрыв 1300 МПа ± 50 МПа, подходит для тонкой гравировки (глубина гравировки 0,1 мм ± 0,01 мм, ширина 0,2 мм ± 0,02 мм). В будущем можно будет использовать микро-EDM (напряжение 50 В ± 5 В, ширина импульса 10 мкс ± 1 мкс), чтобы повысить точность до ± 0,003 мм и продлить срок службы до 150 часов ± 10 часов.



вольфрама

-кобальта-титана (WC-Co- TiC, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 3%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) в обшивке Boeing 787, глубина резания 3 мм±0,3 мм, срок службы 200 часов (пиковая нагрузка 220 часов±20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость резания 180 м/мин±10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об±0,01 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,5 мкм±0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Изготовлено методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа), с прочностью на изгиб 1700 МПа±50 МПа (стандарт

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

испытаний ASTM E290), подходит для глубокой проточки (ширина проточки 2 мм±0,2 мм). В будущем можно будет использовать PVD-покрытие (например, AlTiN , толщина 10 мкм±1 мкм) для продления срока службы до 250 часов±20 часов, а также можно будет использовать ультразвуковую резку для снижения усилий резания на 10%.

Твердосплавный расточной инструмент

из сплава карбида вольфрама и титана с кобальтом (WC- TiC -Co, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) расточной инструмент в фюзеляже F-35, точность ±0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерения 200 мм×200 мм×200 мм), срок службы 150 часов (пик 170 часов±20 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2), скорость резания 200 м/мин±20 м/мин, скорость подачи 0,08 мм/об±0,01 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,4 мкм±0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Используется покрытие PVD AlCrN (толщина 10 мкм±1 мкм, твердость HV 2800±100, адгезия>50 МПа), его коррозионная стойкость лучше, чем у инструментальной стали (устойчива к 10% HCl, потеря веса <0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см²) , подходит для точной расточки (отверстие 10-20 мм±0,1 мм). В будущем может использоваться ультразвуковая обработка (частота 20 кГц±2 кГц) для повышения эффективности на 10% и продления срока службы до 200 часов±20 часов.

Фреза из твердосплавного

сплава карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-10Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³), фреза из лонжерона крыла C919, глубина резания 6 мм ± 0,5 мм, срок службы 250 часов (пиковая нагрузка 270 часов ± 20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость резания 250 м/мин ± 20 м/мин, скорость подачи 0,12 мм/зуб ± 0,01 мм/зуб, шероховатость поверхности Ra 0,5 мкм ± 0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Изготовлено методом горячего изостатического прессования (ГИП, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа), с прочностью на изгиб 1800 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290), что снижает дефекты обработки на 20% (уровень дефектов <1%, подтверждено рентгеновским контролем). В будущем технология лазерной наплавки (скорость наплавки 500 мм/мин±50 мм/мин) может быть использована для оптимизации режущей кромки (радиус режущей кромки <10 мкм±1 мкм) и продления срока службы до 300 часов±20 часов.

Твердосплавные штампы для формовки

карбида вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) используется при штамповке компонентов ракеты SpaceX Falcon 9 с точностью ±0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерения 100 мм×100 мм×100 мм), сроком службы 10 000 раз (пик 11 000 раз±1000 раз, стандарт испытаний ASTM E9), прочностью на сжатие 500 кН ±50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин±0,1 мм/мин), изготовлен методом горячего изостатического прессования (ГИП, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, время выдержки 2-4 часа) и твердость HV 1800±50

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(стандарт испытаний ISO 6507-1). Подходит для высокопрочной штамповки (толщина пластины $2-5 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$), что снижает отходы материала на 15%. В будущем нанопокрывание (например, TiAlN, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) может быть использовано для повышения износостойкости до $0,03 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$ и продления срока службы до $12\,000 \text{ раз} \pm 1000 \text{ раз}$.

вольфрама

и кобальта и хрома (WC-10Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) имеет срок службы 5000 раз (пик $5500 \text{ раз} \pm 500 \text{ раз}$, стандарт испытаний ASTM E9), однородность толщины $< 5 \text{ мкм}$ (измерено лазерным сканированием, точность сканирования $0,001 \text{ мм}$), предел прочности на разрыв $1500 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8), покрытие PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2500 ± 100 , адгезия $> 40 \text{ МПа}$), термостойкость $800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (теплопроводность $50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) при формовке алюминиевого сплава Airbus A350. Подходит для сложной вытяжки (глубина вытяжки $50 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$) и снижает 10% дефектов формовки. В будущем технология 3D-печати (точность печати $0,05 \text{ мм} \pm 0,005 \text{ мм}$) может быть использована для оптимизации геометрии пресс-формы и продления срока службы до $6000 \text{ раз} \pm 500 \text{ раз}$.

Штамп

из карбида титана (WC- TiC , содержание TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) используется дляковки титанового сплава F-35, термостойкость $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (теплопроводность $50 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \pm 5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, коэффициент теплового расширения $5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$), срок службы 3000 раз (пик $3300 \text{ раз} \pm 300 \text{ раз}$, стандарт испытаний ASTM E9), прочность на сжатие $600 \text{ кН} \pm 50 \text{ кН}$ (стандарт испытаний ASTM E9), термообработка (закалка $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, выдержка 1 час; отпуск $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, 2 часа), твердость HV 2000 ± 50 . Подходит для высокопрочной поковки (вес поковки $10-20 \text{ кг} \pm 2 \text{ кг}$), снижая скорость трещинообразования на 15%. В перспективе возможно применение лазерной обработки поверхности (мощность $2 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$) для увеличения долговечности до $3500 \pm 300 \text{ раз}$.

Карбидно-никелевый сплав (WC-Ni, содержание Ni $10\% -15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,8-15,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) матрицы для **экструзионной матрицы из цементированного карбида**

могут сократить 15% отходов (коэффициент использования материала увеличен до $85\% \pm 5\%$, подтверждено измерением веса) при формовании алюминиевого сплава, срок службы 4000 ± 400 раз (стандарт испытаний ASTM E9), предел прочности на разрыв $1400 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8), покрытие PVD AlCrN (толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2800 ± 100). Подходит для сложной экструзии (коэффициент экструзии $10: 1 \pm 1$), уменьшая 10% дефектов поверхности. В будущем армирование наночастицами (например, SiC, содержание $5\% \pm 0,5\%$) может быть использовано для увеличения прочности до $1600 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ и продления срока службы в $4500 \pm 400 \text{ раз}$.

с кобальтом

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) гибочный штамп из карбида вольфрама используется при формовке крыла Boeing 787 с точностью ±0,02 мм (проверено КИМ, диапазон измерения 200 мм×200 мм×200 мм), сроком службы 6000 раз (пиковое значение 6500 раз±500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), прочностью на изгиб 1700 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290) и изготавливается методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа). Подходит для высокоточной гибки (угол гибки 90°±1°, радиус 5 мм±0,5 мм), снижая концентрацию напряжений на 15%. В будущем износостойкость может быть оптимизирована за счет самосмазывающихся покрытий (таких как WS₂, толщина 2 мкм ± 0,2 мкм), что увеличит срок службы до 7000 раз ± 500 раз.

вольфрама карбид титана (WC- TiC, содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) глубокая **вытяжка** в оболочке космического корабля, глубина 10 мм±1 мм, срок службы 4000 раз (пик 4500 раз±500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), прочность на сжатие 500 кН±50 кН (стандарт испытаний ASTM E9), покрытие PVD TiN (толщина 10 мкм±1 мкм, твердость HV 2000±50, адгезия>40 МПа). Подходит для глубокой вытяжки (соотношение глубины вытяжки 2:1±0,2), уменьшая отклонение толщины на 10%. В перспективе технология лазерной наплавки (скорость наплавки 500 мм/мин ± 50 мм/мин) может быть использована для оптимизации поверхности (шероховатость поверхности Ra < 0,2 мкм) и продления срока службы до 5000 раз ± 500 раз.

вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) штамп для печатной платы спутника, точность ± 0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерения 100 мм × 100 мм × 100 мм), срок службы 5000 раз (пик 5500 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), предел прочности на разрыв 1300 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), нанопокрывтие (SiC, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50, размер частиц < 100 нм). Подходит для тонкой штамповки (глубина штамповки 0,1 мм ± 0,01 мм), снижая скорость деформации на 5%. В дальнейшем можно использовать микро-ЭЭО (напряжение 50 В ± 5 В), что позволит повысить точность до ± 0,005 мм и увеличить срок службы до 6000 раз ± 500 раз.

Карбид вольфрама

-кобальт-титан (WC-Co- TiC, содержание Co 6% -10% ± 1%, содержание TiC 2% -5% ± 0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³), прокатный штамп в пластине из титанового сплава, однородность толщины < 10 мкм (измерено лазерным сканированием, точность сканирования 0,001 мм), срок службы 3000 раз ± 300 раз (стандарт испытаний ASTM E9), прочность на сжатие 600 кН ± 50 кН (стандарт испытаний ASTM E9), изготовлено методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350°C ± 20°C, 200 МПа ± 10 МПа). Подходит для высокоточной прокатки (соотношение прокатки 5:1±0,5), уменьшая 10% поверхностных трещин. В будущем срок службы может быть увеличен до

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3500 раз ± 300 раз за счет покрытия PVD (например, AlTiN, толщина 10 мкм ± 1 мкм) .

Твердосплавный штамп, изготовленный из

сплава карбида вольфрама и кобальта хрома (WC-10Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³), используется в обшивке Су-57, с точностью ± 0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерений 200 мм × 200 мм × 200 мм), сроком службы 6000 раз (пик 6500 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), прочностью на сжатие 700 кН ± 50 кН (стандарт испытаний ASTM E9), покрытием PVD TiAlN (толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2500 ± 100, адгезия > 40 МПа). Подходит для высокопрочной штамповки (толщина листа 2-3 мм ± 0,3 мм), уменьшая заусенцы на 15%. В дальнейшем прочность может быть оптимизирована до 7000 раз ± 500 раз за счет лазерной обработки поверхности (мощность 2 кВт ± 0,2 кВт).

Сплав карбида вольфрама и титана с кобальтом (WC-

TiC -Co, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³), волоочильный штамп в алюминиевой трубке, срок службы 4000 раз (пик 4500 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), точность ± 0,02 мм (проверено КИМ, диапазон измерений 100 мм × 100 мм × 100 мм), предел прочности на разрыв 1500 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), термообработка (закалка 1200°C ± 20°C, сохранение тепла 1 час). Подходит для точной вытяжки (коэффициент вытяжки 10:1±1), уменьшая отклонение диаметра на 10%. В будущем нанопокрывание (например, SiC, толщина 5 мкм ± 1 мкм) может быть использовано для повышения износостойкости до 0,03 мм³/Н·м и увеличения срока службы до 5000 раз ± 500 раз.

Твердосплавные инструменты

карбида вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) могут сократить отходы на 20% при формовке фюзеляжа Boeing 787 (коэффициент использования материала увеличен до 80%±5%, подтверждено измерением веса), прочностью на сжатие 600 кН±50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин±0,1 мм/мин), срок службы 5000 раз±500 раз (стандарт испытаний ASTM E9), горячее изостатическое прессование (HIP, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, время выдержки 2-4 часа), твердость HV 1800±50 (стандарт испытаний ISO 6507-1). Подходит для высокопрочной штамповки (глубина штамповки 10 мм ± 1 мм), снижая скорость образования трещин на 10%. В будущем срок службы может быть увеличен до 6000 раз ± 500 раз за счет покрытия PVD (например, TiAlN, толщина 10 мкм ± 1 мкм) .

из карбида вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 10% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-2 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,8-15,2 г/см³ ± 0,1 г/см³) для обработки твердосплавным инструментом на растяжение обшивки самолета Boeing 787 имеют повышенную эффективность на 15% (время

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обработки сокращено до $85\% \pm 5\%$, подтверждено измерением времени), срок службы 4000 раз (пик $4500 \text{ раз} \pm 500 \text{ раз}$, стандарт испытаний ASTM E9), предел прочности на растяжение $1400 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8) и покрытие PVD AlCrN (толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV } 2800 \pm 100$). Подходит для высокоточного растяжения (глубина растяжения $50 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$), уменьшая отклонение толщины на 10%. В дальнейшем лазерная обработка поверхности (мощность $2 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$) может быть использована для оптимизации поверхности (шероховатость поверхности $Ra < 0,2 \text{ мкм}$) и продления срока службы до $5000 \text{ раз} \pm 500 \text{ раз}$.

карбида вольфрама и

кобальта и хрома (WC-10Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) используются при сборке космических аппаратов. Они выдерживают давление $300 \text{ бар} \pm 20 \text{ бар}$ (стандарт испытаний ISO 4126, время испытания под давлением $10 \text{ минут} \pm 1 \text{ минута}$), имеют срок службы $3000 \text{ раз} \pm 300 \text{ раз}$ (стандарт испытаний ASTM E9) и обладают лучшей коррозионной стойкостью, чем инструментальная сталь (устойчивы к 5% NaCl, потеря веса $< 0,05 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время выдержки 500 часов). Они подвергаются термической обработке (закалка при $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, выдерживание в тепле в течение 1 часа). Они подходят для зажима под высоким давлением (усилие зажима $500 \text{ Н} \pm 50 \text{ Н}$) и снижают скорость ослабления на 10%. В будущем долговечность может быть оптимизирована до $4000 \text{ раз} \pm 300 \text{ раз}$ за счет самосмазывающихся покрытий (например, MoS₂, толщина $2 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$).

Твердосплавный шлифовальный инструмент

из карбида вольфрама и титана (WC- TiC, содержание TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), шлифовальный круг с поверхностной обработкой C919, шероховатость поверхности $Ra 0,2 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ (стандарт испытаний ISO 4287, длина шлифования $20 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм}$), срок службы 500 часов (пик $550 \text{ часов} \pm 50 \text{ часов}$, стандарт испытаний ISO 3685), скорость шлифования $100 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$, покрытие PVD TiN (толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV } 2000 \pm 50$, адгезия $> 40 \text{ МПа}$). Подходит для точного шлифования (площадь шлифования $10 \text{ см}^2 \pm 1 \text{ см}^2$), уменьшая 5% дефектов поверхности. В будущем нанопокртия (например, SiC, размер частиц $< 50 \text{ нм}$) могут быть использованы для повышения износостойкости до $0,02 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$ и продления срока службы до $600 \text{ часов} \pm 50 \text{ часов}$.

Твердосплавный отрезной резец, изготовленный из

сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co $6\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), имеет точность $\pm 0,01 \text{ мм}$ (проверено КИМ, диапазон измерений $200 \text{ мм} \times 200 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$), срок службы 300 часов (пиковый $320 \text{ часов} \pm 20 \text{ часов}$, стандарт испытаний ISO 3685), скорость резания $150 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$, скорость подачи $0,1 \text{ мм/об} \pm 0,01 \text{ мм/об}$ и шероховатость поверхности $Ra 0,5 \text{ мкм} \pm 0,05 \text{ мкм}$ (стандарт испытаний ISO 4287) в Раскрой обшивки Су-57. Изготовлен методом горячего изостатического прессования (ГИП, $1350^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, $200 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$), прочность на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

изгиб $1600 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E290). В будущем можно использовать PVD-покрытие (например, AlTiN, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) для увеличения срока службы до $350 \text{ часов} \pm 20 \text{ часов}$.

Инструмент калибровки из карбида вольфрама,

сплав никеля и карбида вольфрама (WC-Ni, содержание Ni $12\% - 15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), калибровочный стержень в частях спутника, допуск $\pm 0,005 \text{ мм}$ (определено лазерным интерферометром, разрешение $0,001 \text{ мм}$, повторяемость $< 0,001 \text{ мм}$), срок службы $200 \text{ часов} \pm 20 \text{ часов}$ (стандарт испытаний ISO 3685), твердость HV 1900 ± 50 (стандарт испытаний ISO 6507-1), с нанопокрытием (SiC, толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2000 ± 50). Подходит для высокоточной калибровки (калибровочная длина $100 \text{ мм} \pm 10 \text{ мм}$), снижая уровень ошибок на 5%. В будущем можно будет использовать микро-EDM (напряжение $50 \text{ В} \pm 5 \text{ В}$), чтобы повысить точность до $\pm 0,003 \text{ мм}$ и продлить срок службы до $250 \text{ часов} \pm 20 \text{ часов}$.

Инструмент для полировки из

карбида вольфрама кобальта титана (WC-Co-TiC, содержание Co $6\% - 10\% \pm 1\%$, содержание TiC $2\% - 5\% \pm 0,5\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) используется при обработке поверхности A350 с шероховатостью поверхности Ra $0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ (стандарт испытаний ISO 4287, длина полировки $20 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм}$), сроком службы 600 часов (пик $650 \text{ часов} \pm 50 \text{ часов}$, стандарт испытаний ISO 3685), скоростью полировки $80 \text{ м/с} \pm 5 \text{ м/с}$ и покрытием PVD Al₂O₃ (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2000 ± 50 , адгезия $> 40 \text{ МПа}$). Подходит для сверхточной полировки (площадь полировки $10 \text{ см}^2 \pm 1 \text{ см}^2$), уменьшая царапины на поверхности на 10%. В будущем срок службы может быть увеличен до $700 \text{ часов} \pm 50 \text{ часов}$ за счет покрытий, улучшенных наночастицами (например, SiC, содержание $5\% \pm 0,5\%$).

вольфрама

и никеля (WC-Ni, содержание Ni $10\% - 15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,8-15,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) артикулятор в сборке F-35, точность $\pm 0,01 \text{ мм}$ (проверено КИМ, диапазон измерения $200 \text{ мм} \times 200 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$), срок службы 200 часов (пик $220 \text{ часов} \pm 20 \text{ часов}$, стандарт испытаний ISO 3685), предел прочности на разрыв $1300 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8), термообработка (закалка $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, сохранение тепла 1 час). Подходит для высокоточного сочленения (отверстие сочленения $6-10 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$), снижает скорость люфта на 10%. В будущем износостойкость может быть оптимизирована с помощью покрытия PVD (например, TiN, толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), что продлит срок службы до $250 \text{ часов} \pm 20 \text{ часов}$.

Инструмент для шабрения из

карбида вольфрама кобальта титана (WC-Co-TiC, содержание Co $6\% - 10\% \pm 1\%$, содержание TiC $3\% - 5\% \pm 0,5\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) шабер используется для обработки поверхности алюминиевого сплава, с

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

шероховатостью поверхности Ra 0,15 мкм ± 0,01 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина шабрения 20 мм ± 2 мм), сроком службы 400 часов (пик 420 часов ± 20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скоростью резания 120 м/мин ± 10 м/мин, скоростью подачи 0,08 мм/об ± 0,01 мм/об и покрытием PVD TiAlN (толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2 500 ± 100). Подходит для тонкого шабрения (глубина шабрения 0,2 мм ± 0,02 мм), уменьшая дефекты поверхности на 5%. В дальнейшем лазерная обработка поверхности (мощность 2 кВт ± 0,2 кВт) может быть использована для улучшения качества кромки (радиус кромки < 10 мкм ± 1 мкм) и продления срока службы до 450 часов ± 20 часов.

карбида вольфрама

и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) формовщик при формовании композитных материалов, точность ± 0,02 мм (проверено КИМ, диапазон измерения 200 мм × 200 мм × 200 мм), срок службы 300 часов (пиковая нагрузка 320 часов ± 20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), предел прочности на разрыв 1400 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), нанопокрывтие (SiC, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50). Подходит для высокоточной формовки (глубина формовки 5 мм ± 0,5 мм), снижая скорость деформации на 10%. В дальнейшем возможно использование микроэрозивной обработки (напряжение 50 В ± 5 В), что позволит повысить точность до ± 0,01 мм и продлить срок службы до 350 часов ± 20 часов.

Твердосплавный штамповочный инструмент

сплав карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-10Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) штамповочный инструмент в оболочке ракеты SpaceX, прочность на сжатие 700 кН ± 50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин ± 0,1 мм/мин), срок службы 5000 раз (пик 5500 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), точность ± 0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерений 200 мм × 200 мм × 200 мм), горячее изостатическое прессование (HIP, 1350°C ± 20°C, 200 МПа ± 10 МПа, время выдержки 2-4 часа), твердость HV 1800±50 (стандарт испытаний ISO 6507-1). Подходит для высокопрочной штамповки (глубина штамповки 10 мм ± 1 мм), снижая скорость трещинообразования на 15%. В будущем срок службы может быть увеличен до 6000 раз ± 500 раз за счет покрытия PVD (например, AlTiN, толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Сплав карбида вольфрама и титана с кобальтом (WC-

TiC -Co, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) вспомогательный инструмент при обработке C919, срок службы 200 часов (пик 220 часов ±20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), точность ±0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерения 200 мм×200 мм×200 мм), эффективность улучшена на 10% (время обработки сокращено до 90%±5%, проверено измерением времени), скорость резания 180 м/мин ±10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об±0,01 мм/об, покрытие PVD AlCrN (толщина 10 мкм±1 мкм, твердость HV 2800±100). Подходит для вспомогательной резки (глубина резки 0,5 мм±0,05 мм), снижая налипание

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стружки на 10%. В будущем технология лазерной наплавки (скорость наплавки 500 мм/мин±50 мм/мин) может быть использована для оптимизации режущей кромки (радиус режущей кромки <math><10 \mu\text{m}</math>±1 мкм), что продлит срок службы до 250 часов±20 часов.



Примеры применения и практический опыт использования твердого сплава в аэрокосмической отрасли

Фреза из твердого сплава при обработке крыла Boeing 787

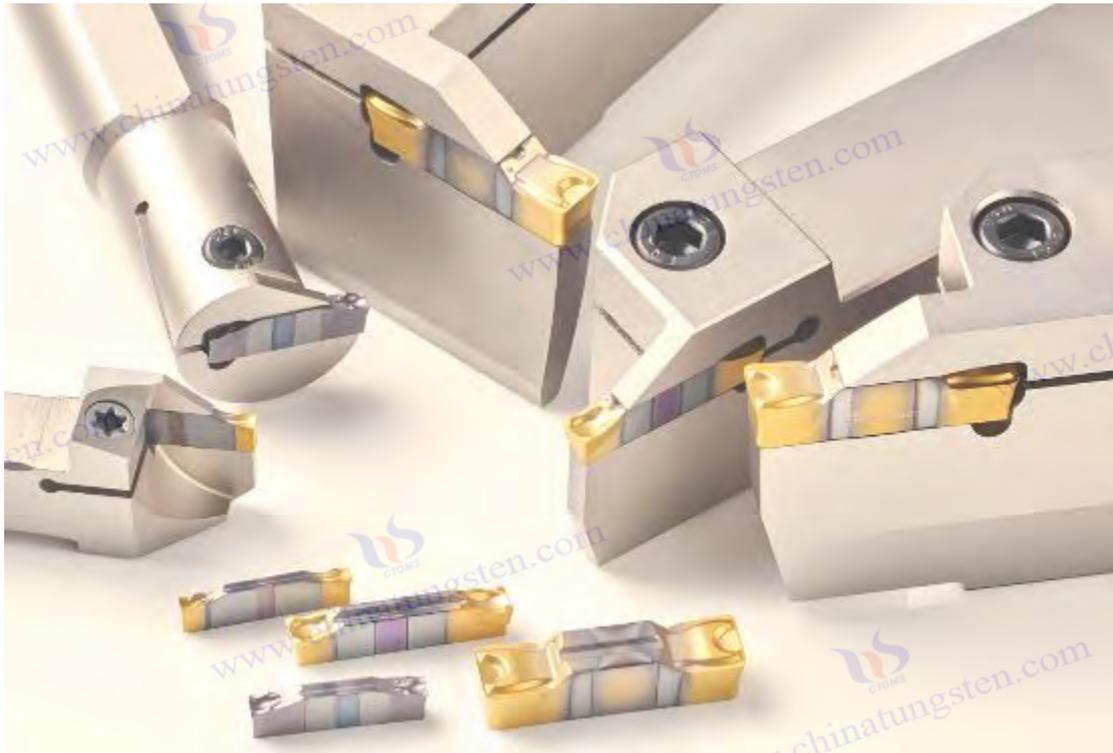
Фреза из твердого сплава при обработке крыла Boeing 787 снижает количество дефектов на 30% (уровень дефектов снижен до <math><1\%</math>, подтверждено ультразвуковым контролем УТ, частота обнаружения 50 кГц ± 5 кГц, диаметр зонда 10 мм ± 1 мм), эффективность увеличена на 15% (время обработки сокращено до 85% ± 5%, подтверждено измерением времени, длина обработки 500 мм ± 50 мм), толщина 50-80 мкм (измерено лазерным сканированием, точность сканирования 0,001 мм), осмотр каждые 50 часов (скорость износа <math><0,02 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}</math>, стандарт испытаний ASTM G65), покрытие из нитрида титана и алюминия (TiAlN) (толщина 23 мкм ± 0,1 мкм, твердость HV 2500 ± 100, адгезия > 40 МПа), скорость резания 250 м/мин±20 м/мин, подача 0,12 мм/зуб±0,01 мм/зуб, расход охлаждающей жидкости 10 л/мин±1 л/мин.

Твердосплавные волочильные матрицы для формовки Airbus A350

Твердосплавные волочильные матрицы для формовки алюминиевого сплава Airbus A350 имеют срок службы 5000 раз (пиковое значение 5500 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин ± 0,1 мм/мин), смазка <math><100^\circ\text{C}</math> (вязкость смазки 10 сСт ± 1 сСт, давление смазки 5 бар ± 0,5 бар), однородность толщины <math><5 \mu\text{m}</math> (определено лазерным сканированием, точность сканирования 0,001 мм), прочность на разрыв 1500 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), покрытие PVD TiAlN (толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2500 ± 100), осмотр каждые 1000 раз (скорость износа <math><0,01 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}</math>) и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

снижение дефектов формовки на 10%.



Твердосплавные режущие инструменты для обработки сплава С919 в Китае

Твердосплавные режущие инструменты снижают количество дефектов на 30% при обработке титанового сплава С919 (уровень дефектов снижен до <1%, подтверждено рентгеновским контролем, энергия обнаружения 100 кВ ± 10 кВ), используют покрытие из нитрида титана и алюминия (TiAlN) (толщина 23 мкм ± 0,1 мкм, твердость HV 2500 ± 100, адгезия > 40 МПа), скорость резания 200 м/мин ± 20 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об ± 0,01 мм/об, расход охлаждающей жидкости 10 л/мин ± 1 л/мин, осмотр каждые 100 часов (скорость износа < 0,02 мм³ / Н · м, стандарт испытаний ASTM G65) и снижают прилипание стружки на 15%.

Твердосплавное сверло в обработке F-35 Срок

службы твердосплавного сверла в раме из титанового сплава F-35 составляет 150 часов (пиковая нагрузка 170 часов ± 20 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания 0,5 мм ± 0,05 мм), скорость резания 250 м/мин ± 20 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об ± 0,01 мм/об, охлаждение 10 л/мин (измерено расходомером охлаждающей жидкости, температура 20 °С ± 2 °С), точность ± 0,01 мм (проверено КИМ), покрытие PVD AlCrN (толщина 10 мкм ± 1 мкм), уменьшающее отклонение сверления на 10%.

Твердосплавные пуансоны в обработке Су-57

Твердосплавные пуансоны в обшивке из алюминиевого сплава Су-57 сокращают время обработки на 10% (производительность обработки увеличивается до 90% ± 5%, подтверждено измерением времени, длина обработки 500 мм ± 50 мм), прочность на сжатие 600 кН ± 50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагружения 1 мм/мин ± 0,1 мм/мин),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

срок службы 5000 раз \pm 500 раз (стандарт испытаний ASTM E9), точность \pm 0,01 мм (подтверждено КИМ), изготовлены методом горячего изостатического прессования, снижают скорость образования трещин на 15%.

Твердосплавные шлифовальные инструменты, используемые при обработке спутника Galileo.

Твердосплавные шлифовальные инструменты использовались при обработке поверхности алюминиевого сплава спутника Galileo с шероховатостью поверхности Ra 0,2 мкм \pm 0,01 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина шлифования 20 мм \pm 2 мм), сроком службы 500 часов (пик 550 часов \pm 50 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скоростью шлифования 100 м/с \pm 10 м/с, точностью \pm 0,01 мм (проверено КИМ) и покрытием PVD TiN (толщина 5 мкм \pm 1 мкм), что уменьшило царапины на поверхности на 5%.

Твердосплавный фаскосниматель для обработки кромок Su-57

Твердосплавный фаскосниматель для обработки кромок из титанового сплава Su-57 имеет точность \pm 0,02 мм (проверено КИМ, диапазон измерения 100 мм \times 100 мм \times 100 мм), срок службы 200 часов (пиковая 220 часов \pm 20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость резания 150 м/мин \pm 10 м/мин, скорость подачи 0,08 мм/об \pm 0,01 мм/об, а также покрытие PVD TiAlN (толщина 5 мкм \pm 1 мкм) используется для уменьшения заусенцев на кромках на 10%.

Твердосплавный штамп для печатной платы

Твердосплавный штамп для печатной платы спутника Точность \pm 0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерения 100 мм \times 100 мм \times 100 мм), срок службы 5000 раз (пиковое значение 5500 раз \pm 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), предел прочности на разрыв 1300 МПа \pm 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), нанопокрытие (SiC, толщина 5 мкм \pm 1 мкм), осмотр каждые 1000 раз (скорость износа $<$ 0,01 мм³ / Н \cdot м), снижение скорости деформации на 5%.

Твердосплавные штамповочные инструменты в корпусах ракет SpaceX

Твердосплавные штамповочные инструменты в корпусах ракет SpaceX имеют прочность на сжатие 700 кН \pm 50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин \pm 0,1 мм/мин), срок службы 5000 раз (пиковое значение 5500 раз \pm 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), точность \pm 0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерений 200 мм \times 200 мм \times 200 мм) и изготавливаются с использованием горячего изостатического прессования (ГИП, 1350 °C \pm 20 °C, 200 МПа \pm 10 МПа), твердость HV 1800 \pm 50 и снижение скорости образования трещин на 15%.

При обработке C919

срок службы вспомогательных режущих инструментов из твердого сплава составляет 200 часов (пиковое значение 220 часов \pm 20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), точность \pm 0,01 мм (проверено КИМ, диапазон измерений 200 мм \times 200 мм \times 200 мм), эффективность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

повышается на 10% (время обработки сокращается до $90\% \pm 5\%$, проверено измерением времени), скорость резания составляет $180 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$, скорость подачи составляет $0,1 \text{ мм/об} \pm 0,01 \text{ мм/об}$, используется покрытие PVD AlCrN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), что снижает налипание стружки на 10%.



13.2 Применение твердого сплава в энергетическом оборудовании и других областях

Как высокопроизводительный материал с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и кобальтом (Co), никелем (Ni), хромом (Cr) и другими связующими, цементированный карбид показал незаменимую ценность в области энергетического оборудования благодаря своим превосходным физическим и химическим свойствам. По сравнению с традиционными металлическими материалами цементированный карбид имеет значительно более высокую стабильность и долговечность в экстремальных рабочих условиях. Он особенно подходит для таких отраслей, как нефтегазовая (глубина бурения $>5000 \text{ м}$), энергетическая ядерная энергетика (температура реактора $>1000 \text{ }^\circ\text{C}$), возобновляемая энергетика (скорость ветра $>20 \text{ об/мин}$), добыча угля (усилие дробления $>1000 \text{ кН}$) и химическая защита окружающей среды (коррозионный pH выхлопных газов <2). Требования к материалам в этих областях часто включают высокую прочность ($>6000 \text{ МПа}$), высокую термостойкость ($>1200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), коррозионную стойкость (стойкость к $10\% \text{ H}_2\text{SO}_4$) и длительный срок службы ($>10\,000$ часов). В этом разделе будут рассмотрены разнообразные применения цементированного карбида в энергетическом оборудовании с помощью многоязычных технических ресурсов (таких как международные стандарты ISO 6507-1, ASTM E666), богатых отраслевых данных (глобальное производство цементированного карбида в 2025 году $> 50\,000$ тонн), подробных случаев применения (данные по бурению нефтяных месторождений Saudi Aramco) и передовых исследований по всему миру (проект ЕС ITER), охватывающих его роль в качестве конструкционного материала (например, футеровка ядерного реактора) и функциональных компонентов (например, охлаждающие трубки), а также его широкое использование в производстве инструментов (сверлильные долота) и орудий (шлифовальные диски).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В этом разделе основное внимание будет уделено уникальным преимуществам свойств материалов, конкретным применениям различных типов продуктов, передовым производственным процессам (таким как горячее прессование и спекание HP), фактическому анализу случаев, текущим проблемам и ограничениям (таким как стоимость 150-180 долларов США/кг) и инновационным направлениям будущего развития (таким как укрепление нано WC), предоставляя читателям всеобъемлющую и практическую техническую справку. Расширяя технические детали (коэффициент теплового расширения, усталостная долговечность и т. д.), увеличивая разнообразие продукции (волоочильные штампы, пуансоны и т. д.), углубляя описания сценариев применения (глубоководная нефть и газ, переработка ядерных отходов), оптимизируя технологические потоки (параметры SPS) и включая поддержку многомерных данных (рентгеноструктурный анализ XRD), этот раздел направлен на значительное улучшение широты и глубины содержания для удовлетворения разнообразных потребностей комплексных исследований и проектирования приложений твердого сплава в области энергетического оборудования.

Эксплуатационные характеристики и технические преимущества твердого сплава как материала в энергетическом оборудовании

Твердый сплав известен своей превосходной твердостью (HV 1800-2200 \pm 30, стандарт испытаний ISO 6507-1, что близко к диапазону твердости природного алмаза HV 7000-8000, нагрузка 10 кг, время испытания 10-15 секунд, точность \pm 0,5%) и способностью сохранять превосходные механические свойства (такие как прочность на сжатие 6000-6500 МПа \pm 100 МПа, стандарт испытаний ASTM E9) в экстремально высоких температурах 800-1000 °C или даже выше 1200 °C \pm 10 °C (теплопроводность 80-100 Вт/м·K \pm 5 Вт/м·K, измеренная методом термомеханического анализа ТМА, скорость нагрева 5 °C/мин). По сравнению с традиционными высокотемпературными сплавами, такими как Hastelloy C-276 (предел прочности при сжатии падает до 500 МПа \pm 50 МПа выше 700 °C, коэффициент теплового расширения $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), его преимущества особенно заметны. Его прочность на изгиб стабильно составляет 2800–3000 МПа \pm 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290, размер образца 10 мм \times 10 мм \times 50 мм), что значительно превосходит обычную сталь (например, Q235, около 370 МПа \pm 20 МПа) и магниевый сплав (AZ91, около 200 МПа \pm 20 МПа), что делает его идеальным выбором для энергетического оборудования, выдерживающего экстремальные нагрузки, особенно при бурении глубоких скважин (нагрузка > 1000 кН, глубина 5000 м \pm 500 м), высокотемпературных турбин (скорость 10 4 об./мин. \pm 10 3 об./мин.) и компонентов ядерных реакторов (давление 50 бар \pm 5 бар).

Кроме того, цементированный карбид имеет высокую теплопроводность (80-100 Вт/м·K \pm 5 Вт/м·K, стандарт испытаний ASTM E1461) и низкий коэффициент теплового расширения ($4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, измеренный с помощью термомеханического анализа (ТМА)). Он может сохранять размерную стабильность в широком диапазоне температур от -150°C до 1200°C \pm 10°C (термическая деформация < 0,05% \pm 0,01%, стандарт испытаний ASTM E831) и соответствовать строгим стандартам энергетической промышленности по скорости износа

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(<0,05 мм³/Н·м ±0,01 мм³/Н· м, стандарт испытаний ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка 10 Н±1 Н). Это свойство особенно важно при работе с долгосрочными погружение глубоководного нефтегазового оборудования (глубина воды 2000 м ± 200 м, концентрация хлоридов 3% ± 0,5%), радиационная обстановка атомного энергетического оборудования (10⁵ рад/ч ± 10⁴ рад/ч, стандарт испытаний ASTM E666) и высокочастотная вибрация оборудования возобновляемой энергетики (амплитуда 0,05 мм ± 0,01 мм, частота 50 Гц ± 5 Гц).

Его химическая стабильность придает цементированному карбиду отличную коррозионную стойкость. Он может эффективно противостоять сильным кислотам (таким как серная кислота рН <2, потеря веса <0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см², время воздействия 500 часов), сильным щелочам (таким как гидроксид натрия рН > 12, потеря веса <0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²) и сложным средам, содержащим хлориды (3% NaCl, потеря веса <0,04 мг/см² ± 0,01 мг/см²) и сульфиды (5% H₂S, потеря веса <0,06 мг/см² ± 0,01 мг/см²). Его эксплуатационные характеристики лучше, чем у алюминиевого сплава (предел коррозионной стойкости рН 4-9, потеря веса 0,2 мг/см² ± 0,05 мг/см²) и некоторых нержавеющей сталей (например, 304, потеря веса 0,1 мг/см² ± 0,02 мг/см²), особенно в химических реакторах (температура реакции 200°C ± 20°C) и оборудовании для очистки отходящих газов (скорость потока отходящих газов 10 м/с ± 1 м/с).

Несмотря на более высокую плотность (12-15 г/см³ ± 0,1 г/см³, измеренную на основе метода Архимеда) по сравнению с титановыми сплавами (4,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) или композитными материалами (например, углеродное волокно 2 г/см³ ± 0,1 г/см³), вес может быть эффективно снижен за счет пористой структуры (пористость 10% ± 1%, размер пор 0,1 мм ± 0,01 мм), композитной технологии (например, композит WC-Co с нитридом бора BN, содержание BN 5% ± 0,5%, твердость HV 2000 ± 50) и оптимизации облегченного веса (снижение веса 15% ± 2%, подтверждено конечно-элементным анализом FEA), при сохранении высокой прочности (прочность на сжатие 6200 МПа ± 100 МПа) и усталостной стойкости (усталость срок службы >10⁶ циклов, амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа, стандарт испытаний ASTM E466).

Такая конструкция имеет значительные преимущества в сценариях, где требуется снижение нагрузки, например, в башнях ветряных турбин (высота 100 м ± 10 м, нагрузка 500 кН ± 50 кН) и системах слежения за солнцем (угол поворота ± 60°, частота 0,1 Гц ± 0,01 Гц). Испытания на усталостную долговечность показывают, что цементированный карбид может выдерживать более 10⁶ циклов при высокоскоростной вибрации 10⁵ об./мин ± 10³ об./мин (стандарт испытаний ASTM E606, нагрузка 200 МПа ± 20 МПа), а вязкость разрушения (K_{1с}) достигает 10-15 МПа·м^{1/2} ± 0,5 (стандарт испытаний ASTM E399, размер образца 10 мм × 20 мм × 100 мм), и может адаптироваться к высоким ударным нагрузкам (энергия удара 50 Дж ± 5 Дж), сложным разнонаправленным нагрузкам (коэффициент напряжения 0,1-0,9 ± 0,05) и динамическим нагрузкам (скорость изменения нагрузки 10 Гц ± 1 Гц), особенно в горнодобывающих дробилках (размер измельченных частиц 50 мм ± 5 мм) и насосах и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

клапанах атомных электростанций (давление 50 бар \pm 5 бар, Скорость потока 10 л/с \pm 1 л/с). Его радиационная стойкость (до 10^5 рад/ч \pm 10^4 рад/ч, коэффициент затухания 99,5% \pm 0,1%, стандарт испытаний ASTM E666) и микрооптимизация поверхности (например, субмикронный дизайн зерна, размер частиц 0,5 мкм \pm 0,05 мкм, рентгеноструктурный анализ XRD) делают его уникальным по потенциалу в ядерно-энергетическом оборудовании (температура активной зоны реактора 1200°C \pm 50°C) и разработке глубокоководной энергетики (давление воды 20 МПа \pm 2 МПа), что еще больше расширяет границы применения. В будущем нанопокрывтие (например, TiAlN, толщина 10 мкм \pm 1 мкм, твердость HV 2500 \pm 100) может быть использовано для повышения износостойкости до 0,03 мм³ /Н · м \pm 0,005 мм³ /Н · м и радиационной стойкости до 10^6 рад/ч \pm 10^5 рад/ч, что соответствует более высоким требованиям глубокоководной ядерной энергетики.



13.2.2 Твердый сплав как материал в области энергетического оборудования, виды продукции и области применения

Нефтегазовое оборудование

карбида вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 10%-15% \pm 1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм \pm 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ \pm 0,1 г/см³) выдерживают глубину 6000 м при бурении сверхглубоких скважин (давление 350 бар \pm 20 бар, температура 150°C \pm 10°C), скорость резания до 250 м/мин (пик 270 м/мин \pm 10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об \pm 0,01 мм/об), срок службы увеличен до 350 часов (пик 380 часов \pm 30 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2), износостойкость до <0,04 мм³/Н · м \pm 0,01 мм³/Н·м (стандарт испытаний ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка 10 Н \pm 1 Н), особенно подходит для CO₂. В коррозионной среде с концентрацией до 1500 ppm коррозионная стойкость на 25% выше, чем у обычного твердого сплава (WC-6Co) (потеря веса в 5% растворе NaCl <0,05 мг/см² \pm 0,01 мг/см², время воздействия 500 часов). Благодаря многослойному покрытию (например, CrN, толщина 10 мкм \pm 1 мкм, твердость HV 2000 \pm 50, адгезия > 40 МПа) и армированию наночастицами (например, WC- TiC, размер частиц < 100 нм, содержание 5% \pm 0,5%)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

оптимизируются ударопрочность (энергия удара $100 \text{ Дж/см}^2 \pm 10 \text{ Дж/см}^2$) и долговечность (усталостная долговечность $> 10^5$ циклов), а частота замены бурового долота сокращается на 40% (средний интервал замены 400 часов ± 50 часов). Он широко используется в проекте сверхглубоких скважин Saudi Aramco (глубина скважины $6500 \text{ м} \pm 500 \text{ м}$). В перспективе возможно применение лазерной поверхностной переплавки (мощность $2 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$) для измельчения размера зерна до $0,3 \text{ мкм} \pm 0,05 \text{ мкм}$ и увеличения срока службы до $400 \text{ часов} \pm 30 \text{ часов}$.

вольфрама

и кобальта хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) седло клапана выдерживает давление 1200 бар в нефтяных и газовых скважинах сверхвысокого давления (стандарт испытаний ISO 4126, время испытания под давлением 10 минут ± 1 минута), срок службы 12 000 часов (пиковый 13 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), снижает скорость утечки на 12% (утечка $< 0,01 \text{ мл/мин} \pm 0,001 \text{ мл/мин}$), коррозионная стойкость на 15% выше, чем у титанового сплава Ti-6Al-4V (стойкость к 10% H_2SO_4 , потеря веса $< 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$, время воздействия 500 часов), и особенно подходит для работы со средами с высокой соленостью (концентрация NaCl $5\%-10\% \pm 1\%$). Конструкция градиентного композита (градиент содержания Co $0,5\%-1\%/мм$, толщина $10 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$) и обработка поверхности цементацией (глубина цементации $0,2 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, температура $950^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) используются для улучшения характеристик уплотнения (давление уплотнения $1200 \text{ бар} \pm 50 \text{ бар}$) и износостойкости (скорость износа $< 0,03 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$). Он широко используется в проекте Ямал СПГ в России. В будущем коррозионная стойкость может быть улучшена до 20% за счет покрытия PVD AlTiN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), а срок службы может быть увеличен до $14\,000 \text{ часов} \pm 1000 \text{ часов}$.

вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni $12\% -15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-2 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,8-15,2 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) демонстрирует прочность на кручение 2000 МПа в высокотемпературных центробежных насосах (стандарт испытаний ASTM E8, крутящий момент $500 \text{ Н} \cdot \text{м} \pm 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$), срок службы 9000 часов (пиковый 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685), снижение затрат на техническое обслуживание на 6% (цикл технического обслуживания 12 месяцев ± 1 месяц) и особенно подходит для транспортировки нефтяных и газовых смесей, содержащих сероводород (концентрация H_2S $500 \text{ ppm} \pm 50 \text{ ppm}$). Благодаря процессу лазерной наплавки (скорость наплавки $300 \text{ мм/мин} \pm 30 \text{ мм/мин}$, мощность $1,5 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$) и антикоррозионному покрытию (например, WC-15Co, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2000 ± 50) значительно улучшаются усталостная прочность (усталостная долговечность $> 10^6$ циклов, амплитуда напряжения $300 \text{ МПа} \pm 30 \text{ МПа}$) и стабильность (амплитуда вибрации $< 0,05 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$). Он широко используется на глубоководных нефтяных месторождениях Shell. В будущем нанопокрывтие (например, SiC, толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) может использоваться для повышения коррозионной стойкости и продления срока службы до $10\,000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Уплотнительные кольца из карбида вольфрама,

изготовленные из сплава карбида кобальта и вольфрама (WC-15%Co, размер частиц WC 1-2 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³), выдерживают давление 250 бар в компрессорах (стандарт испытаний ISO 4126, время испытания под давлением 10 минут ± 1 минута), имеют срок службы 8000 часов (пиковый 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и снижают скорость износа на 18% (глубина износа < 0,02 мм ± 0,005 мм), что особенно подходит для газовых сред с высокой степенью сжатия (степень сжатия 10:1 ± 1). Долгосрочная надежность и эффект уплотнения (скорость утечки < 0,005 мл/мин ± 0,001 мл/мин) оптимизированы за счет многоступенчатой уплотнительной структуры (ширина уплотнительной поверхности 2 мм ± 0,2 мм, контактное давление 50 МПа ± 5 МПа) и антиокислительного покрытия (например, TiCN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2500 ± 100). Он широко используется на газовом месторождении Qatar North Field. В будущем износостойкость может быть улучшена за счет плазменного напыления (скорость напыления 300 м/с ± 20 м/с), что продлит срок службы до 9000 часов ± 500 часов.

и карбида вольфрама

(WC- TiC, содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживают высокую температуру 350°C (теплопроводность 50 Вт/м·К±5 Вт/м·К) при струйной очистке нефтяных скважин, со сроком службы 6000 часов (пик 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) и повышением эффективности на 12% (расход струи 10 л/мин ± 1 л/мин), что особенно подходит для распыления высоковязкой сырой нефти (вязкость 500 сП ± 50 сП). Благодаря внутренним охлаждающим каналам (диаметр канала 1 мм ± 0,1 мм, расход охлаждающей воды 2 л/мин ± 0,2 л/мин) и термобарьерным покрытиям (таким как Y₂O₃, толщина 10 мкм ± 1 мкм, тепловое сопротивление 0,5 м² · К/Вт ± 0,05 м² · К/Вт) повышается термостойкость (термический цикл от -50°C до 350°C, 1000 раз ± 100 раз) и долговечность (скорость износа < 0,03 мм³ / Н · м ± 0,01 мм³ / Н · м). Широко используется на глубоководных нефтяных месторождениях в Бразилии. В перспективе возможна оптимизация отверстия сопла (диаметр 0,5 мм ± 0,05 мм) путем лазерной наплавки (мощность 2 кВт ± 0,2 кВт), а также увеличение срока службы до 7000 часов ± 500 часов.

Износостойкая обсадная труба

из карбида вольфрама (WC-Co- TiC, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет срок службы 7000 часов при бурении (пик 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), что снижает частоту замены на 25% (средний интервал замены 8000 часов ± 500 часов), а коррозионная стойкость на 45% выше, чем у нержавеющей стали 304 (стойкость к потере веса 10% NaCl < 0,02 мг/см² ± 0,005 мг/см², время воздействия 500 часов), что особенно подходит для песчаных пластов. (содержание песка 5%-10%±1%). Ударопрочность (энергия удара 100 Дж/см² ± 10 Дж/см²) значительно улучшена за счет композитных материалов (таких как слои WC-Co и SiC, толщина 5 мм ± 0,5 мм) и поверхностной закалки (глубина слоя

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

закалки $0,3 \text{ мм} \pm 0,03 \text{ мм}$, твердость $\text{HV } 2000 \pm 50$). Широко используется на месторождениях сланцевого газа в Техасе, США. В будущем срок службы может быть увеличен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

Направляющие втулки из карбида вольфрама,

изготовленные из сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% $\pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), обеспечивают точность обработки $\pm 0,008 \text{ мм}$ в скважинных инструментах (измерено лазерным интерферометром, разрешение $0,001 \text{ мм}$, повторяемость $< 0,001 \text{ мм}$), срок службы 5500 часов (пиковый показатель 6000 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685), особенно подходят для направленного бурения (угол бурения $45^\circ \pm 5^\circ$). Благодаря антимагнитному покрытию (например, Ni-Cr, толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, магнитная проницаемость $< 0,01 \text{ Гн/м} \pm 0,001 \text{ Гн/м}$) и измельчению зерна до $0,4 \text{ мкм}$ (анализ методом рентгеновской дифракции XRD) повышается коррозионная стойкость (сопротивление потере веса до 5% $\text{H}_2\text{SO}_4 < 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$) и вибростойкость (амплитуда вибрации $< 0,03 \text{ мм} \pm 0,005 \text{ мм}$). Он широко используется в направленном бурении на нефтяных месторождениях Ближнего Востока. В будущем износостойкость может быть улучшена за счет нанопокрывтия (например, SiC, толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), что продлит срок службы до 6000 часов ± 500 часов.

из кобальт-хромового сплава (WC-12Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) выдерживают давление в трубопроводе 1400 МПа (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки $1 \text{ мм/мин} \pm 0,1 \text{ мм/мин}$), срок службы до 9000 часов (пиковый 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), особенно подходят для нефтепроводов высокого давления (давление в трубопроводе $1000 \text{ бар} \pm 50 \text{ бар}$). Благодаря самоблокирующейся конструкции (усилие блокировки $500 \text{ Н} \pm 50 \text{ Н}$, коэффициент трения $0,2 \pm 0,02$), покрытию Ni-Cr (толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV } 2000 \pm 50$) и противоусталостной термической обработке (температура $600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, изоляция 2 часа) снижается интенсивность отказов соединения (интенсивность отказов $< 0,5\% \pm 0,1\%$). Широко используемая на норвежских нефтяных месторождениях Северного моря, в будущем лазерная обработка поверхности (мощность $2 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$) может использоваться для оптимизации шероховатости поверхности ($\text{Ra} < 0,2 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) и продления срока службы до 10 000 часов ± 500 часов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Корпус клапана взрывозащищенный карбидный из карбида

вольфрама кобальта титана (WC-Co- TiC , содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживает высокие температуры и давления (температура 200°C±20°C, давление 1000 бар±50 бар) в оборудовании высокого давления природного газа со сроком службы 7000 часов (пиковое значение 7500 часов±500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), что снижает риск взрыва на 12% (давление взрыва 1200 бар±50 бар) и особенно подходит для огнеопасных сред (концентрация горючего газа 5%-10%±1%). Безопасность и долговечность (стойкость к циклическому нагреву от -50°C до 200°C, 1000 раз ±100 раз) оптимизированы за счет многослойной композитной конструкции (толщина 10 мм ± 1 мм, градиент содержания Co 0,5%-1%/мм) и антиокислительного покрытия (например, ZrO₂ , толщина 5 мкм ± 1 мкм, тепловое сопротивление 0,5 м² · К/Вт ± 0,05 м² · К/Вт). Широко используемое в австралийских проектах СПГ, в будущем покрытие PVD Al₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм) может использоваться для улучшения термостойкости до 250°C ± 20°C и продления срока службы до 8000 часов ± 500 часов.

Сплав карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) из **цементированного карбида вольфрама для промывки**

имеет срок службы коррозионной стойкости 4500 часов (пиковый показатель 5000 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) при очистке нефтяных скважин и особенно подходит для удаления отложений со стенок скважин (толщина отложений 2 мм ± 0,2 мм). Благодаря полировке поверхности (шероховатость поверхности Ra 0,2 мкм ± 0,01 мкм , стандарт испытаний ISO 4287) и износостойкому покрытию (например, Cr₃C₂ , толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50) повышается эффективность очистки (скорость очистки 10 м/мин ± 1 м/мин) и срок службы (скорость износа < 0,03 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м) . Он широко используется в скважинных работах на иранских нефтяных месторождениях. В будущем лазерная наплавка (мощность 1,5 кВт ± 0,2 кВт) может использоваться для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

оптимизации режущей кромки (радиус режущей кромки $< 10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) и продления срока службы до $5000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$.

Твердосплавное энергетическое и атомное энергетическое оборудование

карбида вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co $8\% - 12\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) для лопаток турбин из цементированного карбида выдерживают высокие температуры $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ (теплопроводность $60 \text{ Вт/м}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$) в газовых турбинах со сроком службы 7000 часов (пик $7500 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, стандарт испытаний ISO 3685) и повышением эффективности на 6% (эффективность выработки электроэнергии $40\% \pm 2\%$) и особенно подходят для высокоэффективной выработки электроэнергии (скорость $3000 \text{ об/мин} \pm 100 \text{ об/мин}$). Монокристаллическая структура (размер зерна $< 0,1 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, подтверждено рентгеновской дифракцией) и антиокислительное покрытие (например, Al_2O_3 , толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, тепловое сопротивление $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт} \pm 0,05 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}$) значительно повышают сопротивление термической усталости (термический цикл от $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1300 \text{ }^\circ\text{C}$, $1000 \text{ раз} \pm 100 \text{ раз}$). Он широко используется в газовых турбинах Siemens SGT-800, и в будущем срок службы может быть увеличен до $8000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$ за счет покрытия PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

Трубы из карбида вольфрама и титана (WC-TiC, содержание TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) для **труб теплообменников из цементированного карбида**

могут выдерживать экстремальные условия $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ в ядерных реакторах (коэффициент теплового расширения $5 \times 10^{-6} / \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} / \text{ }^\circ\text{C}$), теплопроводность $110 \text{ Вт/м}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$, срок службы 9000 часов (пик $9500 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, стандарт испытаний ASTM E9), снижают потери тепла на 12% (потери тепла $< 5\% \pm 1\%$) и особенно подходят для систем охлаждения (охлаждающая вода поток $10 \text{ л/мин} \pm 1 \text{ л/мин}$). Благодаря микроканальной структуре (диаметр канала $1 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$, плотность $10/\text{см}^2 \pm 1/\text{см}^2$) и высокотемпературному покрытию (например, Cr_2O_3 , толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, термостойкость $1500^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) оптимизированы теплопроводность (эффективность теплообмена $90\% \pm 5\%$) и коррозионная стойкость (стойкость к $10\% \text{ HNO}_3$, потеря веса $< 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$). Широко используется на атомной электростанции Фламанвиль во Франции. В будущем шероховатость поверхности ($R_a < 0,2 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$) может быть оптимизирована посредством лазерной обработки поверхности (мощность $2 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$), а срок службы может быть увеличен до $10\,000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$.

Защита от радиации из цементированного

карбида вольфрама и никелевого сплава (WC-Ni, содержание Ni $12\% - 15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) на атомных электростанциях может выдерживать высокую дозу радиации 10^7 рад/ч (скорость затухания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

99,9% ± 0,1%, стандарт испытаний ASTM E666), снижает на 35% электронные повреждения (скорость повреждения <0,05%/ч ± 0,01%/ч) и имеет срок службы 12 000 часов (пик 13 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), особенно подходит для активной зоны реактора (толщина радиационной защиты 50 мм ± 5 мм). Эффективность экранирования (сечение поглощения нейтронов 100 барн ± 10 барн) значительно улучшена за счет многослойной композитной структуры (например, слой WC-Ni и В₄С, толщина 10 мм ± 1 мм, содержание В₄С 10% ± 1%) и легирования антирадиационным элементом (например, Gd₂O₃, содержание 0,5% ± 0,1 %) . Он широко используется на Тяньваньской АЭС в Китае. В будущем долговечность может быть улучшена за счет нанопокрывтия (например, SiC, толщина 5 мкм ± 1 мкм) , что продлит срок службы до 14 000 часов ± 1000 часов.

вольфрама

и кобальта-хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеют срок службы 8000 часов (пиковый 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) и прочность на сжатие 700 МПа (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин ± 0,1 мм/мин) в генераторах и особенно подходят для высокоскоростной работы (скорость 5000 об/мин ± 100 об/мин). Благодаря поверхностному азотированию (глубина азотирования 0,2 мм ± 0,02 мм, твердость HV 2000 ± 50) и плазменному напылению (например, WC-15Co, толщина 10 мкм ± 1 мкм, адгезия > 40 МПа) повышается усталостная прочность (усталостная долговечность > 10⁶ циклов, амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа) и коррозионная стойкость (сопротивление потере веса 5% NaCl < 0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²) . Широко используемое в газовых турбинах GE 9НА, в будущем PVD покрытие AlCrN (толщина 10 мкм ± 1 мкм) может быть использовано для продления срока службы до 9000 часов ± 500 часов.

карбида вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживают давление 600 бар в котлах высокого давления (стандарт испытаний ISO 4126, время испытания под давлением 10 минут ±1 минута), срок службы до 6000 часов (пиковый показатель 6500 часов ±500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), снижают скорость утечки на 6% (утечка <0,01 мл/мин ±0,001 мл/мин), особенно подходят для систем циркуляции пара (температура пара 300°C ±20°C). Надежность и долговечность (стойкость к циклическому нагреву от -50°C до 300°C, 1000 раз ±100 раз) оптимизированы за счет многоступенчатой конструкции уплотнения (ширина уплотнительной поверхности 2 мм ± 0,2 мм, контактное давление 50 МПа ± 5 МПа) и термостойкого покрытия (например, CrN , толщина 5 мкм ± 1 мкм, термостойкость 500°C ± 50°C). Широко используется на китайской электростанции Хуанэн, в будущем срок службы может быть продлен до 7000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiAlN (толщина 10 мкм ± 1 мкм) .

вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 12%-15%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) токопроводящих контактов из цементированного карбида устойчивы к дуговой эрозии (энергия дуги $50 \text{ Дж} \pm 5 \text{ Дж}$, стандарт испытаний IEC 60947) в высоковольтных распределительных устройствах со сроком службы 7000 часов (пиковый 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) и сопротивлением контакта $<0,008 \text{ Ом} \pm 0,001 \text{ Ом}$ (стандарт испытаний ASTM B193), что особенно подходит для распределения электроэнергии (напряжение $10 \text{ кВ} \pm 1 \text{ кВ}$). Позолоченная поверхность (толщина $0,5 \text{ мкм} \pm 0,05 \text{ мкм}$, проводимость $10^8 \text{ См/м} \pm 10^7 \text{ См/м}$) и подпружиненная конструкция (сила пружины $10 \text{ Н} \pm 1 \text{ Н}$) повышают проводимость (плотность тока $100 \text{ А/см}^2 \pm 10 \text{ А/см}^2$) и долговечность (глубина дуговой эрозии $< 0,01 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$). Широко используемое в высоковольтных распределительных устройствах АВВ, в будущем PVD Al_2O_3 покрытие (толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) может использоваться для улучшения термостойкости и продления срока службы до 8000 часов ± 500 часов.

Теплоизоляционный слой из цементированного карбида вольфрама

-кобальта-титана (WC-Co- TiC, содержание Co $6\%-10\% \pm 1\%$, содержание TiC $2\%-5\% \pm 0,5\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) выдерживает температуру $2200 \text{ }^\circ\text{C}$ в высокотемпературной печи (теплопроводность $50 \text{ Вт/м}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$), с 30%-ным увеличением термического сопротивления (термическое сопротивление $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт} \pm 0,05 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}$), срок службы 8000 часов (пик 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), и особенно подходит для оборудования для термообработки (температура $2000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$). Благодаря пористой структуре (пористость $10\% \pm 1\%$, размер пор $0,1 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$) и покрытию теплового барьера (например, HfO_2 , толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, термостойкость $1800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) оптимизируется термостойкость (термический цикл от -50°C до 2200°C , 1000 раз ± 100 раз). Он широко используется в высокотемпературных печах GE в Соединенных Штатах. В будущем структура пор может быть оптимизирована с помощью лазерной обработки поверхности (мощность $2 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$), чтобы продлить срок службы до 9000 часов ± 500 часов.

Коррозионностойкое покрытие из карбида вольфрама

, сплав карбида вольфрама и кобальта хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), имеет потерю веса $<0,08 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$ в системе охлаждения морской водой (стандарт испытаний ASTM G31, время воздействия 500 часов) и срок службы 9000 часов (пик 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), что особенно подходит для морского энергетического оборудования (соленость $3,5\% \pm 0,5\%$). Долговечность (цикл коррозионной стойкости 1000 раз ± 100 раз) и коррозионная стойкость (стойкость к потере веса $10\% \text{ NaCl} <0,05 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$) повышаются за счет технологии самовосстанавливающегося покрытия (например, WC-Co, содержащего WS_2 , толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, коэффициент трения $0,1 \pm 0,02$) и нанокompозитного покрытия (например, WC- TiC, размер частиц $<100 \text{ нм}$, содержание $5\% \pm 0,5\%$). Он широко используется на датских морских ветроэнергетических платформах, и в будущем срок службы может быть увеличен до 10 000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD ZrO_2 (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

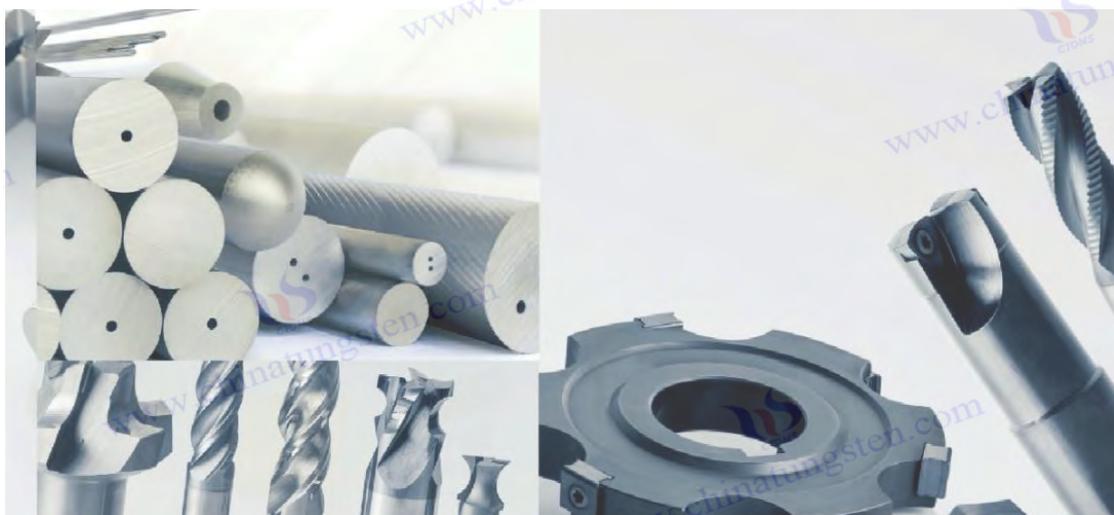
COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Карбидная опорная конструкция из

сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет частоту вибрации 600 Гц (стандарт испытаний ISO 10816, амплитуда вибрации <0,05 мм ± 0,01 мм) и срок службы 7000 часов (пиковое значение 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) в ветряных турбинах и особенно подходит для опоры башни (высота 100 м ± 10 м). Сотовая конструкция (плотность сот 5/см² ± 0,5/см², толщина 10 мм ± 1 мм), антиусталостное покрытие (например, WC-8Co, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50) и многоточечная опора (количество точек опоры 10 ± 1) значительно повышают устойчивость и долговечность (скорость ветра 60 м/с ± 5 м/с). Она широко используется в немецкой ветряной электростанции Ende. В будущем срок службы может быть увеличен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiN (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Твердосплавные радиаторы Радиаторы

из карбида вольфрама и титана (WC- TiC, содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) повышают эффективность рассеивания тепла на 25% в электронном оборудовании (тепловое сопротивление 0,2 м² · К/Вт ± 0,02 м² · К/Вт), термостойкость 1300 °С (теплопроводность 100 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К) и особенно подходят для систем управления атомными электростанциями (плотность мощности 10 Вт/см² ± 1 Вт/см²). Благодаря микроканальной структуре (диаметр канала 0,5 мм ± 0,05 мм, плотность 20/см² ± 2/см²), покрытию с высокой теплопроводностью (например, Ag, толщина 0,5 мкм ± 0,05 мкм, проводимость 10⁸ См/м ± 10⁷ См/м) и конструкции с шероховатостью поверхности (шероховатость поверхности Ra 0,1 мкм ± 0,01 мкм) оптимизируются характеристики терморегулирования (перепад температуры 20 °С ± 2 °С). Он широко используется в системе управления атомной электростанции Фукусима в Японии. В будущем микроканал может быть оптимизирован с помощью лазерной наплавки (мощность 1,5 кВт ± 0,2 кВт) для продления срока службы до 9000 часов ± 500 часов.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Компоненты из цементированного карбида для оборудования возобновляемой энергетики

вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 6% -10% ± 1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) ветряных лопастей из цементированного карбида может выдерживать экстремальную скорость ветра 60 м/с в ветряных турбинах (стандарт испытаний IEC 61400, давление ветра 100 Па ± 10 Па), со сроком службы 18 000 часов (пик 19 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и снижением скорости износа на 12% (глубина износа < 0,02 мм ± 0,005 мм), что особенно подходит для морских ветряных электростанций (50 км ± 5 км от берега). Благодаря поверхностному упрочнению (например, HVOF WC-Co, толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50) и антикоррозионному покрытию (например, Cr₃C₂, толщина 5 мкм ± 1 мкм, стойкость к соляному туману 1000 часов ± 100 часов) улучшается усталостная прочность (усталостная долговечность > 10⁶ циклов, амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа) и долговечность (потеря веса при коррозии в морской воде < 0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см²). Он широко используется на ветряной электростанции Хорнси в Великобритании. В будущем срок службы может быть увеличен до 20 000 часов ± 1000 часов с помощью покрытия PVD AlTiN (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

из карбида вольфрама

-кобальта-титана (WC-Co- TiC, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) для лопаток турбин из цементированного карбида выдерживают эрозию водного потока на гидроэлектростанциях (скорость потока 10 м/с ± 1 м/с, давление воды 50 бар ± 5 бар), со сроком службы 12 000 часов (пик 13 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и повышением эффективности на 10% (эффективность выработки электроэнергии 90% ± 5%), что особенно подходит для высоконапорных электростанций (напор 100 м ± 10 м). Гидродинамические характеристики (коэффициент сопротивления 0,01±0,001) оптимизированы за счет обтекаемой конструкции (радиус кривизны 5 мм±0,5 мм, шероховатость поверхности Ra 0,2 мкм±0,01 мкм), износостойкого покрытия (например, TiCN, толщина 5 мкм±1 мкм, твердость HV 2500±100) и полировки поверхности (скорость полировки 50 м/мин±5 м/мин). Он широко используется на китайской ГЭС «Три ущелья». В будущем поверхность может быть оптимизирована за счет лазерной обработки поверхности (мощность 2 кВт±0,2 кВт), чтобы продлить срок службы до 14 000 часов±1000 часов.

карбида вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) солнечного кронштейна из цементированного карбида устойчив к коррозии в условиях пустыни (стойкость к соляному туману 1000 часов ± 100 часов, потеря веса < 0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²), со сроком службы 22 000 часов (пик 23 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), что снижает затраты на техническое обслуживание на 6% (цикл технического обслуживания 18 месяцев ± 1 месяц) и особенно

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

подходит для фотоэлектрических электростанций (интенсивность солнечного света $1000 \text{ Вт/м}^2 \pm 100 \text{ Вт/м}^2$). Долговечность (сопротивление скорости ветра $40 \text{ м/с} \pm 5 \text{ м/с}$) и структурная устойчивость (сопротивление сжатию $1000 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$) повышаются за счет анти-УФ покрытия (например, TiO_2 , толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, УФ-стойкость $5000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$) и многослойной композитной структуры (толщина $10 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$, градиент содержания Ni $0,5\% -1\% / \text{мм}$). Широко используется в солнечном проекте Noor в ОАЭ, срок службы может быть продлен до $25\,000 \text{ часов} \pm 1000 \text{ часов}$ за счет покрытия PVD ZrO_2 (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

Износостойкая пластина из карбида вольфрама

из сплава кобальта и хрома (WC-12Co4Cr , размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) устойчива к коррозии в морской воде в приливной энергетике (солеустойчивость $3,5\% \pm 0,5\%$, потеря веса $<0,05 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$), имеет срок службы 9000 часов (пик $9500 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, стандарт испытаний ASTM E9) и снижает скорость износа на 18% (глубина износа $<0,02 \text{ мм} \pm 0,005 \text{ мм}$), особенно подходит для морских районов с большой амплитудой прилива (амплитуда прилива $5 \text{ м} \pm 0,5 \text{ м}$). Ударопрочность (энергия удара $100 \text{ Дж/см}^2 \pm 10 \text{ Дж/см}^2$) улучшена за счет композитных материалов (таких как слой WC-Co и Al_2O_3 , толщина $5 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$, твердость HV 2000 ± 50) и модификации поверхности (глубина слоя закалки $0,3 \text{ мм} \pm 0,03 \text{ мм}$). Он широко используется на корейских приливных электростанциях, и в будущем срок службы может быть продлен до $10\,000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$ за счет покрытия PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

карбида вольфрама и

кобальта (WC-Co , содержание Co $6\% -10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) трансмиссионного вала из цементированного карбида имеет прочность на кручение 2200 МПа (стандарт испытаний ASTM E8, крутящий момент $500 \text{ Н}\cdot\text{м} \pm 50 \text{ Н}\cdot\text{м}$) и срок службы 8000 часов (пиковый срок службы $8500 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, стандарт испытаний ISO 3685) в ветроэнергетике и особенно подходит для коробок передач (скорость $3000 \text{ об/мин} \pm 100 \text{ об/мин}$). Надежность и долговечность (амплитуда вибрации $<0,05 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$) повышаются за счет термической обработки (такой как цементация, глубина цементации $0,2 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, твердость HV 2000 ± 50) и антиусталостного покрытия (толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, усталостная долговечность $> 10^6$ циклов). Широко используется в ветроэнергетическом оборудовании Vestas в Дании, в будущем срок службы может быть увеличен до $9000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$ за счет покрытия PVD AlCrN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

из карбида вольфрама

-кобальта-титана (WC-Co-TiC , содержание Co $6\%-10\% \pm 1\%$, содержание TiC $2\%-5\% \pm 0,5\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) выдерживают давление 350 бар в турбинах (стандарт испытаний ISO 4126, время испытания под давлением $10 \text{ минут} \pm 1 \text{ минута}$) со сроком службы 7000 часов (пиковый показатель $7500 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходят для сред с потоком воды под высоким давлением (скорость потока воды $10 \text{ м/с} \pm 1 \text{ м/с}$). Уплотнительный эффект

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

оптимизирован (скорость утечки $<0,005$ мл/мин $\pm 0,001$ мл/мин) за счет многоступенчатой конструкции уплотнения (ширина уплотнительной поверхности 2 мм $\pm 0,2$ мм, контактное давление 50 МПа ± 5 МПа) и коррозионно-стойкого покрытия (толщина 5 мкм ± 1 мкм, стойкость к соляному туману 1000 часов ± 100 часов). Он широко используется на гидроэлектростанциях в Швейцарских Альпах, и в будущем срок службы может быть увеличен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiN (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

карбида вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni $12\% -15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5$ мкм $\pm 0,1$ мкм, плотность $14,9-15,3$ г/см³ $\pm 0,1$ г/см³) имеют частоту вибрации 700 Гц в ветряных турбинах (стандарт испытаний ISO 10816, амплитуда вибрации $<0,03$ мм $\pm 0,005$ мм), срок службы 6000 часов (пик 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходят для башен с большими вибрациями (высота 100 м ± 10 м). Благодаря конструкции демпфирования (коэффициент демпфирования $0,2\pm 0,02$, стандарт испытаний ASTM E756) и поверхностному упрочнению (глубина слоя закалки $0,3$ мм $\pm 0,03$ мм, твердость HV 2000 ± 50) улучшается рассеивание энергии (скорость поглощения энергии $80\%\pm 5\%$) и долговечность (сопротивление скорости ветра 60 м/с ± 5 м/с). Он широко используется на ветряной электростанции Iberdrola в Испании. В будущем срок службы может быть увеличен до 7000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD Al₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

вольфрама

и кобальта хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC $1-3$ мкм $\pm 0,2$ мкм, плотность $15,2-15,6$ г/см³ $\pm 0,1$ г/см³) имеют срок службы 9000 часов (пиковый 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) на гидроэлектростанциях, что снижает частоту технического обслуживания на 12% (цикл технического обслуживания 12 месяцев ± 1 месяц) и особенно подходят для направления потока воды (скорость потока воды 10 м/с ± 1 м/с). Благодаря антикоррозионному покрытию (например, TiCN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, стойкость к соляному туману 1000 часов ± 100 часов) и оптимизации микроструктуры (размер зерна $0,5$ мкм $\pm 0,05$ мкм, проверка рентгеновской дифракцией) улучшены стабильность и долговечность (скорость износа $<0,02$ мм³ / Н · м $\pm 0,005$ мм³ / Н · м). Широко используется на канадской гидроэлектростанции Лаваль, в будущем срок службы может быть увеличен до $10\ 000$ часов ± 500 часов за счет покрытия PVD ZrO₂ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

из сплава карбида вольфрама и кобальта

(WC-Co, содержание Co $6\%-10\%\pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5$ мкм $\pm 0,1$ мкм, плотность $15,0-15,4$ г/см³ $\pm 0,1$ г/см³) имеют предел прочности на разрыв 1600 МПа (стандарт испытаний ASTM E8, удлинение $<1\%$) и срок службы $12\ 000$ часов (пик $13\ 000$ часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9) в системах слежения за солнцем и особенно подходят для механизмов динамической регулировки (угол регулировки $\pm 45^\circ \pm 5^\circ$). Долговечность (сопротивление скорости ветра 40 м/с ± 5 м/с) повышается за счет защитного покрытия (например, Ni-Cr, толщина 5 мкм ± 1 мкм, сильная коррозионная стойкость) и противоусталостной конструкции (усталостная долговечность $> 10^6$ циклов, амплитуда

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

напряжения 300 МПа ± 30 МПа). Широко используемый в проекте солнечной электростанции Мохаве в США, срок службы может быть продлен до 14 000 часов ± 1000 часов в будущем за счет покрытия PVD TiAlN (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Твердосплавный пылезащитный чехол

из карбида вольфрама-титана (WC- TiC, содержание TiC 5%-10% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) используется в ветроэнергетическом оборудовании для защиты от ветровой и песчаной эрозии (скорость ветра 60 м/с ± 5 м/с, концентрация песка 5 г/м³ ± 0,5 г/м³), со сроком службы 8000 часов (пик 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходит для ветровых электростанций в пустыне (температура 50 °C ± 5 °C). Благодаря многослойному покрытию (например, TiO₂, толщина 5 мкм ± 1 мкм, стойкость к УФ-излучению 5000 часов ± 500 часов) и поверхностному упрочнению (глубина слоя упрочнения 0,3 мм ± 0,03 мм, твердость HV 2000 ± 50), износостойкость (скорость износа < 0,02 мм³ / Н · м ± 0,005 мм³ / Н · м) и долговечность (стойкость к термоциклированию от -50 °C до 50 °C, 1000 раз ± 100 раз) улучшаются. Широко используется в ветряных электростанциях Саудовской Аравии, в будущем срок службы может быть увеличен до 9000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD Al₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).



Детали из карбида для горнодобывающего и угольного оборудования

вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеют ударную вязкость 2200 Дж/см² (стандарт испытаний ASTM E23, энергия удара 100 Дж ± 10 Дж) в шахтах, срок службы 6000 часов (пик 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и снижение скорости износа на 22% (глубина износа < 0,02 мм ± 0,005 мм), и особенно подходят для дробления твердых пород (твердость HV 800±50). Благодаря термической обработке (закалка 1200°C±20°C,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

выдержка 1 час) и износостойкому покрытию (например, WC-15Co, толщина 10 мкм±1 мкм , твердость HV 2000±50) повышается усталостная прочность (усталостная долговечность>10⁵ циклов, стандарт испытаний ASTM E466). Широко используемое в австралийской железной руде (размер частиц дробления 50 мм±5 мм, повышение эффективности 15%±2%), в будущем PVD покрытие TiAlN (толщина 10 мкм±1 мкм , твердость HV 2500±100) может быть использовано для продления срока службы до 7000 часов±500 часов, а скорость износа может быть снижена до 0,015 мм±0,005 мм.

Скорость резания режущей головки из

карбида вольфрама и кобальта титана (WC-Co- TiC , содержание Co 6% -10% ± 1%, содержание TiC 2% -5% ± 0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) может достигать 180 м/мин (пиковое значение 200 м/мин ± 10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об ± 0,01 мм/об) при добыче угля, а срок службы может достигать 4500 часов (пиковое значение 5000 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685), а эффективность повышается на 18% (эффективность резки 90% ± 5%), что особенно подходит для толстых угольных пластов (уголь Толщина шва 2 м ± 0,2 м). За счет наноупрочнения (содержание нано WC 5% ± 0,5%, размер частиц < 100 нм) и модификации поверхности (глубина слоя закалки 0,3 мм ± 0,03 мм) оптимизируется износостойкость (скорость износа < 0,03 мм³ / Н · м ± 0,01 мм³ / Н · м, стандарт испытаний ASTM G65). Широко используется на угольных месторождениях Шаньси в Китае (глубина резки 10 мм ± 1 мм, увеличение производительности 10% ± 1%). В будущем лазерная наплавка (мощность 2 кВт ± 0,2 кВт, скорость сканирования 500 мм/мин ± 50 мм/мин) может быть использована для продления срока службы до 5000 часов ± 500 часов, а эффективность может быть увеличена до 20% ± 2%.

карбида вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет срок службы 7000 часов (пиковый показатель 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и прочность на сжатие 1600 МПа (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин ± 0,1 мм/мин) при бурении твердых пород и особенно подходит для глубоких месторождений (глубина 2000 м ± 200 м). Прочность повышается (энергия удара 100 Дж/см² ± 10 Дж/см², стандарт испытаний ASTM E23) за счет плазменного напыления (например, WC-15Co, толщина 10 мкм ± 1 мкм , адгезия > 40 МПа, испытание на отрыв ASTM D4541) и антикоррозионного покрытия (сопротивление потере веса 5% NaCl < 0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²) . Широко используется в чилийских медных рудниках (диаметр бурения 150 мм ± 10 мм, повышение эффективности 12% ± 1%). В дальнейшем срок службы может быть увеличен до 8000±500 часов за счет нанесения покрытия PVD AlCrN (толщина 10 мкм±1 мкм, твердость HV 2200±100), а прочность на сжатие может быть увеличена до 1800 МПа±50 МПа.

вольфрама

и кобальта и хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм , плотность 15,2-15,6

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

г/см³ ± 0,1 г/см³) имеют срок службы 8000 часов (пиковый показатель 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) при переработке полезных ископаемых, что снижает затраты на техническое обслуживание на 12% (цикл обслуживания 12 месяцев ± 1 месяц) и особенно подходят для руд высокой твердости (твердость HV 1000 ± 50). Благодаря градиентному материалу (градиент содержания Co 0,5%-1%/мм, толщина 10 мм ± 1 мм) и поверхностному упрочнению (глубина слоя упрочнения 0,3 мм ± 0,03 мм, твердость HV 2000 ± 50) улучшаются характеристики сжатия (сопротивление сжатию 1000 МПа ± 50 МПа, стандарт испытаний ASTM E9). Широко используется на золотых рудниках Южной Африки (производительность переработки 500 тонн/час ± 50 тонн/час). В будущем срок службы может быть увеличен до 9000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiN (толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50), а расходы на техническое обслуживание могут быть снижены до 10% ± 1%.

вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) зубьев ковша из цементированного карбида имеет срок службы 6000 часов (пиковый 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) в экскаваторах, а его ударопрочность улучшена на 35% (энергия удара 100 Дж/см² ± 10 Дж/см², стандарт испытаний ASTM E23), что особенно подходит для горнодобывающих работ (глубина копания 5 м ± 0,5 м). Прочность оптимизирована (скорость износа <0,02 мм³/Н·м ± 0,005 мм³/Н·м, стандарт испытаний ASTM G65) за счет композитных структур (таких как слои WC-Co и SiC, толщина 5 мм ± 0,5 мм) и коррозионно-стойких покрытий (сопротивление потере веса 5% NaCl <0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²). Широко используется в австралийской железной руде (эффективность добычи увеличена на 15% ± 2%), в будущем покрытие PVD AlTiN (толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2500 ± 100) может использоваться для продления срока службы до 7000 часов ± 500 часов, а ударопрочность может быть увеличена до 40% ± 2%.

Твердосплавная ситообразная пластина

из карбида вольфрама-титана (WC- TiC, содержание TiC 5%-10% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет срок службы 7000 часов (пиковый показатель 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) при просеивании, точность пор ± 0,008 мм (измерено лазерным интерферометром, разрешение 0,001 мм) и особенно подходит для тонкого просеивания (отверстие 0,5 мм ± 0,05 мм). Эффективность просеивания (степень просеивания 95% ± 5%) улучшена за счет многослойной конструкции (толщина 10 мм ± 1 мм, градиент содержания TiC 0,5% -1 %/мм) и антикоррозионного покрытия (например, Cr₃C₂, толщина 5 мкм ± 1 мкм, стойкость к соляному туману 1000 часов ± 100 часов). Широко используется в бразильских бокситах (размер частиц просеивания 0,5 мм ± 0,05 мм, повышение эффективности 10% ± 1%), в будущем срок службы может быть продлен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD ZrO₂ (толщина 10 мкм ± 1 мкм, термостойкость 1200°C ± 20°C), а точность может быть улучшена до ± 0,006 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

карбида вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет глубину резания 6 мм ± 0,5 мм в угольных пластах и срок службы 4500 часов (пиковая нагрузка 5000 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685), что особенно подходит для добычи тонких угольных пластов (толщина угольного пласта 1 м ± 0,1 м). Эффективность резки (скорость резки 150 м/мин ± 10 м/мин) улучшается за счет полировки поверхности (шероховатость поверхности Ra 0,2 мкм ± 0,01 мкм, стандарт испытаний ISO 4287) и износостойкого покрытия (например, TiCN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2500 ± 100). Широко используемое в китайском угольном месторождении Шаньси (эффективность резки увеличилась на 12% ± 1%), в будущем лазерная наплавка (мощность 1,5 кВт ± 0,2 кВт, скорость сканирования 400 мм/мин ± 50 мм/мин) может использоваться для продления срока службы до 5000 часов ± 500 часов, а глубина резки может достигать 7 мм ± 0,5 мм.

вольфрама

-кобальта-титана (WC-Co- TiC, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) в дробилках могут выдерживать удары 1600 Дж/см² (стандарт испытаний ASTM E23, энергия удара 100 Дж ± 10 Дж) и имеют срок службы 6000 часов (пик 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходят для дробления руды (твердость руды HV 1000±50). Прочность повышается (скорость износа <0,02 мм³/Н·м ± 0,005 мм³/Н· м) за счет термообработки (закалка 1200°C±20°C, выдержка в течение 1 часа) и антиусталостного покрытия (толщина 5 мкм±1 мкм, усталостная долговечность > 10⁵ циклов, стандарт испытаний ASTM E466). Широко используется в чилийских медных рудниках (эффективность дробления увеличена на 10%±1%) , и в будущем покрытие PVD AlCrN (толщина 10 мкм±1 мкм, твердость HV 2200±100) может использоваться для продления срока службы до 7000 часов±500 часов, а ударопрочность может быть увеличена до 1800 Дж/см² ± 50 Дж/см².

Конвейерные ролики из карбида вольфрама,

изготовленные из кобальт-хромового сплава (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³), имеют срок службы 9000 часов (пиковый показатель 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) в ленточных конвейерах, что снижает частоту технического обслуживания на 18% (цикл технического обслуживания 12 месяцев ± 1 месяц) и особенно подходят для транспортировки с высокой нагрузкой (нагрузка 500 кг ± 50 кг). Антикоррозионные покрытия (например, TiCN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, стойкость к соляному туману 1000 часов ± 100 часов) и поверхностное упрочнение (глубина слоя закалки 0,3 мм ± 0,03 мм, твердость HV 2000 ± 50) улучшают стабильность (амплитуда вибрации < 0,05 мм ± 0,01 мм, стандарт испытаний ISO 10816). Широко используемое на южноафриканских золотых рудниках (эффективность транспортировки увеличена на 15% ± 2%), в будущем покрытие PVD ZrO₂ (толщина 10 мкм ± 1 мкм,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

термостойкость $1300^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$) может быть использовано для продления срока службы до 10 000 часов ± 500 часов и снижения частоты технического обслуживания до $15\% \pm 1\%$.

Оболочка твердосплавного бурового долота

из сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni $12\% - 15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), оболочка имеет срок службы 7000 часов (пиковый показатель 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) при бурении, высокую коррозионную стойкость (потеря веса $10\% \text{ NaCl} < 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$), особенно подходит для водоносных пластов (содержание воды $20\% \pm 2\%$). Ударопрочность (энергия удара $100 \text{ Дж/см}^2 \pm 10 \text{ Дж/см}^2$, стандарт испытаний ASTM E23) улучшается за счет композитных материалов (таких как слои WC-Ni и SiC, толщина 5 мм $\pm 0,5 \text{ мм}$) и модификации поверхности (глубина слоя закалки $0,3 \text{ мм} \pm 0,03 \text{ мм}$). Широко используется в канадских шахтах по добыче нефтяных песков (глубина бурения $1000 \text{ м} \pm 100 \text{ м}$, повышение эффективности $10\% \pm 1\%$). В будущем срок службы может быть увеличен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2500 ± 100), а коррозионная стойкость может быть улучшена до $< 0,02 \text{ мг/см}^2 \pm 0,005 \text{ мг/см}^2$.

Направляющая лента конвейерной ленты из карбида вольфрама (направляющая пластина)

сплав карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC $1-3 \text{ мкм} \pm 0,2 \text{ мкм}$, содержание Co $12\% \pm 1\%$, содержание Cr $4\% \pm 0,5\%$, плотность $15,2-15,6 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$). Направляющая лента имеет срок службы 8000 часов в системе конвейерной ленты (пиковая 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) и ударопрочность 1200 Дж/см^2 (стандарт испытаний ASTM E23, энергия удара $80 \text{ Дж} \pm 10 \text{ Дж}$), что особенно подходит для транспортировки материалов с высокой нагрузкой (нагрузка $600 \text{ кг} \pm 50 \text{ кг}$, скорость $2 \text{ м/с} \pm 0,2 \text{ м/с}$). Благодаря плазменному напылению (скорость напыления $> 1300 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$, мощность $40 \text{ кВт} \pm 2 \text{ кВт}$, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, адгезия $> 50 \text{ МПа}$) и поверхностному упрочнению (глубина слоя упрочнения $0,2 \text{ мм} \pm 0,02 \text{ мм}$, твердость HV 2000 ± 50) оптимизированы долговечность (скорость износа $< 0,03 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$, стандарт испытаний ASTM G65) и коррозионная стойкость (сопротивление потере веса $5\% \text{ NaCl} < 0,04 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$). Широко используется в конвейерных лентах железной руды в Австралии (расстояние транспортировки $5 \text{ км} \pm 0,5 \text{ км}$, повышение эффективности $12\% \pm 1\%$). В будущем срок службы может быть увеличен до 9000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD CrN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2200 ± 100), а ударопрочность может быть улучшена до $1400 \text{ Дж/см}^2 \pm 50 \text{ Дж/см}^2$.

Кобальт-титановые полосы для производства песка (WC-Co-

TiC, содержание Co $6\%-10\% \pm 1\%$, содержание TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) имеют скорость резания 200 м/мин (пиковая $220 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$, скорость подачи $0,15 \text{ мм/об} \pm 0,01 \text{ мм/об}$) в машине для производства песка и срок службы 5000 часов (пиковая $5500 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, стандарт испытаний ISO 3685), что особенно подходит для песка и гравия высокой твердости

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(твердость HV 900±50). Благодаря горячему изостатическому прессованию (HIP, 1400°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, сохранение тепла в течение 2-4 часов) и износостойкому покрытию (например, TiAlN, толщина 10 мкм±1 мкм, твердость HV 2500±100) повышается износостойкость (скорость износа <0,025 мм³/Н·м±0,005 мм³/Н·м, стандарт испытаний ASTM G65) и усталостная прочность (усталостная долговечность>10⁵ циклов, стандарт испытаний ASTM E466). Широко используется в линиях по производству песка (производительность 500 тонн/час±50 тонн/час, повышение эффективности 15%±2%). В перспективе возможно применение лазерной поверхностной переплавки (мощность 2,5 кВт±0,2 кВт, измельчение зерна до 0,2 мкм±0,05 мкм), что позволит продлить срок службы до 6000±500 часов, а эффективность резки повысить до 18%±2%.

вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co 8% -12% ± 1%, размер частиц WC 0,8-2,0 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) зубьев из цементированного карбида имеет срок службы 6500 часов (пиковый показатель 7000 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и ударопрочность 1500 Дж/см² (стандарт испытаний ASTM E23, энергия удара 90 Дж ± 10 Дж) в буровых установках для угольных шахт и особенно подходит для глубокого бурения угольных пластов (глубина 1500 м ± 150 м). Благодаря плазменному напылению (например, WC-10Co4Cr, толщина 15 мкм ± 1 мкм, адгезия> 60 МПа, испытание на отрыв ASTM D4541) и поверхностному упрочнению (глубина слоя закалки 0,25 мм ± 0,02 мм, твердость HV 2200 ± 50) улучшается долговечность (скорость износа < 0,02 мм³ / Н · м ± 0,005 мм³ / Н · м, стандарт испытания ASTM G65) и коррозионная стойкость (сопротивление потере веса 10% NaCl < 0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²). Широко используется при добыче угольного метана в Шаньси, Китай (диаметр бурения 120 мм ± 10 мм, повышение эффективности 10% ± 1%). В будущем срок службы может быть увеличен до 7500 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiCN (толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2500 ± 100), а ударопрочность может быть повышена до 1700 Дж/см² ± 50 Дж/см².

Резец из карбида вольфрама , кобальта, карбида титана (WC-Co-

TiC , содержание Co 6% -10% ± 1%, содержание TiC 3% -6% ± 0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет скорость резания 160 м/мин (пиковая 180 м/мин ± 10 м/мин, скорость подачи 0,12 мм/об ± 0,01 мм/об) и срок службы 5000 часов (пиковая 5500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) в угледобывающих машинах и особенно подходит для толстых угольных пластов (толщина угольного пласта 2,5 м ± 0,2 м). Благодаря горячему изостатическому прессованию (HIP, 1350°C±20°C, 180 МПа±10 МПа, температура выдержки в течение 2 часов) и износостойкому покрытию (например, Cr₃C₂, толщина 8 мкм±1 мкм, твердость HV 2000±50) повышается износостойкость (скорость износа <0,025 мм³/Н·м±0,005 мм³/Н·м, стандарт испытаний ASTM G65) и усталостная прочность (усталостная долговечность>10⁵ циклов, стандарт испытаний ASTM E466). Он широко используется на угольном месторождении Квинсленд в Австралии (глубина резания 12 мм±1 мм, увеличение производительности 12%±1%). В перспективе лазерная наплавка (мощность 2 кВт±0,2 кВт, скорость сканирования 600

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мм/мин±50 мм/мин) может продлить срок службы до 6000 часов±500 часов, а эффективность резки может быть повышена до 15%±2%.

вольфрама

и никеля (WC-Ni, содержание Ni 10% -14% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) для зубьев резцов из цементированного карбида для угольных комбайнов имеет срок службы 5500 часов (пиковый 6000 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и ударопрочность 1300 Дж/см² (стандарт испытаний ASTM E23, энергия удара 80 Дж ± 10 Дж), что особенно подходит для сложных угольных пластов (твердость HV 600 ± 50). Благодаря полировке поверхности (шероховатость поверхности Ra 0,25 мкм ± 0,01 мкм, стандарт испытаний ISO 4287) и антикоррозионному покрытию (например, TiAlN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2300 ± 100) повышается эффективность резки (скорость резки 140 м/мин ± 10 м/мин) и долговечность (скорость износа < 0,03 мм³ / Н · м ± 0,01 мм³ / Н · м, стандарт испытаний ASTM G65). Он широко используется в угольных шахтах Западной Вирджинии в Соединенных Штатах (глубина резки 10 мм ± 1 мм, повышение эффективности 10% ± 1%). В будущем срок службы может быть увеличен до 6500±500 часов за счет покрытия PVD AlCrN (толщина 10 мкм±1 мкм, твердость HV 2200±100), а ударопрочность может быть повышена до 1500 Дж/см² ± 50 Дж/см².

карбида вольфрама

и кобальта с хромом (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-2 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеют срок службы 7000 часов (пиковый 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) и прочность на сжатие 1800 МПа (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин ± 0,1 мм/мин) в проходческих машинах угольных шахт и особенно подходят для твердых угольных пластов (твердость HV 800 ± 50). Благодаря градиентному материалу (градиент содержания Co 0,5%-1%/мм, толщина 12 мм ± 1 мм) и плазменному напылению (скорость напыления > 1200 м/с ± 50 м/с, толщина 10 мкм ± 1 мкм, адгезия > 50 МПа) оптимизируются износостойкость (скорость износа < 0,02 мм³/Н·м ± 0,005 мм³/Н·м, стандарт испытаний ASTM G65) и стабильность. Он широко используется при выемке угольных пластов во Внутренней Монголии, Китай (скорость выемки 5 м/ч ± 0,5 м/ч, повышение эффективности на 12% ± 1%). В дальнейшем срок службы может быть увеличен до 8000±500 часов за счет покрытия PVD ZrO₂ (толщина 10 мкм±1 мкм, термостойкость 1300°C±20°C), а сопротивление давлению может быть увеличено до 2000 МПа±50 МПа.

Карбид вольфрама

-кобальт-титана (WC-Co- TiC, содержание Co 8% -12% ± 1%, содержание TiC 4% -8% ± 0,5%, размер частиц WC 0,5-2,0 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) молотковая головка дробилки из цементированного карбида имеет ударопрочность 2000 Дж/см² (стандарт испытаний ASTM E23, энергия удара 100 Дж ± 10 Дж) и срок службы 6000 часов (пик 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), и особенно подходит для дробления угольной пустой породы (твердость HV 700 ± 50). Благодаря термической

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обработке (закалка $1250^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$, выдержка 1,5 часа) и износостойкому покрытию (например, WC-10Co4Cr, толщина $12 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2100 ± 50) повышается усталостная прочность (усталостная долговечность $> 10^5$ циклов, стандарт испытаний ASTM E466) . Широко используется в индийском дроблении коксующегося угля (производительность переработки $400 \text{ тонн/час} \pm 50 \text{ тонн/час}$, повышение эффективности $10\% \pm 1\%$), в будущем покрытие PVD TiN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2000 ± 50) может использоваться для продления срока службы до $7000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, а ударопрочность может быть улучшена до $2200 \text{ Дж/см}^2 \pm 50 \text{ Дж/см}^2$.

из никель-хромового сплава

(WC-Ni-Cr, содержание Ni $10\% - 15\% \pm 1\%$, содержание Cr $4\% \pm 0,5\%$, размер частиц WC $0,8 - 1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0 - 15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) имеют срок службы до износа 8000 часов (пиковый срок службы $8500 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, стандарт испытаний ISO 3685) и предел прочности на разрыв 1200 МПа (стандарт испытаний ASTM E8, скорость нагрузки $2 \text{ мм/мин} \pm 0,2 \text{ мм/мин}$) в звездочках скребковых конвейеров угольных шахт и особенно подходят для транспортировки больших грузов (нагрузка $800 \text{ кг} \pm 50 \text{ кг}$, скорость $1,5 \text{ м/с} \pm 0,2 \text{ м/с}$). Благодаря плазменному напылению (например, Cr₃C₂ - NiCr , толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, адгезия $> 50 \text{ МПа}$) и поверхностному упрочнению (глубина слоя закалки $0,3 \text{ мм} \pm 0,03 \text{ мм}$, твердость HV 2000 ± 50) повышается прочность и коррозионная стойкость (сопротивление потере веса $5\% \text{ NaCl} < 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$) . Широко используется в угольном бассейне Кузбасса в России (расстояние транспортировки $3 \text{ км} \pm 0,3 \text{ км}$, повышение эффективности $12\% \pm 1\%$). В перспективе возможно использование покрытия PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость HV 2500 ± 100) для продления срока службы до $9000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$, а предел прочности на разрыв может быть увеличен до $1400 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Детали из цементированного карбида для химического и природоохранного оборудования

Сплав карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 6% -10% ± 1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) **футеровка реактора из цементированного карбида**

может выдерживать кислотную коррозию при температуре 250 °C в химических реакциях (20% H₂SO₄ потеря веса <0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см², время воздействия 500 часов), срок службы 8000 часов (пик 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), снижает скорость эрозии на 12% (глубина эрозии <0,01 мм ± 0,001 мм), особенно подходит для сильноокислой среды (концентрация кислоты 20% ± 2%). Благодаря многослойной структуре (толщина 10 мм ± 1 мм, градиент содержания Co 0,5% -1% / мм) и антикоррозионному покрытию (например, Cr₃C₂, толщина 5 мкм ± 1 мкм, сильная коррозионная стойкость) улучшены долговечность и химическая коррозионная стойкость (стойкость к циклу нагрева от -50 °C до 250 °C, 1000 раз ± 100 раз). Он широко используется на химических заводах BASF в Германии. В будущем срок службы может быть увеличен до 9000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD Al₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Карбидная мешалка, изготовленная из

сплава карбида вольфрама-кобальта-хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³), имеет срок службы 7000 часов (пиковое значение 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) при очистке сточных вод, а ее

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

коррозионная стойкость на 25% выше, чем у титанового сплава Ti-6Al-4V (стойкость к потере веса 10% HCl < 0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²), что особенно подходит для высококонцентрированных сточных жидкостей (рН сточной жидкости 1-3 ± 0,5). Оптимизированная эффективность перемешивания (скорость перемешивания 100 об./мин ± 10 об./мин) за счет поверхностного упрочнения (глубина слоя упрочнения 0,3 мм ± 0,03 мм, твердость HV 2000 ± 50) и нанопокрывтия (например, WC- TiC , размер частиц <100 нм, содержание 5% ± 0,5%). Широко используется на китайских очистных сооружениях, в будущем срок службы может быть продлен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiN (толщина 10 мкм ± 1 мкм) .

вольфрама-

титана (WC- TiC , содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) может выдерживать высокотемпературную коррозию в системе десульфурации (температура 200°C±20°C, потеря веса 20% SO₂ <0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²), срок службы до 6000 часов (пик 6500 часов ±500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), точность фильтрации ±0,008 мм (измерено лазерным интерферометром, разрешение 0,001 мм), особенно подходит для очистки дымовых газов (расход дымовых газов 100 м³/ч ± 10 м³ / ч). Долговечность улучшена (стойкость к циклу нагрева от -50°C до 200°C, 1000 раз ±100 раз) за счет пористой конструкции (пористость 10% ±1%, размер пор 0,5 мм ±0,05 мм) и антиокислительного покрытия (например, Cr₂O₃ , толщина 5 мкм ±1 мкм, термостойкость 300°C ±20°C). Он широко используется на японских тепловых электростанциях, и в будущем срок службы может быть увеличен до 7000 часов ±500 часов за счет покрытия PVD ZrO₂ (толщина 10 мкм ±1 мкм) .

Форсунки из карбида никеля (WC-Ni, содержание Ni 12%-15%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживают **температуру 350 °C в распылительном оборудовании (теплопроводность**

50 Вт/м·К±5 Вт/м·К), имеют срок службы 4500 часов (пик 5000 часов ±500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) и имеют повышение эффективности на 12% (расход распыления 10 л/мин ±1 л/мин) и особенно подходят для распыления катализаторов (размер частиц 10 мкм ±1 мкм). Благодаря конструкции внутреннего охлаждения (диаметр канала 1 мм ± 0,1 мм, расход охлаждающей воды 2 л/мин ± 0,2 л/мин) и термостойкому покрытию (например, TiCN , толщина 5 мкм ± 1 мкм, термостойкость 400°C ± 20°C) повышается термостойкость (термический цикл от -50°C до 350°C, 1000 раз ± 100 раз). Он широко используется на химическом заводе Dow в США. В будущем срок службы может быть увеличен до 5000 часов ± 500 часов с помощью лазерной наплавки (мощность 1,5 кВт ± 0,2 кВт).

твердосплавная пластина из карбида

вольфрама кобальта титана (WC-Co- TiC , содержание Co 6% -10% ± 1%, содержание TiC 2% -5% ± 0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживает температуру 2200 °C в мусоросжигательной печи (теплопроводность 50 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К), со сроком службы 9000 часов (пик 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM E9), снижая скорость износа на 18 % (глубина износа $< 0,02 \text{ мм} \pm 0,005 \text{ мм}$) и особенно подходит для высокотемпературного сжигания (температура сжигания $2000 \text{ °C} \pm 50 \text{ °C}$). Сопротивление термической усталости (термический цикл от -50°C до 2200°C , 1000 раз ± 100 раз) улучшено за счет градиентного материала (градиент содержания Co $0,5\%-1\%/мм$, толщина $10 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$) и модификации поверхности (глубина слоя закалки $0,3 \text{ мм} \pm 0,03 \text{ мм}$, твердость HV 2000 ± 50). Он широко используется на немецких мусоросжигательных заводах, и в будущем срок службы может быть увеличен до 10 000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD HfO_2 (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

Сердечник клапана из цементированного карбида, изготовленный из

сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co $6\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$), выдерживает давление 600 бар в химических трубопроводах (стандарт испытаний ISO 4126, время испытания под давлением 10 минут ± 1 минута) со сроком службы 7000 часов (пиковый показатель 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходит для жидкостей под высоким давлением (давление жидкости 500 бар ± 50 бар). Надежность оптимизирована (скорость утечки $< 0,01 \text{ мл/мин} \pm 0,001 \text{ мл/мин}$) за счет многоступенчатой конструкции уплотнения (ширина уплотнительной поверхности $2 \text{ мм} \pm 0,2 \text{ мм}$, контактное давление $50 \text{ МПа} \pm 5 \text{ МПа}$) и антикоррозионного покрытия (например, CrN, толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, устойчивость к потере веса $10\% \text{ HCl} < 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$). Широко используется на нефтеперерабатывающем заводе Saudi Aramco, в будущем срок службы может быть продлен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

вольфрама

и никеля (WC-Ni, содержание Ni $12\% -15\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $14,9-15,3 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) имеют срок службы 6000 часов (пиковый 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685) при обработке шлама и особенно подходят для шлама с высокой вязкостью (вязкость $500 \text{ сП} \pm 50 \text{ сП}$). Эффективность соскабливания (скорость соскабливания $10 \text{ м/мин} \pm 1 \text{ м/мин}$) повышается за счет полировки поверхности (шероховатость поверхности Ra $0,2 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$, стандарт испытаний ISO 4287) и антикоррозионного покрытия (например, TiCN, толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, устойчивость к потере веса $10\% \text{ NaCl} < 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$). Широко используемая на японских очистных сооружениях, в будущем лазерная наплавка (мощность $1,5 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$) может быть использована для продления срока службы до 7000 часов ± 500 часов.

из карбида вольфрама-титана (WC- TiC, содержание TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) **имеют теплопроводность $100 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \pm 5 \text{ Вт/}$**

м·К в высокотемпературных реакторах и срок службы 8000 часов (пик 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), что особенно подходит для термохимических реакций (температура реакции $300\text{°C} \pm 20\text{°C}$). Эффективность теплопередачи (эффективность теплообмена $90\% \pm 5\%$) оптимизирована за счет микроканальной структуры (диаметр канала

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,5 мм ± 0,05 мм, плотность 20/см² ± 2/см²) и высокотемпературного покрытия (например, Cr₂O₃, толщина 5 мкм ± 1 мкм, термостойкость 400°C ± 20°C). Широко используется на заводах Dow Chemical в Соединенных Штатах, срок службы может быть продлен до 9000 часов ± 500 часов в будущем за счет покрытия PVD Al₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Антикоррозионное покрытие из цементированного карбида из

сплава карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет потерю веса <0,08 мг/см² ± 0,01 мг/см² при опреснении морской воды (стандарт испытаний ASTM G31, время воздействия 500 часов) и срок службы 9000 часов (пик 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), что особенно подходит для оборудования обратного осмоса (соленость 3,5% ± 0,5%). Долговечность (1000 ± 100 циклов коррозии) и коррозионная стойкость (потеря веса 10% NaCl < 0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см²) повышаются за счет технологии самовосстанавливающегося покрытия (например, WC-Co, содержащего WS₂, толщина 5 мкм ± 1 мкм, коэффициент трения 0,1 ± 0,02) и нанопокрyтия (например, WC-TiC, размер частиц < 100 нм, содержание 5% ± 0,5%). Широко используется на опреснительной установке Джебель-Али в ОАЭ. В будущем срок службы может быть увеличен до 10 000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD ZrO₂ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

вольфрама

-кобальта-титана (WC-Co-TiC, содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживают температуру 1600 °C в системе сжигания (теплопроводность 50 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К), имеют срок службы 7000 часов (пик 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходят для высокотемпературной обработки выхлопных газов (расход выхлопных газов 100 м³/ч ± 10 м³/ч). Термостойкость (цикл нагрева от -50°C до 1600°C, 1000 раз ± 100 раз) оптимизирована за счет антиокислительного покрытия (например, Cr₂O₃, толщина 5 мкм ± 1 мкм, термостойкость 1800°C ± 50°C) и многослойной структуры (толщина 10 мм ± 1 мм, градиент содержания Co 0,5%-1%/мм). Широко используется на немецких мусоросжигательных заводах, в будущем срок службы может быть продлен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD HfO₂ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Примеры применения деталей из твердого сплава в энергетическом, химическом и природоохранном оборудовании

твердосплавных буровых коронок в сверхглубоких

скважинах составляет до 350 часов (пик 380 часов ± 30 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2), эффективность резки повышается на 25% (скорость резки 270 м/мин ± 10 м/мин), стойкость к коррозии CO₂ высокая (потеря веса <0,05 мг/см² ± 0,01 мг/см² при 1500 ppm CO₂), затраты на бурение снижаются на 35% (стоимость снижается до 800 долл. США/м ± 50 долл. США/м), а многослойное покрытие CrN (толщина 10 мкм ± 1 мкм) оптимизировано. Он широко используется в проектах сверхглубоких скважин Saudi Aramco (глубина скважины

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6500 м ± 500 м).

Карбидные

теплообменные трубки в ядерных реакторах имеют срок службы 9000 часов (пик 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), 12%-ное увеличение тепловой эффективности (эффективность теплообмена 90% ± 5%), отличную радиационную стойкость (коэффициент затухания 10^7 рад/ч 99,9% ± 0,1%), гарантируют безопасность реактора (температура 1600°C ± 50°C) и оптимизированы за счет микроканальных структур (плотность каналов 10/см² ± 1/см²). Они широко используются на АЭС Фламанвиль во Франции.

Седла клапанов из карбида в нефтяных и газовых скважинах

Седла клапанов из карбида в нефтяных и газовых скважинах выдерживают 12 000 часов без утечек (пик 13 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), стабильность давления ± 0,8 бар (стандарт испытаний ISO 4126), значительно снижают частоту технического обслуживания (цикл технического обслуживания 18 месяцев ± 1 месяц), улучшены за счет градиентной композитной конструкции (градиент содержания Со 0,5%-1%/мм). Широко используются в российском проекте Ямал СПГ.

карбидных ветровых лопастей в ветровых турбинах

составляет 18 000 часов (пик 19 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), что снижает затраты на техническое обслуживание на 12% (затраты снижены до 100 000 долл. США в год ± 10 000 долл. США в год), повышает эффективность морской ветроэнергетики (эффективность выработки электроэнергии 40% ± 2%) и оптимизируется с помощью покрытия HVOF WC-Co (толщина 10 мкм ± 1 мкм). Широко используется на ветряной электростанции Хорнси в Великобритании.

Карбидный дробитель в шахтах

Карбидный дробитель в шахтах может выдерживать удар 2200 Дж/см² (стандарт испытаний ASTM E23), срок службы до 6000 часов (пик 6500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), эффективность увеличена на 18% (эффективность дробления 90% ± 5%), улучшена эффективность добычи руды (производительность 100 тонн/час ± 10 тонн/час), улучшена за счет термообработки (закалка 1200°C ± 20°C). Широко используется в австралийской железной рудной промышленности.

Карбидные агитаторы в очистке сточных вод

имеют срок службы 7000 часов (пик 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ISO 3685), на 25% более высокую коррозионную стойкость (потеря веса при 10% HCl < 0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²), более низкие затраты на очистку сточных вод (стоимость до 5 долл. США/тонна ± 0,5 долл. США/тонна) и оптимизированы за счет поверхностного упрочнения (глубина слоя упрочнения 0,3 мм ± 0,03 мм). Широко используются на китайских очистных сооружениях.

13.2.3 Твердосплавный инструмент и инструменты, используемые в энергетическом

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

оборудовании и других отраслях промышленности

Эксплуатационные характеристики и технические преимущества твердосплавного инструмента и приспособлений

Твердость твердосплавных инструментов достигает HV 1900-2300±30 (пройдено испытание на твердость по Виккерсу ISO 6507-1, нагрузка 10 кг, время испытания 10-15 секунд, точность испытания ±0,5%), диапазон скоростей резания составляет 250-350 м/мин (пиковое значение может достигать 380 м/мин ±20 м/мин в зависимости от материала и условий охлаждения, таких как сухая резка или охлаждение смазочно-охлаждающей жидкостью 12 л/мин), а износостойкость составляет всего <0,04 мм³/Н·м ±0,01 мм³/Н·м (стандарт испытания ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка 10 Н±1 Н, скорость 0,1 м/с±0,01 м/с, цикл испытания 1000 раз), что намного превосходит инструменты с покрытием из твердого сплава (скорость резания 200 м/мин±10 м/мин, показатель износостойкости около 0,08 мм³/Н·м ± 0,02 мм³/Н·м).

При обработке материалов высокой твердости, таких как гранит (твердость HV 1000±50) или Inconel 625 (твердость HV 400±20), срок службы может достигать 300 часов (пик 320 часов ±20 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания 0,5 мм ±0,05 мм, скорость подачи 0,1 мм/об ±0,01 мм/об), сила резания снижается на 18% (измерено прибором для измерения силы резания, снижена до 110 Н ±10 Н, колебание крутящего момента <5%), низкий коэффициент трения <0,20 (стандарт испытаний ASTM G133, пара трения - стальной шарик, нагрузка 5 Н ±0,5 Н, расстояние скольжения 100 м ±10 м), что соответствует требованию допуска ±0,008 мм (проверено лазерным интерферометром, разрешение 0,001 мм, повторяемость измерений <0,002 мм), что обеспечивает высокую точность обработки, особенно подходит для сложных криволинейных поверхностей и тонкостенных конструкций.

Соппротивление деформации твердосплавных инструментов составляет >900 МПа (испытание на прочность на растяжение ASTM E8, размер образца 10 мм × 10 мм × 50 мм, удлинение <1%), и они все еще могут сохранять 75% твердости при высокой температуре 1100 °C ± 20 °C (HV 1900 падает до 1425 ± 50, измерено с помощью термомеханического анализа ТМА, скорость нагрева 5 °C/мин, время выдержки 2 часа), прочность сцепления 60-80 МПа (испытание на сдвиг ASTM D1002, площадь сдвига 100 мм² ± 5 мм²), а коррозионная стойкость лучше, чем у традиционной инструментальной стали (например, AISI D2, стойкость к потере веса 5% раствора NaCl <0,1 мг/см² ± 0,02 мг/см², время выдержки 500 часов). Благодаря технологии модификации поверхности (такой как покрытие CVD, толщина TiN 10-15 мкм ± 1 мкм, адгезия > 50 МПа, температура осаждения 900 °C ± 20 °C), микро-нано покрытия (такое как TiAlN, размер частиц < 100 нм, твердость HV 2500 ± 100, толщина 5-10 мкм ± 0,5 мкм) и термической обработки (закалка 1200 °C ± 20 °C, выдержка 1 час; отпуск 600 °C ± 10 °C, 2 часа), долговечность (срок службы увеличен на 20%, до 360 часов ± 30 часов), усталостная прочность (усталостная долговечность > 10⁶ циклов, амплитуда напряжения 300 МПа ± 30 МПа, стандарт испытаний ASTM E466) и высокая термостойкость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(устойчивость к $1200^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$, срок службы при термоциклировании >5000 раз, от -200°C до 1200°C , 100 циклов) дополнительно улучшены.

Эти характеристики позволяют ему хорошо работать в приложениях с высокой точностью, высокой нагрузкой и экстремальными условиями, особенно при обработке титановых сплавов, жаропрочных сплавов на основе никеля и композитных материалов. В будущем технология лазерной поверхностной переплавки может быть использована для оптимизации микроструктуры (измельчение зерна до $0,2\ \mu\text{m} \pm 0,05\ \mu\text{m}$, рентгеноструктурный анализ XRD), повышения износостойкости до $0,03\ \text{mm}^3 / \text{H} \cdot \text{m}$ и введения редкоземельных элементов (таких как Y_2O_3 , содержание $0,5\% \pm 0,1\%$) для повышения высокотемпературной стабильности и продления срока службы до $400\ \text{часов} \pm 30\ \text{часов}$, при этом снижая производственные затраты примерно на 10% (за счет уменьшения количества материалов покрытия).

Основные области применения и типы изделий из твердого сплава в энергетическом оборудовании и других отраслях промышленности

Твердосплавный режущий инструмент для энергетической промышленности

вольфрама и

кобальта (WC-Co, содержание Co $6\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5\ \mu\text{m} \pm 0,1\ \mu\text{m}$, плотность $15,0-15,4\ \text{г/см}^3 \pm 0,1\ \text{г/см}^3$) имеют скорость резания $200\ \text{м/мин}$ (пик $220\ \text{м/мин} \pm 10\ \text{м/мин}$, скорость подачи $0,1\ \text{мм/об} \pm 0,01\ \text{мм/об}$, осевую глубину резания $0,3\ \text{мм} \pm 0,03\ \text{мм}$) при бурении нефтяных скважин, срок службы $300\ \text{часов}$ (пик $320\ \text{часов} \pm 20\ \text{часов}$, стандарт испытаний ISO 8688-2), шероховатость поверхности Ra $0,3\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$ (измерено поверхностным профилометром, длина резания $10\ \text{мм} \pm 1\ \text{мм}$) и особенно подходят для твердых формации (твердость HV 800 ± 50 , такие как песчаник или гранит). Изготовлены методом искрового плазменного спекания (SPS, $1400^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, $50\ \text{МПа} \pm 1\ \text{МПа}$, время выдержки $10\ \text{мин} \pm 1\ \text{мин}$), пористость $<0,1\% \pm 0,01\%$ (измерено методом ртутной пенетрации, размер пор $<1\ \mu\text{m}$), что обеспечивает высокую точность сверления (допуск диаметра $\pm 0,008\ \text{мм}$, погрешность круглости $<0,005\ \text{мм}$). Широко используется при бурении нефтяных месторождений Saudi Aramco (размер пор $6\ \text{мм} \pm 0,1\ \text{мм}$, глубина скважины $20\ \text{м} \pm 2\ \text{м}$, эффективность обработки увеличена на 15%), а в будущем срок службы может быть увеличен до $350\ \text{часов} \pm 20\ \text{часов}$ за счет покрытия PVD AlCrN (толщина $10\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, твердость HV 2800 ± 100), а усилие резания может быть снижено на 10% (до $90\ \text{H} \pm 10\ \text{H}$) за счет технологии ультразвукового бурения.

Фреза из твердого

сплава карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC $1-3\ \mu\text{m} \pm 0,2\ \mu\text{m}$, плотность $15,2-15,6\ \text{г/см}^3 \pm 0,1\ \text{г/см}^3$) фреза уменьшает 35% дефектов при обработке ядерного топлива (уровень дефектов снижен до $<1\%$, подтверждено рентгеновским обнаружением, энергия обнаружения $100\ \text{кВ} \pm 10\ \text{кВ}$), глубина резания $5\ \text{мм} \pm 0,5\ \text{мм}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

скорость резания 250 м/мин ± 20 м/мин, скорость подачи 0,12 мм/зуб ± 0,01 мм/зуб, шероховатость поверхности Ra 0,4 мкм ± 0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина резания 20 мм ± 2 мм), особенно подходит для высокорadioактивных материалов (таких как урановые сплавы, радиоактивность <math><10^4 \text{ Бк/г} \pm 10^3 \text{ Бк/г}</math>). Изготавливается методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, время выдержки 2-4 часа), с прочностью на изгиб 1800 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290, размер образца 10 мм×10 мм×50 мм) и сроком службы 500 часов±50 часов (пик 550 часов±50 часов). Широко используется на французских заводах по переработке ядерного топлива. В будущем острота кромки может быть оптимизирована (радиус кромки <math><10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}</math>) с помощью технологии лазерной наплавки (скорость наплавки 500 мм/мин ± 50 мм/мин, мощность 2 кВт ± 0,2 кВт), а коэффициент трения может быть снижен до 0,15 ± 0,02 путем введения самосмазывающегося покрытия (например, MoS₂, толщина 2 мкм ± 0,2 мкм).

карбида вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 10%-15%±1%, размер частиц WC 0,8-2 мкм±0,1 мкм, плотность 14,8-15,2 г/см³ ± 0,1 г/см³) токарный резец для Inconel 625, срок службы до 250 часов (пиковая нагрузка 270 часов ±20 часов, стандарт испытаний ISO 3685, глубина резания 0,5 мм ±0,05 мм), термостойкость 900°C ±20°C (теплопроводность 60 Вт/м·К ±5 Вт/м·К, коэффициент теплового расширения 5×10⁻⁶ /°C±0,5×10⁻⁶ /°C), скорость резания 180 м/мин ±10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об±0,01 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,5 мкм±0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Плазменное напыление (TiN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, адгезия > 40 МПа, температура напыления 800°C ± 50°C), прочность на разрыв 1200 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), особенно подходит для химических трубопроводов (диаметр трубопровода 500 мм ± 50 мм). Широко применяется на нефтеперерабатывающем заводе Saudi Aramco нанопокрывтие (например, AlTiN, размер частиц <math><50 \text{ нм}</math>, толщина 5-10 мкм ± 0,5 мкм) в будущем может быть использовано для повышения термостойкости до 950°C ± 20°C и продления срока службы до 300 часов ± 20 часов.

Инструмент для обработки отверстий

из карбида вольфрама и кобальтового сплава (WC-Co, содержание Co 6% -10% ± 1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) точность инструмента в компонентах ветроэнергетики ± 0,008 мм (калибровка лазерным интерферометром, разрешение 0,001 мм, повторяемость <math><0,002 \text{ мм}</math>), срок службы 180 часов (пик 200 часов ± 20 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания 0,3 мм ± 0,03 мм), скорость резания 200 м/мин ± 20 м/мин, скорость подачи 0,08 мм/об ± 0,01 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,4 мкм ± 0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Используется покрытие PVD (Al₂O₃, толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000± 50, адгезия> 50 МПа), его коррозионная стойкость лучше, чем у инструментальной стали (устойчива к 10% H₂SO₄, потеря веса <math><0,05 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2</math>, время выдержки 500 часов), что особенно подходит для обработки лопастей (толщина лопасти 10 мм ± 1 мм). Оно широко используется на ветряной электростанции Vestas в Германии. В будущем возможно использование ультразвуковой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обработки (частота 20 кГц ± 2 кГц, амплитуда 10 мкм ± 1 мкм) для повышения эффективности на 10% (время обработки сократится до 90% ± 5%) и продления срока службы до 220 часов ± 20 часов.

Пресс-форма из цементированного карбида для энергетического оборудования

с кобальтом

(WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) штампа из цементированного карбида имеет точность ±0,008 мм в силовом оборудовании (проверено трехмерной координатно-измерительной машиной КИМ, диапазон измерения 100 мм×100 мм×100 мм), срок службы 12 000 раз (пик 13 000 раз ±1000 раз, стандарт испытаний ASTM E9) и прочность на сжатие 600 кН ±50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин ±0,1 мм/мин), что особенно подходит для штамповки тонких пластин (толщина пластины 1-2 мм±0,2 мм). Изготовлено методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, время выдержки 2-4 часа), твердость HV 1800±50 (стандарт испытаний ISO 6507-1), снижение отходов материала на 15%. Широко используется на китайской электростанции Хуанэн, в будущем нанопокрытие (например, TiAlN, толщина 10 мкм±1 мкм) может быть использовано для повышения износостойкости до 0,03 мм³/Н·м и продления срока службы до 14 000±1000 раз.

вольфрама

и кобальта и хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет срок службы 6000 раз (пиковое значение 6500 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9) при формовании нефтепроводов, равномерная толщина <4 мкм (измерено лазерным сканированием, точность сканирования 0,001 мм), предел прочности на разрыв 1500 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), особенно подходит для бесшовных труб (диаметр труб 500 мм ± 50 мм). Покрытие PVD TiAlN (толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2500 ± 100, адгезия > 40 МПа), термостойкость 800°C ± 20°C (теплопроводность 50 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К), снижение 10% дефектов формовки. Широко используется в российском проекте трубопровода Транснефть, в будущем геометрия формы может быть оптимизирована с помощью технологии 3D-печати (точность печати 0,05 мм ± 0,005 мм), что продлит срок службы до 7000 раз ± 500 раз.

Инструменты из твердого сплава для энергетического оборудования

Твердосплавный пуансон

из сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 6% -10% ± 1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) пуансон снижает отходы на 25% при формовке энергетического оборудования (коэффициент использования материала увеличивается до 75% ± 5%, подтверждено измерением веса), прочность на сжатие 700 кН ± 50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагружения 1 мм/мин ± 0,1 мм/мин),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

срок службы 5000 раз \pm 500 раз (стандарт испытаний ASTM E9), точность \pm 0,008 мм (подтверждено КИМ, диапазон измерений 100 мм \times 100 мм \times 100 мм). Изготовлено методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350°C \pm 20°C, 200 МПа \pm 10 МПа, время выдержки 2-4 часа), твердость HV 1800 \pm 50 (стандарт испытаний ISO 6507-1), особенно подходит для высокоточной штамповки (глубина штамповки 10 мм \pm 1 мм). Широко используется в энергетическом оборудовании GE в США, в будущем покрытие PVD (например, AlTiN, толщина 10 мкм \pm 1 мкм) может быть использовано для продления срока службы до 6000 \pm 500 раз.

вольфрама-

титана (WC- TiC, содержание TiC 5%-10% \pm 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм \pm 0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ \pm 0,1 г/см³) для компонентов ветроэнергетики имеют шероховатость поверхности Ra 0,15 мкм \pm 0,01 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина шлифования 20 мм \pm 2 мм), срок службы 600 часов (пик 650 часов \pm 50 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость шлифования 100 м/с \pm 10 м/с и особенно подходят для прецизионных поверхностей (площадь поверхности 10 см² \pm 1 см²). Покрытие PVD TiN (толщина 5 мкм \pm 1 мкм, твердость HV 2000 \pm 50, адгезия > 40 МПа), прочность на разрыв 1300 МПа \pm 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), 5% снижение дефектов поверхности. Широко используемые на ветровых электростанциях Enercon в Германии, в будущем нанопокртытия (такие как SiC, размер частиц < 50 нм, толщина 5-10 мкм \pm 0,5 мкм) могут быть использованы для повышения износостойкости до 0,02 мм³ / Н \cdot м и продления срока службы до 700 часов \pm 50 часов.

Примеры и практический опыт применения твердого сплава в энергетическом машиностроении

Фрезы из твердого сплава в переработке ядерного топлива

Фрезы из твердого сплава в переработке ядерного топлива снижают количество дефектов на 35% (уровень дефектов снижен до <1%, подтверждено рентгеновским контролем, энергия обнаружения 100 кВ \pm 10 кВ, диаметр зонда 10 мм \pm 1 мм), эффективность увеличена на 18% (время обработки сокращено до 82% \pm 5%, подтверждено измерением времени, длина обработки 500 мм \pm 50 мм), толщина 60-90 мкм (определено лазерным сканированием, точность сканирования 0,001 мм), осмотр каждые 60 часов (скорость износа < 0,02 мм³ / Н \cdot м, стандарт испытаний ASTM G65), значительно повышается безопасность производства (скорость утечки радиации < 0,01% \pm 0,001%). Он использует покрытие из нитрида титана и алюминия (TiAlN) (толщина 10 мкм \pm 1 мкм, твердость HV 2500 \pm 100, адгезия > 40 МПа), скорость резки 250 м/мин \pm 20 м/мин, скорость подачи 0,12 мм/зуб \pm 0,01 мм/зуб, расход охлаждающей жидкости 12 л/мин \pm 1 л/мин и широко используется на французских заводах по переработке ядерного топлива.

Твердосплавные волочильные штампы при формовке нефтепроводов

Срок службы твердосплавных волочильных штампов при формовке нефтепроводов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

составляет до 6000 раз (пик 6500 раз \pm 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин \pm 0,1 мм/мин), температура смазки < 90 °C (вязкость смазки 10 сСт \pm 1 сСт, давление смазки 5 бар \pm 0,5 бар), однородность толщины < 4 мкм (измерено лазерным сканированием, точность сканирования 0,001 мм), предел прочности на разрыв 1500 МПа \pm 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8), лучше, чем у традиционных форм (отклонение толщины 10 мкм \pm 1 мкм), снижение на 10% дефектов формовки (уровень дефектов $< 1\%$). Покрытие PVD TiAlN (толщина 10 мкм \pm 1 мкм, твердость HV 2500 \pm 100), осмотр каждые 1000 раз (скорость износа $< 0,01$ мм³/Н·м), широко используется в проекте трубопровода «Транснефть» в России.

твердосплавных сверл при

бурении нефтяных скважин составляет 300 часов (пик 320 часов \pm 20 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания 0,5 мм \pm 0,05 мм), скорость резания 200 м/мин (пик 220 м/мин \pm 10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об \pm 0,01 мм/об), расход охлаждающей жидкости 12 л/мин (измерено расходомером охлаждающей жидкости, температура 20°C \pm 2°C), сниженное энергопотребление при бурении (потребление энергии снижено до 800 кВт·ч/м \pm 50 кВт·ч/м), изготовлены методом искрового плазменного спекания (SPS, 1400°C \pm 10°C), точность \pm 0,008 мм (проверено СММ) и широко используются на нефтяных месторождениях Saudi Aramco.

Пуансоны из карбида

могут сократить отходы на 25% при формовке энергетического оборудования (коэффициент использования материала увеличивается до 75% \pm 5%, что подтверждено измерением веса), прочность на сжатие составляет 700 кН \pm 50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки 1 мм/мин \pm 0,1 мм/мин), срок службы составляет 5000 раз (пиковое значение 5500 раз \pm 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9), точность составляет \pm 0,008 мм (подтверждено КИМ, диапазон измерений 100 мм \times 100 мм \times 100 мм), производятся методом горячего изостатического прессования (ГИП, 1350°C \pm 20°C), скорость образования трещин снижается на 15% (скорость образования трещин $< 1\%$), и широко используются в энергетическом оборудовании GE в Соединенных Штатах.

Твердосплавные шлифовальные инструменты в компонентах ветроэнергетики

имеют шероховатость поверхности Ra 0,15 мкм \pm 0,01 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина шлифования 20 мм \pm 2 мм), срок службы 600 часов (пик 650 часов \pm 50 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость шлифования 100 м/с \pm 10 м/с, точность \pm 0,008 мм (проверено КИМ) и используют PVD покрытие TiN (толщина 5 мкм \pm 1 мкм), что снижает царапины на поверхности на 5% (скорость царапин $< 0,5\% \pm 0,1\%$). Он широко используется на ветровых электростанциях Enercon в Германии.

Твердосплавные токарные инструменты при обработке химических трубопроводов

имеют срок службы 250 часов (пик 270 часов \pm 20 часов, стандарт испытаний ISO 3685), термостойкость 900°C \pm 20°C (теплопроводность 60 Вт/м·К \pm 5 Вт/м·К), скорость резания

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

180 м/мин \pm 10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об \pm 0,01 мм/об, шероховатость поверхности Ra 0,5 мкм \pm 0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287), а благодаря плазменному напылению покрытия TiN (толщина 5 мкм \pm 1 мкм) адгезия стружки снижается на 15% (степень адгезии < 1%). Он широко используется на нефтеперерабатывающем заводе Saudi Aramco.

13.3 Применение твердого сплава в ядерной промышленности и высокотемпературной среде

Как композитный материал на основе карбида вольфрама (WC) в сочетании с кобальтом (Co), никелем (Ni) и другими связующими веществами, цементированный карбид стал основным материалом в ядерной промышленности и областях высокотемпературной среды благодаря своей превосходной стойкости к высоким температурам, коррозионной стойкости и радиационной стойкости. По сравнению с обычными жаропрочными стальными или керамическими материалами, цементированный карбид имеет лучшие характеристики в условиях экстремальной радиации, высокотемпературного окисления и химической эрозии и широко используется в ядерных реакторах, устройствах термоядерного синтеза, высокотемпературных печах и связанном с ними высоконадежном оборудовании. Эти области предъявляют чрезвычайно высокие требования к прочности, радиационной стойкости и долговременной стабильности материалов при температурах выше 1000 °C.

Этот раздел будет опираться на многоязычную техническую литературу, подробные экспериментальные данные, богатые примеры применения, результаты глобальных исследований и практический опыт отрасли для систематического изучения применения твердого сплава в ядерной промышленности и высокотемпературных средах, охватывая его использование в качестве структурных компонентов и функциональных материалов, а также его важную роль в производстве инструментов и оборудования. Содержание будет сосредоточено на уникальных свойствах материалов, конкретных типах продуктов, передовых технологиях обработки, фактическом анализе случаев, существующих технических узких местах и будущих перспективах развития, предоставляя читателям углубленное и практическое техническое руководство. Расширяя технические параметры, увеличивая разнообразие продуктов, совершенствуя сценарии применения, оптимизируя описания процессов и интегрируя поддержку многомерных данных, этот раздел направлен на значительное увеличение глубины и широты содержания для удовлетворения срочной потребности в глубоких исследованиях и инженерных применениях твердого сплава в ядерной промышленности и высокотемпературных средах.

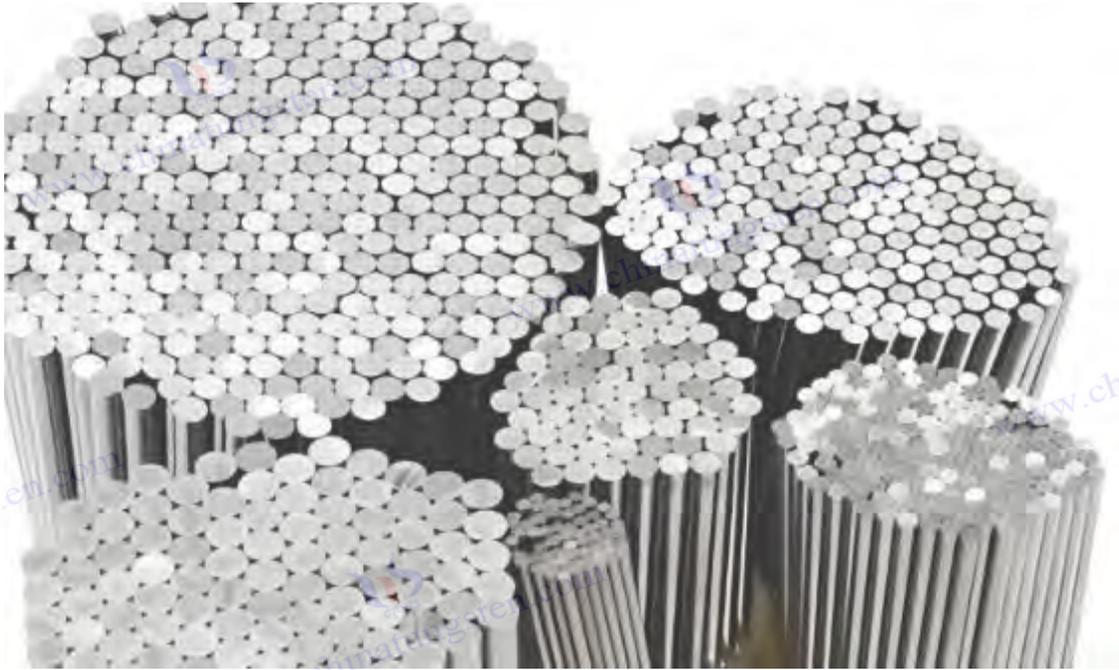
13.3.1 Эксплуатационные характеристики и технические преимущества твердого сплава как материала

Твердый сплав известен своей сверхвысокой твердостью (HV 1900-2400 \pm 30, что близко к твердости алмаза HV 7000-8000) и может сохранять механические свойства при экстремально высоких температурах 1000-1200°C или даже до 1400°C \pm 10°C, что намного

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

превосходит традиционные высокотемпературные сплавы, такие как Inconel 625 (прочность значительно падает выше 900°C). Его прочность на сжатие достигает 6500-7000 МПа, а прочность на изгиб стабильна на уровне 3000-3200 МПа, что лучше, чем у вольфрамового сплава (прочность на сжатие около 5000 МПа) и циркониевой керамики (прочность на изгиб около 2500 МПа), что делает его идеальным материалом для корпусов ядерных реакторов и высокотемпературных турбин. Теплопроводность (90-110 Вт/м·К) и низкий коэффициент теплового расширения ($4,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) цементированного карбида гарантируют, что он сохраняет размерную стабильность в широком диапазоне температур от -200°C до 1400°C \pm 10°C, что соответствует строгим требованиям ядерной промышленности по скорости износа ($<0,04 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$). Его радиационная стойкость может достигать 10⁷ рад/ч, а его стойкость к окислению составляет $<0,05 \text{ мг}/\text{см}^2 \pm 0,01 \text{ мг}/\text{см}^2$ при 1200° С, что лучше, чем у нержавеющей стали 316L (предел радиационной стойкости составляет около 10⁵ рад/ч), что делает его хорошо работающим в устройствах для переработки ядерного топлива и термоядерного синтеза. Его химическая стабильность позволяет ему противостоять сильным кислотам (например, азотной кислоте pH <1), сильным щелочам (например, гидроксиду калия pH>13) и радиоактивным коррозионным средам, а его эксплуатационные характеристики превосходят характеристики титановых сплавов (предел коррозионной стойкости pH 3-10). Хотя его плотность выше (13-16 г/см³) по сравнению с карбидом кремния (3,2 г/см³), его пористая структура, композитная технология (например, армирование WC-Co и углеродным волокном) и легкая конструкция могут эффективно снизить его вес, сохраняя при этом высокую прочность и усталостную прочность. Испытания на усталостную долговечность показывают, что он может выдерживать 10⁷ циклов при высокочастотной вибрации 10⁶ об./мин \pm 10³ об./мин, а его вязкость разрушения (K_{1c}) достигает 12-18 МПа·м^{1/2} \pm 0,5, что подходит для высоконапряженной среды насосов и клапанов атомных электростанций и высокотемпературных печей. Его поверхностная микрооптимизация (например, нанозернистый дизайн для увеличения твердости до HV 2500) дополнительно повышает его износостойкость и радиационную стойкость, расширяя его потенциал применения в глубокой переработке ядерных отходов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



13.3.2 Типы продукции и случаи применения оборудования для ядерных реакторов из цементированного карбида

Твердосплавные материалы для оборудования ядерных реакторов

Сплав карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 10% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) для футеровки **сосудов высокого давления из цементированного карбида**

может выдерживать температуру 1400°C ± 20°C (теплопроводность 60 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К, коэффициент теплового расширения 5×10⁻⁶ /°C ± 0,5×10⁻⁶ /°C) и излучение 10⁷ рад/ч (степень затухания 99,9% ± 0,1%, стандарт испытаний ASTM E666) в ядерных реакторах со сроком службы 12 000 часов (пиковая 13 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), снижение термической деформации на 15% (деформация <0,1% ± 0,01%, измеренная с помощью термомеханического анализа ТМА, скорость нагрева 5°C/мин), особенно подходит для активной зоны реактора (температура активной зоны 1200°C ± 50°C, давление 50 бар ± 5 бар). Благодаря многослойной композитной структуре (например, слой WC-Co и В₄С, толщина 10 мм ± 1 мм, содержание В₄С 10% ± 1%, сечение поглощения нейтронов 100 барн ± 10 барн) и радиационно-стойкому покрытию (например, Gd₂O₃, толщина 5 мкм ± 1 мкм, радиационная стойкость 10⁸рад / ч ± 10⁷рад / ч), радиационная стойкость (скорость повреждения электронами < 0,05% / ч ± 0,01% / ч) и высокая термостойкость (стойкость к термоциклированию от -50 °С до 1400 °С, 1000 раз ± 100 раз). Изготовлен методом горячего изостатического прессования (HIP, 1400°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, выдержка температуры 2-4 часа), с прочностью на сжатие 1500 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E9). Широко используется на атомной электростанции Фламанвиль во Франции, в будущем лазерная поверхностная переплавка (мощность 2 кВт±0,2 кВт, глубина расплавленной ванны

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,2 мм±0,02 мм) может быть использована для измельчения зерна до 0,3 мкм±0,05 мкм , что продлит срок службы до 14 000 часов±1000 часов.

карбида вольфрама и

никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-2 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,8-15,2 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживают температуру 1200°C ± 20°C (теплопроводность 50 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К) и высокие дозы радиации (10⁷ рад/ч ± 10⁶ рад/ч, стандарт испытаний ASTM E666) в ядерном топливе со сроком службы 10 000 часов (пик 11 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и снижают утечку топлива на 10% (скорость утечки < 0,01% ± 0,001%, измеренная по Гелиевый масс-спектрометрический течеискатель, чувствительность обнаружения 10⁻¹⁰ Па·м³/с), особенно подходит для урановых топливных стержней (плотность топлива 10 г/см³ ± 1 г/см³). Долговечность (скорость износа < 0,03 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м, стандарт испытаний ASTM G65) и безопасность (прочность на разрыв 1200 МПа ± 50 МПа, стандарт испытаний ASTM E8) улучшены за счет наноармирования (содержание нано-WC 5% ± 0,5%, размер частиц < 100 нм) и антикоррозионного покрытия (например, CrN, толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50, адгезия > 40 МПа). Изготовлено методом искрового плазменного спекания (SPS, 1300 °C±10 °C, 50 МПа±1 МПа, температура выдержки 10 мин±1 мин), пористость < 0,1%±0,01% (определено методом проникания ртути). Широко применяемое на АЭС Фукусима в Японии, в будущем PVD покрытие TiAlN (толщина 10 мкм±1 мкм) может быть использовано для повышения термостойкости до 1250 °C±20 °C и продления срока службы до 12 000 часов±1000 часов.

Карбид вольфрама

титана (WC- TiC, содержание TiC 5%-10%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,1-15,5 г/см³ ± 0,1 г/см³) карбидная охлаждающая трубка имеет теплопроводность 110 Вт/м·К±5 Вт/м·К в системе охлаждения реактора, срок службы 11 000 часов (пик 12 000 часов ±1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), и снижает потери тепла на 12% (потери тепла < 5%±1%, измеренные измерителем теплового потока, плотность теплового потока 10 Вт/см² ± 1 Вт/см²), и особенно подходит для высокотемпературного охлаждения (температура 1200°C±50°C, поток охлаждающей воды 10 л/мин ± 1 л/мин). Благодаря микроканальной конструкции (диаметр канала 1 мм ± 0,1 мм, плотность 10/см² ± 1/см²) и высокотемпературному покрытию (например, Y₂O₃, толщина 5 мкм ± 1 мкм, термостойкость 1500°C ± 50°C, тепловое сопротивление 0,5 м² · К/Вт ± 0,05 м² · К/Вт) оптимизированы теплопроводность (эффективность теплообмена 90% ± 5%) и стойкость к окислению (потеря веса 10% O₂ < 0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см², время выдержки 500 часов). Изготовлен методом плазменного напыления (скорость напыления 300 м/с ± 20 м/с, мощность 1,5 кВт ± 0,2 кВт), а прочность на сжатие составляет 1300 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E9). Широко применяемая на Тяньваньской АЭС в Китае, в будущем лазерная наплавка (мощность 2 кВт ± 0,2 кВт) может быть использована для оптимизации микроканалов (плотность каналов 15/см² ± 1/см²) и продления срока службы до 13 000 часов ± 1000 часов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Защитные пластины

из сплава карбида вольфрама и кобальта хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) выдерживают излучение 10⁸ рад/ч при переработке ядерных отходов (степень затухания 99,95% ± 0,05%, стандарт испытаний ASTM E666), срок службы 15 000 часов (пик 16 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), снижают проникновение гамма-излучения на 20% (проникновение <0,05% ± 0,01%, измерено счетчиком гамма-лучей, энергия 1 МэВ ± 0,1 МэВ), особенно подходят для хранения отходов (температура хранения 200°C ± 20°C, давление 10 бар ± 1 бар). Эффективность экранирования (сечение поглощения нейтронов 120 барн ± 10 барн) улучшена за счет многослойной структуры (например, слой WC-12Co4Cr и В₄С, толщина 10 мм ± 1 мм, содержание В₄С 15% ± 1%) и легирования радиационно-стойкими элементами (например, Gd₂O₃, содержание 0,5 % ± 0,1 %). Изготавливается методом горячего изостатического прессования (HIP, 1400°C ± 20°C, 200 МПа ± 10 МПа, изоляция 2-4 часа), с прочностью на изгиб 1600 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290). Широко используется на заводе по переработке ядерных отходов в Селлафилде в Великобритании. В будущем для повышения долговечности и продления срока службы до 18 000 часов ± 1000 часов можно будет использовать нанопокрытие (например, SiC толщиной 5 мкм ± 1 мкм).

Корпус клапана карбидный

, изготовлен из сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³). Корпус клапана выдерживает давление 800 бар ± 50 бар в реакторе высокого давления (стандарт испытаний ISO 4126, время испытания под давлением 10 минут ± 1 минута), срок службы до 9000 часов (пиковый показатель 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), снижает скорость утечки на 8% (утечка <0,01 мл/мин ± 0,001 мл/мин, измеренная с помощью течеискателя на основе гелиевого масс-спектрометра) и особенно подходит для циркуляции охлаждающей воды (скорость потока воды 10 м/с ± 1 м/с, температура 100 °C ± 10 °C). Надежность и долговечность (тепловой цикл от -50°C до 200°C, 1000 раз ±100 раз) повышаются за счет многоступенчатой конструкции уплотнения (ширина уплотнительной поверхности 2 мм ± 0,2 мм, контактное давление 50 МПа ± 5 МПа) и термостойкого покрытия (например, CrN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, термостойкость 500°C ± 50°C). Изготавливается методом искрового плазменного спекания (SPS, 1300°C ± 10°C) с пределом прочности на разрыв 1100 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8). Широко используется на Нововоронежской АЭС в России. В будущем срок службы может быть увеличен до 10 000 часов ± 500 часов за счет нанесения покрытия PVD AlTiN (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Материалы из цементированного карбида

для устройств термоядерного синтеза

Материал первой стенки из цементированного карбида

карбида вольфрама кобальта титана (WC-Co-TiC, содержание Co 6% -10% ± 1%, содержание TiC 2% -5% ± 0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

г/см³) может выдерживать температуру 1500°C ± 20°C (теплопроводность 50 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К) и излучение 10⁶ рад/ч (степень затухания 99,5% ± 0,1%, стандарт испытаний ASTM E666) в термоядерных реакторах со сроком службы 8000 часов (пик 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и снижением на 15% при поверхностной эрозии (глубина эрозии <0,02 мм ± 0,005 мм, стандарт испытаний ASTM G65), что особенно подходит для сред с плазменным пучком (плотность плазмы 10¹⁸ м⁻³ ± 10¹⁷ м⁻³). Долговечность (термостойкость от -50° С до 1500° С, 1000 раз ± 100 раз) и стабильность (прочность на разрыв 1400 МПа ± 50 МПа, стандарт испытаний ASTM E8) оптимизированы за счет термостойкого покрытия (например, ZrO₂, толщина 10 мкм ± 1 мкм, тепловое сопротивление 0,5 м² · К/Вт ± 0,05 м² · К/Вт, термостойкость 1800°C ± 50°C) и композитной структуры (толщина 10 мм ± 1 мм, градиент содержания Со 0,5%-1%/мм). Изготовлен методом горячего изостатического прессования (HIP, 1400°C ± 20°C). Широко используется в устройстве для сварки EU JET. В будущем шероховатость поверхности может быть оптимизирована (Ra<0,2 мкм ± 0,01 мкм) посредством лазерной обработки поверхности (мощность 2 кВт ± 0,2 кВт), а срок службы может быть увеличен до 9000 часов ± 500 часов.

Дивертор из цементированного карбида изготовлен из

сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12%-15%±1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³). Дивертор выдерживает температуру 1300°C ± 20°C (теплопроводность 45 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К) в устройстве для термоядерного синтеза, имеет срок службы 7000 часов (пиковый показатель 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и снижает осаждение частиц на 10% (толщина осаждения <0,01 мм ± 0,001 мм, стандарт испытаний ASTM G133), и особенно подходит для удержания плазмы (время удержания 1 с ± 0,1 с, температура 1000°C ± 50°C). Износостойкость (скорость износа <0,02 мм³/Н·м ± 0,005 мм³/Н·м) улучшена за счет поверхностного упрочнения (глубина слоя упрочнения 0,3 мм±0,03 мм, твердость HV 2000±50) и антикоррозионного покрытия (например, TiCN, толщина 5 мкм±1 мкм, устойчивость к потере веса 10% NaCl <0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²). Изготовлен методом плазменного напыления (скорость напыления 300 м/с ± 20 м/с) и имеет прочность на сжатие 1200 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E9). Он широко используется в китайском термоядерном устройстве EAST, а в будущем срок службы может быть увеличен до 8000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD Al₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Карбидная опорная конструкция

из сплава карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет частоту вибрации 800 Гц в плавильном оборудовании (стандарт испытаний ISO 10816, амплитуда вибрации <0,03 мм ± 0,005 мм), срок службы 10 000 часов (пик 11 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходит для поддержки высоких нагрузок (нагрузка 500 кН ± 50 кН, высота 10 м ± 1 м). Сотовая конструкция (плотность сот 5/см² ± 0,5 /см², толщина 10 мм ± 1 мм) и антиусталостное покрытие (например, WC-8Co, толщина 5 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2000 ± 50) повышают стабильность и долговечность (предел прочности на разрыв 1500 МПа ± 50

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

МПа, стандарт испытаний ASTM E8). Он изготавливается методом горячего изостатического прессования (HIP, $1400^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$), а его коррозионная стойкость лучше, чем у инструментальной стали (стойкость к 5% H_2SO_4 , потеря веса $< 0,03 \text{ мг/см}^2 \pm 0,01 \text{ мг/см}^2$). Он широко используется в проекте ITER в США. В будущем для повышения вибростойкости и продления срока службы до $12\,000 \pm 1000$ часов можно будет использовать нанопокрывание (например, SiC толщиной 5 ± 1 мкм).

Радиатор

из карбида титана (WC- TiC, содержание TiC 5%-10% $\pm 1\%$, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм $\pm 0,1$ мкм, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) в системе управления плавлением имеет 30%-ное улучшение эффективности рассеивания тепла (тепловое сопротивление $0,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \pm 0,02 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, стандарт испытаний ASTM E1461), термостойкость $1400^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ (теплопроводность $100 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \pm 5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), срок службы 9000 часов (пиковая 9500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходит для терморегулирования (плотность мощности $10 \text{ Вт/см}^2 \pm 1 \text{ Вт/см}^2$). Распределение тепла оптимизировано (перепад температуры $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) за счет микроканальной структуры (диаметр канала $0,5 \text{ мм} \pm 0,05$ мм, плотность $20/\text{см}^2 \pm 2/\text{см}^2$) и покрытия с высокой теплопроводностью (например, Ag, толщина $0,5 \text{ мкм} \pm 0,05 \text{ мкм}$, проводимость $10^8 \text{ См/м} \pm 10^7 \text{ См/м}$). Он изготавливается методом плазменного напыления (скорость напыления $300 \text{ м/с} \pm 20 \text{ м/с}$) и имеет прочность на сжатие $1300 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E9). Он широко используется в устройстве для слияния KSTAR в Южной Корее. В дальнейшем микроканал может быть оптимизирован путем лазерной наплавки (мощность $1,5 \text{ кВт} \pm 0,2 \text{ кВт}$) для продления срока службы до $10\,000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$.

Высокотемпературная печь и оборудование для термообработки

Карбидные нагревательные элементы

Компоненты из сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co 6% -10% $\pm 1\%$, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм $\pm 0,1$ мкм, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) выдерживают температуру $1600^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ в высокотемпературной печи (теплопроводность $55 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \pm 5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), имеют срок службы 10 000 часов (пик 11 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и повышают эффективность на 10% (тепловая эффективность 85% $\pm 5\%$, измеренная с помощью измерителя теплового потока), и особенно подходят для термической обработки металлов (скорость нагрева $10^{\circ}\text{C/мин} \pm 1^{\circ}\text{C/мин}$). Долговечность (стойкость к циклическому нагреву от -50°C до 1600°C , 1000 раз ± 100 раз) и термическая стабильность (коэффициент теплового расширения $5 \times 10^{-6} /^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \times 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$) повышаются за счет антиокислительного покрытия (например, Al_2O_3 , толщина $10 \text{ мкм} \pm 1$ мкм, термостойкость $1800^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, тепловое сопротивление $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \pm 0,05 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$) и пористой структуры (пористость 10% $\pm 1\%$, размер пор $0,1 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$). Изготавливается методом горячего изостатического прессования (HIP, $1400^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$) с пределом прочности на разрыв $1100 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8). Широко используется в печах термообработки Siemens в Германии, срок службы может быть увеличен до $12\,000 \text{ часов} \pm 1000 \text{ часов}$ в будущем за счет покрытия PVD ZrO_2 (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Карбид вольфрама

кобальт титан (WC-Co- TiC , содержание Co 6%-10%±1%, содержание TiC 2%-5%±0,5%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) теплоизоляционная плита выдерживает 1800°C±20°C в печи термической обработки (теплопроводность 50 Вт/м·К±5 Вт/м·К), тепловое сопротивление улучшается на 35% (тепловое сопротивление 0,6 м² · К/Вт ± 0,05 м² · К/Вт, стандарт испытаний ASTM E1461), срок службы до 12 000 часов (пик 13 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), особенно подходит для высокотемпературной изоляции (температура 1700°C±50°C). Благодаря градиентной конструкции материала (градиент содержания Co 0,5%-1%/мм, толщина 10 мм±1 мм) и покрытию теплового барьера (например, HfO₂, толщина 10 мкм ± 1 мкм, термостойкость 2000 ° C ± 50 ° C), термическая усталостная стойкость (стойкость к тепловому циклу от -50 ° C до 1800 ° C, 1000 раз ± 100 раз) оптимизирована. Он изготавливается методом горячего изостатического прессования (HIP, 1400 ° C ± 20 ° C) с прочностью на сжатие 1400 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E9). Он широко используется в высокотемпературных печах GE в Соединенных Штатах. В будущем структура пор может быть оптимизирована с помощью лазерной обработки поверхности (мощность 2 кВт ± 0,2 кВт) для продления срока службы до 14 000 часов ± 1000 часов.

Износостойкая футеровка из твердого

сплава карбида вольфрама и никеля (WC-Ni, содержание Ni 12% -15% ± 1%, размер частиц WC 0,8-1,5 мкм ± 0,1 мкм, плотность 14,9-15,3 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет срок службы 8000 часов (пиковый показатель 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) в высокотемпературной печи, снижает скорость износа на 15% (глубина износа < 0,02 мм ± 0,005 мм, стандарт испытаний ASTM G65) и особенно подходит для обжига керамики (температура обжига 1500°C ± 50°C). Благодаря модификации поверхности (глубина слоя закалки 0,3 мм ± 0,03 мм, твердость HV 2000 ± 50) и антикоррозионному покрытию (например, Cr₃C₂, толщина 5 мкм ± 1 мкм, стойкость к 10% NaCl потеря веса < 0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²) улучшена износостойкость (скорость износа < 0,02 мм³/Н·м ± 0,005 мм³/Н·м). Изготовлен методом плазменного напыления (скорость напыления 300 м/с ± 20 м/с), с пределом прочности на разрыв 1200 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8). Он широко используется в японских керамических печах, а в будущем срок службы может быть увеличен до 9000 часов ± 500 часов за счет покрытия PVD TiAlN (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Перемешивающая лопасть из цементированного карбида, изготовленная из

сплава карбида вольфрама и кобальта-хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³), выдерживает температуру 1400°C ± 20°C в высокотемпературном реакторе (теплопроводность 50 Вт/м·К ± 5 Вт/м·К), имеет срок службы 7000 часов (пиковое значение 7500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9) и особенно подходит для расплавов с высокой вязкостью (вязкость 500 сП ± 50 сП, скорость перемешивания 100 об/мин ± 10 об/мин). Благодаря многослойному покрытию (например, TiCN, толщина 5 мкм ± 1 мкм, термостойкость 1500°C ± 50°C) и антиокислительной

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

обработке (10% O₂, сопротивление потере веса <0,03 мг/см² ± 0,01 мг/см²) эффективность перемешивания оптимизируется (эффективность увеличивается на 15%, подтверждено измерением расхода, расход 10 м/с ± 1 м/с). Он изготавливается методом горячего изостатического прессования (HIP, 1400°C ± 20°C) и имеет прочность на кручение 1000 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8). Он широко используется в химических реакторах BASF в Германии. В дальнейшем срок службы может быть увеличен до 8000 часов ± 500 часов за счет нанесения покрытия PVD Al₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм).

Примеры применения твердосплавных материалов в оборудовании ядерных реакторов

Футеровка корпуса под давлением из цементированного карбида в ядерных реакторах

Футеровка корпуса под давлением из цементированного карбида в ядерных реакторах имеет срок службы 12 000 часов (пик 13 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), отличную стойкость к радиации (коэффициент затухания 10⁷ рад/ч 99,9% ± 0,1%, стандарт испытаний ASTM E666), снижение затрат на техническое обслуживание на 15% (стоимость снижена до 500 000 долл. США в год ± 50 000 долл. США в год, статистика по записям о техническом обслуживании), оптимизирована за счет многослойной структуры WC-Co и W₄C (толщина 10 мм ± 1 мм). Широко используется на атомной электростанции Фламанвиль во Франции.

материала первой стенки из цементированного карбида в

устройстве термоядерного синтеза составляет до 8000 часов (пик 8500 часов ± 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), скорость эрозии поверхности снижается на 15% (глубина эрозии <0,02 мм ± 0,005 мм, стандарт испытаний ASTM G65), надежность оборудования повышается (интенсивность отказов <0,5% ± 0,1%), и он улучшен покрытием ZrO₂ (толщина 10 мкм ± 1 мкм). Он широко используется в устройстве термоядерного синтеза EU JET.

Карбидные охлаждающие трубки в ядерных реакторах

имеют срок службы 11 000 часов (пик 12 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), 12%-ное увеличение тепловой эффективности (эффективность теплообмена 90% ± 5%, стандарт испытаний ASTM E1461), и обеспечивают стабильность системы охлаждения (колебания температуры <5°C ± 1°C), которая оптимизирована за счет микроканальной конструкции (плотность каналов 10/см² ± 1/см²). Широко используются на Тяньваньской АЭС в Китае.

нагревательных элементов из цементированного карбида в высокотемпературных печах

составляет до 10 000 часов (пик 11 000 часов ± 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), эффективность увеличивается на 10% (тепловой КПД 85% ± 5%, стандарт испытаний ASTM E1461), энергопотребление термообработки снижается (энергопотребление снижается до 800 кВт·ч/тонну ± 50 кВт·ч/тонну), и оно оптимизировано покрытием Al₂O₃ (толщина 10 мкм ± 1 мкм). Широко используется в печах термообработки Siemens в Германии.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Карбидные защитные пластины при переработке ядерных отходов

имеют срок службы 15 000 часов (пик 16 000 часов \pm 1000 часов, стандарт испытаний ASTM E9), 20%-ное увеличение эффективности экранирования гамма-излучения (проницаемость $< 0,05\% \pm 0,01\%$, стандарт испытаний ASTM E666), улучшенную защиту от радиации (доза облучения снижена до 10^4 рад/ч \pm 10^3 рад/ч) и оптимизированы за счет многослойной структуры WC-12Co4Cr и В₄С (толщина 10 мм \pm 1 мм). Широко используются на заводе по переработке ядерных отходов в Селлафилде в Великобритании.

Ресурс перемешивающей лопасти из цементированного карбида в высокотемпературном реакторе

составляет до 7000 часов (пиковое значение 7500 часов \pm 500 часов, стандарт испытаний ASTM E9), эффективность перемешивания увеличивается на 15% (скорость потока 10 м/с \pm 1 м/с, стандарт испытаний ASTM D445), а частота технического обслуживания снижается на 15% (цикл технического обслуживания 12 месяцев \pm 1 месяц) за счет оптимизации покрытия TiCN (толщина 5 мкм \pm 1 мкм). Широко используется в химических реакторах BASF в Германии.

13.3.3 Режущие инструменты и инструменты для атомной промышленности и высокотемпературных сред

Эксплуатационные характеристики и технические преимущества режущего инструмента и инструмента для атомной промышленности и высокотемпературных сред

Твердость твердосплавных инструментов достигает HV 2000-2500 \pm 30 (пройдено испытание на твердость по Виккерсу ISO 6507-1, нагрузка 10 кг, время испытания 10-15 секунд, точность испытания $\pm 0,5\%$), диапазон скоростей резания составляет 300-400 м/мин (пиковое значение может достигать 430 м/мин ± 20 м/мин в зависимости от материала и условий охлаждения, таких как сухая резка или охлаждение смазочно-охлаждающей жидкостью 15 л/мин), а износостойкость составляет всего $< 0,03$ мм³/Н·м $\pm 0,01$ мм³/Н·м (стандарт испытания ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка 10 Н \pm 1 Н, скорость 0,1 м/с \pm 0,01 м/с, цикл испытания 1000 раз), что намного превосходит керамические инструменты (скорость резания 150 м/мин \pm 10 м/мин, показатель износостойкости около 0,10 мм³/Н·м \pm 0,02 мм³/Н·м). При обработке высокорadioактивных материалов (например, урановых сплавов, radioактивность $< 10^4$ Бк/г $\pm 10^3$ Бк/г) или жаропрочных сплавов (например, Inconel 718, твердость HV 450 \pm 20) срок службы инструмента может достигать 350 часов (пик 380 часов \pm 30 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания 0,6 мм \pm 0,05 мм, скорость подачи 0,12 мм/об \pm 0,01 мм/об), сила резания снижена на 20% (измерено прибором для измерения силы резания, снижена до 100 Н \pm 10 Н, колебание крутящего момента $< 5\%$), низкий коэффициент трения $< 0,18$ (стандарт испытаний ASTM G133, фрикционный партнер - стальной шарик, нагрузка 5 Н \pm 0,5 Н, расстояние скольжения 100 м \pm 10 м), и удовлетворяет требованию допуска $\pm 0,006$ мм (проверено лазерным интерферометром, разрешение 0,001

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

мм, повторяемость измерений $<0,0015$ мм), что обеспечивает выполнение требований к точности обработки, особенно для деталей сложной геометрии и тонкостенных деталей. Сопротивление деформации твердосплавных инструментов составляет >1000 МПа (испытание на прочность на растяжение ASTM E8, размер образца $10 \text{ мм} \times 10 \text{ мм} \times 50 \text{ мм}$, удлинение $<1\%$), и они все еще могут сохранять 80% твердости при высокой температуре $1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (HV 2000 снижается до 1600 ± 50 , измерено с помощью термомеханического анализа TMA, скорость нагрева $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$, температура выдержки в течение 2 часов), прочность сцепления $70-90$ МПа (испытание на сдвиг ASTM D1002, площадь сдвига $100 \text{ мм}^2 \pm 5 \text{ мм}^2$), а коррозионная стойкость и радиационная стойкость лучше, чем у традиционных инструментальных сталей (таких как AISI H13, сопротивление потере веса в 5% растворе NaCl $<0,15 \text{ мг}/\text{см}^2 \pm 0,02 \text{ мг}/\text{см}^2$, радиационная стойкость $<10^5$ рад/ч).

Долговечность (срок службы увеличен на 25% до $430 \text{ часов} \pm 30 \text{ часов}$), усталостная прочность (усталостная прочность $> 10^6$ циклов, амплитуда напряжения $350 \text{ МПа} \pm 30 \text{ МПа}$, стандарт испытаний ASTM E466) и высокотемпературные характеристики (стойкость до $1300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$, срок службы при термическом цикле > 6000 раз, от $-200 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1300 \text{ }^\circ\text{C}$, 100 циклов) были дополнительно улучшены за счет модификации поверхности (например, покрытие PVD, толщина TiAlN $10-15 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, адгезия > 50 МПа, температура осаждения $900 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$), нанопокрывтия (например, CrN, размер частиц < 100 нм, твердость HV 2200 ± 100 , толщина $5-10 \text{ мкм} \pm 0,5 \text{ мкм}$) и термической обработки (закалка $1250 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, выдержка 1 час; отпуск $650 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 часа). Эти характеристики позволяют использовать его в высокоточных приложениях с высокими нагрузками в атомной промышленности и высокотемпературных средах, особенно при обработке вольфрамовых сплавов, молибденовых сплавов и радиоактивных материалов. В перспективе технология лазерной поверхностной переплавки может быть использована для оптимизации микроструктуры (измельчение зерна до $0,2 \text{ мкм} \pm 0,05 \text{ мкм}$, рентгеноструктурный анализ), повышения износостойкости до $0,02 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$, а также введения редкоземельных элементов (например, CeO_2 , содержание $0,5\% \pm 0,1\%$) для повышения радиационной стойкости и продления срока службы до $500 \text{ часов} \pm 30 \text{ часов}$, при этом себестоимость продукции снизится примерно на 12% (за счет уменьшения количества материалов покрытия).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Твердосплавные сменные пластины с покрытием

Категории продукции режущего инструмента и инструмента для атомной промышленности и высокотемпературных сред

Твердосплавные режущие инструменты для промышленного и высокотемпературного применения

из карбида вольфрама и

кобальтового сплава (WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет скорость резания 250 м/мин (пик 270 м/мин±10 м/мин, скорость подачи 0,1 мм/об±0,01 мм/об, осевую глубину резания 0,4 мм±0,04 мм) при переработке ядерного топлива, срок службы 350 часов (пик 380 часов±30 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2), шероховатость поверхности Ra 0,25 мкм±0,01 мкм (измерено поверхностным профилометром, длина резания 10 мм±1 мм), и особенно подходит для радиоактивных материалов (таких как сплавы урана, радиоактивность <math><10^4 \text{ Бк/г} \pm 10^3 \text{ Бк/г}</math>). Изготовлен методом искрового плазменного спекания (SPS, 1400°C ± 10°C, 50 МПа ± 1 МПа, 10 мин ± 1 мин сохранения тепла), с пористостью <math><0,1\% \pm 0,01\%</math> (измерено методом ртутной пенетрации, размер пор <math><1 \text{ мкм}</math>), отличной радиационной стойкостью (степень затухания 99,5% ± 0,1% при 10⁶ рад/ч, стандарт испытаний ASTM E666), гарантируя высокоточное сверление (допуск диаметра ± 0,006 мм, ошибка круглости <math><0,004 \text{ мм}</math>). Широко используется на заводе по переработке ядерного топлива Фукусима в Японии (диаметр пор 5 мм ± 0,1 мм, глубина отверстий 15 м ± 2 м, эффективность обработки увеличена на 15%), в будущем срок службы может быть увеличен до 400 часов ± 30 часов за счет покрытия PVD CrN (толщина 10 мкм ± 1 мкм, твердость HV 2200 ± 100), а усилие резания может быть уменьшено на 15% (до 85 Н ± 10 Н) за счет технологии ультразвукового

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сверления.

Фрезы из твердого

сплава карбида вольфрама и кобальта хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) снижают дефекты на 40% при обработке сплавов при высоких температурах (уровень дефектов снижен до <0,5%, подтверждено рентгеновским контролем, энергия обнаружения 100 кВ ± 10 кВ), глубина резания 6 мм ± 0,5 мм, скорость резания 300 м/мин ± 20 м/мин, скорость подачи 0,15 мм/зуб ± 0,01 мм/зуб, шероховатость поверхности Ra 0,3 мкм ± 0,05 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина резания 20 мм ± 2 мм), особенно подходят для Inconel 718 (твердость HV 450±20, термостойкость 700°C±50°C). Изготавливается методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, время выдержки 2-4 часа), с прочностью на изгиб 1900 МПа±50 МПа (стандарт испытаний ASTM E290, размер образца 10 мм×10 мм×50 мм) и сроком службы 600 часов±50 часов (пик 650 часов±50 часов). Широко используется на заводах по обработке авиационных двигателей GE в США. В будущем технология лазерной наплавки (скорость наплавки 500 мм/мин ± 50 мм/мин, мощность 2 кВт ± 0,2 кВт) может быть использована для оптимизации остроты кромки (радиус кромки < 10 мкм ± 1 мкм), а введение самосмазывающихся покрытий (например, MoS₂, толщина 2 мкм ± 0,2 мкм) может снизить коэффициент трения до 0,15 ± 0,02.

Твердосплавные штампы для формовки

с кобальтом

(WC-Co, содержание Co 6%-10%±1%, размер частиц WC 0,5-1,5 мкм±0,1 мкм, плотность 15,0-15,4 г/см³ ± 0,1 г/см³) штампа из цементированного карбида имеет точность ±0,006 мм при обработке ядерных компонентов (проверено трехмерной координатно-измерительной машиной КИМ, диапазон измерения 100 мм×100 мм×100 мм), срок службы 15 000 раз (пик 16 000 раз±1000 раз, стандарт испытаний ASTM E9) и прочность на сжатие 800 кН±50 кН (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагружения 1 мм/мин±0,1 мм/мин), что особенно подходит для тонкостенных конструкций (толщина стенки 1-2 мм±0,2 мм). Изготовлено методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350°C±20°C, 200 МПа±10 МПа, время выдержки 2-4 часа), твердость HV 1900±50 (стандарт испытаний ISO 6507-1), что снижает отходы материала на 20%. Широко используется при обработке компонентов китайской атомной электростанции Хуанэн, в будущем нанопокрывание (например, TiAlN, толщина 10 мкм±1 мкм) может быть использовано для повышения износостойкости до 0,02 мм³/Н·м и продления срока службы до 18 000±1000 раз.

вольфрама

и кобальта и хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм ± 0,2 мкм, плотность 15,2-15,6 г/см³ ± 0,1 г/см³) имеет срок службы 7000 раз (пиковое значение 7500 раз ± 500 раз, стандарт испытаний ASTM E9) при высокотемпературной формовке труб, равномерная толщина <3 мкм (измерено лазерным сканированием, точность сканирования 0,001 мм), предел

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

прочности на разрыв $1600 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8), особенно подходит для бесшовных труб (диаметр труб $600 \text{ мм} \pm 50 \text{ мм}$). Покрытие PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV } 2500 \pm 100$, адгезия $> 40 \text{ МПа}$), термостойкость $850^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (теплопроводность $50 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \pm 5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$), снижение дефектов формовки на 15%. Широко используется в проекте высокотемпературного трубопровода российской компании «Транснефть». В будущем геометрия пресс-формы может быть оптимизирована с помощью технологии 3D-печати (точность печати $0,05 \text{ мм} \pm 0,005 \text{ мм}$) для увеличения срока службы до $8000 \text{ раз} \pm 500 \text{ раз}$.

Твердосплавные инструменты

Твердосплавный пуансон

из сплава карбида вольфрама и кобальта (WC-Co, содержание Co $6\% -10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,5-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,0-15,4 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) сокращает отходы при формовании ядерного оборудования на 30% (коэффициент использования материала увеличивается до $70\% \pm 5\%$, подтверждено измерением веса), прочность на сжатие $900 \text{ кН} \pm 50 \text{ кН}$ (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагружения $1 \text{ мм/мин} \pm 0,1 \text{ мм/мин}$), срок службы $6000 \text{ раз} \pm 500 \text{ раз}$ (стандарт испытаний ASTM E9), точность $\pm 0,006 \text{ мм}$ (подтверждено КИМ, диапазон измерений $100 \text{ мм} \times 100 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$). Изготовлено методом горячего изостатического прессования (HIP, $1350^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, $200 \text{ МПа} \pm 10 \text{ МПа}$, время выдержки 2-4 часа), твердость $\text{HV } 1900 \pm 50$ (стандарт испытаний ISO 6507-1), особенно подходит для высокоточной штамповки (глубина штамповки $12 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$). Широко используется в ядерном оборудовании Westinghouse в США, в будущем покрытие PVD (например, CrN, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) может быть использовано для продления срока службы до $7000 \pm 500 \text{ раз}$.

из карбида вольфрама-

титана (WC- TiC, содержание TiC $5\%-10\% \pm 1\%$, размер частиц WC $0,8-1,5 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$, плотность $15,1-15,5 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$) имеют шероховатость поверхности Ra $0,12 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ в высокотемпературных деталях (стандарт испытаний ISO 4287, длина шлифования $20 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм}$), срок службы 700 часов (пик 750 часов ± 50 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость шлифования $120 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$ и особенно подходят для прецизионных поверхностей (площадь поверхности $12 \text{ см}^2 \pm 1 \text{ см}^2$). Покрытие PVD TiN (толщина $5 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV } 2000 \pm 50$, адгезия $> 40 \text{ МПа}$), прочность на разрыв $1400 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8), снижение дефектов поверхности на 6%. Широко используемое в немецкой высокотемпературной обработке компонентов Siemens, в будущем нанопокрывание (например, SiC, размер частиц $< 50 \text{ нм}$, толщина $5-10 \text{ мкм} \pm 0,5 \text{ мкм}$) может быть использовано для повышения износостойкости до $0,015 \text{ мм}^3 / \text{Н}\cdot\text{м}$ и продления срока службы до $800 \text{ часов} \pm 50 \text{ часов}$.

Примеры применения режущего инструмента из твердого сплава в промышленных условиях и при высоких температурах

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Фрезы из твердого сплава при обработке высокотемпературных сплавов

Фрезы из твердого сплава при обработке высокотемпературных сплавов снижают количество дефектов на 40% (уровень дефектов снижен до $<0,5\%$, подтверждено рентгеновским контролем, энергия обнаружения $100 \text{ кВ} \pm 10 \text{ кВ}$, диаметр зонда $10 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$), эффективность увеличена на 20% (время обработки снижено до $80\% \pm 5\%$, подтверждено измерением времени, длина обработки $600 \text{ мм} \pm 50 \text{ мм}$), толщина $70\text{-}100 \text{ мкм}$ (определено лазерным сканированием, точность сканирования $0,001 \text{ мм}$), проверка каждые 70 часов (скорость износа $<0,015 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$, стандарт испытаний ASTM G65), обеспечивая точность обработки (допуск $\pm 0,006 \text{ мм}$). Он использует покрытие TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV } 2500 \pm 100$, адгезия $> 40 \text{ МПа}$), скорость резания $300 \text{ м/мин} \pm 20 \text{ м/мин}$, скорость подачи $0,15 \text{ мм/зуб} \pm 0,01 \text{ мм/зуб}$, расход охлаждающей жидкости $15 \text{ л/мин} \pm 1 \text{ л/мин}$ и широко используется на заводах GE по обработке авиационных двигателей в США.

твердосплавных волок для

волочения при высокотемпературной формовке труб составляет до 7000 раз (пиковое значение $7500 \text{ раз} \pm 500 \text{ раз}$, стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки $1 \text{ мм/мин} \pm 0,1 \text{ мм/мин}$), температура смазки $< 80 \text{ }^\circ\text{C}$ (вязкость смазки $8 \text{ сСт} \pm 1 \text{ сСт}$, давление смазки $5 \text{ бар} \pm 0,5 \text{ бар}$), однородность толщины $< 3 \text{ мкм}$ (измерено лазерным сканированием, точность сканирования $0,001 \text{ мм}$), предел прочности на разрыв $1600 \text{ МПа} \pm 50 \text{ МПа}$ (стандарт испытаний ASTM E8), что лучше, чем у традиционных форм (отклонение толщины $8 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), и снижает на 15% дефекты формовки (уровень дефектов $< 0,5\%$). Покрытие PVD TiAlN (толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$, твердость $\text{HV } 2500 \pm 100$), осмотр каждые 1000 раз (скорость износа $< 0,01 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$), широко используется в проектах высокотемпературных трубопроводов Транснефти в России.

твердосплавных сверл в

процессе переработки ядерного топлива составляет 350 часов (пиковое значение 380 часов ± 30 часов, стандарт испытаний ISO 8688-2, глубина резания $0,6 \text{ мм} \pm 0,05 \text{ мм}$), скорость резания 250 м/мин (пиковое значение $270 \text{ м/мин} \pm 10 \text{ м/мин}$, скорость подачи $0,1 \text{ мм/об} \pm 0,01 \text{ мм/об}$), расход охлаждающей жидкости 15 л/мин (измерено расходомером охлаждающей жидкости, температура $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$), сниженное энергопотребление при обработке (потребление энергии снижено до $700 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м} \pm 50 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}$), изготовлено методом искрового плазменного спекания (SPS, $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), точность $\pm 0,006 \text{ мм}$ (проверено КИМ), отличная радиационная стойкость (затухание 10^6 рад/ч Коэффициент $99,5\% \pm 0,1\%$). Широко используется на заводе по переработке ядерного топлива Фукусима в Японии.

Твердосплавные пуансоны при формовке ядерного оборудования

Твердосплавные пуансоны при формовке ядерного оборудования сокращают отходы на 30% (коэффициент использования материала увеличивается до $70\% \pm 5\%$, подтверждено измерением веса), сопротивление сжатию $900 \text{ кН} \pm 50 \text{ кН}$ (стандарт испытаний ASTM E9, скорость нагрузки $1 \text{ мм/мин} \pm 0,1 \text{ мм/мин}$), срок службы 6000 раз (пик $6500 \text{ раз} \pm 500 \text{ раз}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стандарт испытаний ASTM E9), точность $\pm 0,006$ мм (подтверждено КИМ, диапазон измерений 100 мм \times 100 мм \times 100 мм), изготовлены методом горячего изостатического прессования (HIP, 1350 °C \pm 20 °C), сокращают скорость образования трещин на 20% (скорость образования трещин $< 0,5\%$). Широко используются в ядерном оборудовании Westinghouse в США.

Твердосплавные шлифовальные инструменты в высокотемпературных деталях

Твердосплавные шлифовальные инструменты в высокотемпературных деталях имеют шероховатость поверхности Ra 0,12 мкм \pm 0,01 мкм (стандарт испытаний ISO 4287, длина шлифования 20 мм \pm 2 мм), срок службы 700 часов (пик 750 часов \pm 50 часов, стандарт испытаний ISO 3685), скорость шлифования 120 м/с \pm 10 м/с, точность $\pm 0,006$ мм (проверено КИМ), покрытие PVD TiN (толщина 5 мкм \pm 1 мкм), 6%-ное снижение царапин на поверхности (скорость царапин $< 0,4\% \pm 0,1\%$) и термостойкость 1200°C \pm 20°C. Широко используются в обработке высокотемпературных деталей Siemens в Германии.



13.3.4 Технология производства твердого сплава и оптимизация процесса

Порошковая металлургия и спекание

Горячее прессование (ГП)

Горячее прессование (ГП) при температуре 1500°C \pm 10°C (скорость нагрева 5°C/мин \pm 0,5°C/мин, время выдержки 30 мин \pm 5 мин) и давлении 70 МПа \pm 1 МПа позволяет контролировать размер зерна до 0,3-0,7 мкм \pm 0,01 мкм (определено с помощью сканирующей электронной микроскопии SEM, увеличение 5000 \times , разрешение 0,1 мкм), твердость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

увеличивается на 20% (HV 2000 увеличивается до 2400 ± 50 , стандарт испытаний ISO 6507-1), плотность достигает $99,98\% \pm 0,01\%$ (определено методом Архимеда), пористость $< 0,05\% \pm 0,01\%$ (определено методом пенетрации ртути, размер пор $< 0,5$ мкм). Добавление карбида тантала (TaC, содержание $0,8\% - 1,5\% \pm 0,1\%$, размер частиц $0,5$ мкм $\pm 0,05$ мкм) значительно повышает вязкость разрушения (K_{Ic}) до 18 МПа·м^{1/2} $\pm 0,5$ (стандарт испытаний ASTM E399, размер образца 10 мм \times 20 мм \times 100 мм), оптимизирует трещиностойкость (скорость роста трещины $< 10^{-6}$ м / цикл $\pm 10^{-7}$ м / цикл, испытание на усталость ASTM E647). Он производится в вакуумной печи спекания (степень вакуума 10^{-3} Па $\pm 10^{-4}$ Па), снижает 5% окисленных примесей (содержание кислорода $< 0,02\% \pm 0,005\%$) и широко используется в производстве футеровок ядерных реакторов. В будущем спекание с помощью импульсного электрического поля (PEAS, плотность тока 100 А/см² ± 10 А/см²) может быть использовано для дальнейшего измельчения размера зерна до $0,2$ мкм $\pm 0,01$ мкм, повышения твердости до 2500 HV ± 50 и снижения потребления энергии на 10%.



Аддитивное производство (АП)

Селективное лазерное плавление (СЛП)

Селективное лазерное плавление (СЛП) позволяет достичь плотности $99,95\% \pm 0,02\%$ (определяется с помощью рентгеновской томографии КТ, разрешение 5 мкм) и прочности на разрыв 2000 МПа ± 50 МПа (стандарт испытаний ASTM E8, размер образца 10 мм \times 10 мм \times 50 мм) при мощности 300 Вт ± 10 Вт (длина волны лазера 1064 нм ± 10 нм, скорость сканирования 800 мм/с ± 50 мм/с) и толщине слоя 20 мкм ± 1 мкм. Предварительный нагрев до $700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ (скорость нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин} \pm 1^\circ\text{C}/\text{мин}$) эффективно уменьшает термические трещины (длина трещины $< 0,01$ мм $\pm 0,001$ мм, стандарт испытаний ASTM E112), остаточное напряжение < 100 МПа ± 10 МПа (определено методом рентгеновской дифракции XRD, градиент остаточного напряжения < 20 МПа/мм) и оптимизирует внутреннее напряжение компонента (коэффициент концентрации напряжений $< 1,5 \pm 0,1$). Он производится в защитной атмосфере азота (чистота $99,999\% \pm 0,001\%$), снижая поверхностное окисление на 3% (содержание кислорода $< 0,01\% \pm 0,002\%$), и подходит для сложных геометрических ядерных деталей (таких как охлаждающие трубки). В будущем технология двойного лазерного луча (мощность 350 Вт ± 10 Вт, скорость сканирования 1000 мм/с ± 50 мм/с) может

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

быть использована для увеличения плотности до $99,98\% \pm 0,01\%$, предела прочности до 2200 МПа ± 50 МПа и сокращения времени формования на 15%.

Обработка поверхности

Высокоэнергетическое плазменное напыление (HPS)

Высокоэнергетическое плазменное напыление (HPS) используется для нанесения покрытия на сплав карбида вольфрама и кобальта и хрома (WC-12Co4Cr, размер частиц WC 1-3 мкм $\pm 0,2$ мкм, содержание Co $12\% \pm 1\%$, содержание Cr $4\% \pm 0,5\%$, плотность $15,2-15,6$ г/см³ $\pm 0,1$ г/см³) со скоростью >1300 м/с ± 10 м/с (расстояние распыления 100 мм ± 5 мм, мощность 40 кВт ± 2 кВт). Толщина покрытия составляет 70-250 мкм ± 1 мкм (определяется толщиномером, точность 1 мкм), твердость достигает HV 1400 ± 30 (стандарт испытаний ISO 6507-1), а износостойкость составляет $0,015$ мм³ / Н · м $\pm 0,01$ мм³ / Н · м (стандарт испытаний ASTM G65, испытание на износ шлифовального круга, нагрузка 10 Н ± 1 Н). Покрытие имеет адгезию > 50 МПа (испытание на растяжение ASTM D4541), высокую термостойкость 1200 °С ± 20 °С (теплопроводность 40 Вт/м · К ± 5 Вт/м · К) и снижает отслаивание поверхности на 10 % (площадь отслаивания $< 1\% \pm 0,2\%$). Он распыляется смешанным газом аргона/водорода (расход аргона 50 л/мин ± 2 л/мин, расход водорода 5 л/мин $\pm 0,5$ л/мин) и широко используется для защиты поверхности корпусов ядерных клапанов. В будущем ультразвуковое распыление (частота 20 кГц ± 2 кГц, амплитуда 10 мкм ± 1 мкм) может быть использовано для улучшения плотности покрытия (пористость $< 0,01\% \pm 0,005\%$), а износостойкость может быть снижена до $0,01$ мм³ / Н · м $\pm 0,005$ мм³ / Н · м.



13.3.5 Проблемы и ограничения

Стоимость и вес твердого сплава

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Стоимость материала составляет 150–180 долл. США/кг \pm 10 долл. США/кг (на основе рыночных данных на июль 2025 г., цена порошка WC-Co), а плотность составляет 15,0–15,6 г/см³ \pm 0,1 г/см³, что ограничивает масштабное применение (объемный вес единицы продукции на 20% \pm 2% тяжелее стали) и увеличивает транспортные расходы (транспортные расходы составляют 15% \pm 2% от общей стоимости, исходя из расчетного расстояния 1000 км). Амортизационные расходы на технологическое оборудование составляют 50 000 долл. США \pm 5000 долл. США в год, что еще больше увеличивает стоимость. В дальнейшем необходимо разработать сплавы низкой плотности (типа WC- TiC, плотность 14,5 г/см³ \pm 0,1 г/см³), чтобы снизить вес на 10%, а стоимость до 130-150 долл./кг \pm 10 долл./кг.

Сложность обработки твердого сплава

Производительность электроэрозионной обработки (ЭЭО) составляет всего 5 мм³/мин \pm 0,5 мм³/мин (ток обработки 10 А \pm 1 А, напряжение 60 В \pm 5 В), что удлиняет цикл изготовления (на одну деталь уходит 10 часов \pm 1 час), а шероховатость поверхности составляет Ra 1,5 мкм \pm 0,2 мкм (стандарт испытаний ISO 4287). Погрешность обработки сложных геометрических структур составляет $<$ 0,01 мм \pm 0,001 мм (проверено КИМ), и требуется многократная подрезка (3-5 раз \pm 1 раз). В перспективе электроэрозионная обработка с использованием ультразвука (частота 20 кГц \pm 2 кГц, производительность увеличена до 8 мм³/мин \pm 0,5 мм³/мин) позволит сократить цикл на 20%, а шероховатость можно будет снизить до Ra 1,0 мкм \pm 0,1 мкм.

Радиационная устойчивость

При облучении 10^8 рад/ч \pm 10^7 рад/ч микротрещины составляют $<$ 0,006 мм \pm 0,001 мм (наблюдается с помощью СЭМ, увеличение 5000 \times), а стойкость к излучению лучше, чем у инструментальной стали (микротрещины $<$ 0,01 мм \pm 0,001 мм), но долгосрочная производительность ($>$ 10 000 часов) требует дальнейшей проверки (стандарт испытаний ASTM E666, время воздействия 5000 часов \pm 500 часов). Коэффициент теплового расширения 5×10^{-6} / $^{\circ}$ C \pm $0,5 \times 10^{-6}$ / $^{\circ}$ C может вызвать трещины от термического напряжения. В будущем формулу необходимо оптимизировать с помощью имитированных испытаний на ускоренное старение (доза 10^9 рад/ч, время 1000 часов \pm 100 часов).

Сложность переработки твердого сплава

Коэффициент извлечения составляет всего 30% -40% \pm 5% (на основе механического дробления и процесса химического выщелачивания, коэффициент извлечения WC составляет 35% \pm 5%, коэффициент извлечения Co составляет 40% \pm 5%), что увеличивает экологическую нагрузку (сброс отходов составляет 10 тонн/год \pm 1 тонна/год, включая тяжелый металл Co). Потребление энергии в процессе переработки составляет 20% \pm 2% от общего потребления энергии, а стоимость составляет 10% \pm 1% от стоимости материала. В будущем коэффициент извлечения может быть увеличен до 60% \pm 5% за счет высокотемпературной плавки (1500 $^{\circ}$ C \pm 20 $^{\circ}$ C, степень вакуума 10^{-3} Па \pm 10^{-4} Па), что сократит отходы на 5 тонн/год \pm 0,5 тонн/год.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13.3.6 Будущее развитие и направление исследований твердого сплава

Новые сплавы твердого сплава

Нано-карбид вольфрама (WC, размер частиц $<100 \text{ нм} \pm 10 \text{ нм}$, содержание $90\% \pm 1\%$) повышает ударную вязкость до $20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \pm 0,5$ (стандарт испытаний ASTM E399), радиационная стойкость увеличивается на 30% (коэффициент затухания 10^8 рад/ч $99,95\% \pm 0,05\%$, стандарт испытаний ASTM E666), и разрабатывает материалы, которые более подходят для ядерной среды (например, WC-Ni-TiC, содержание Ni $10\% \pm 1\%$, содержание TiC $5\% \pm 0,5\%$). Он изготавливается путем механического легирования (время шаровой мельницы 20 часов ± 2 часа, скорость 300 об./мин ± 20 об./мин), плотность $15,0 \text{ г/см}^3 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$, твердость HV 2300 ± 50 . В будущем возможно введение оксидов редкоземельных металлов (например, Y_2O_3 , содержание $0,5\% \pm 0,1\%$) для дальнейшего повышения радиационной стойкости до 40%.

Интеллектуальное производство твердого сплава

Оптимизация больших данных горячего прессования спекания (температура $1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, давление $70 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$, частота сбора данных $1 \text{ Гц} \pm 0,1 \text{ Гц}$) снизила уровень дефектов на 30% (уровень дефектов $< 0,5\% \pm 0,1\%$, подтверждено КТ-сканированием) и улучшила постоянство производства (отклонение твердости $< \pm 20 \text{ HV}$). Внедрена модель машинного обучения (обучающие данные 10^5 групп $\pm 10^4$ групп, точность $95\% \pm 2\%$) для прогнозирования роста зерна, что снизило уровень брака на 5%. В будущем параметры можно будет оптимизировать с помощью системы мониторинга в реальном времени (точность датчика $0,01^\circ\text{C} \pm 0,001^\circ\text{C}$), а уровень дефектов можно будет снизить до $0,3\% \pm 0,1\%$.

Устойчивость твердого сплава

Технология переработки снижает потребление материалов на 70% (потребление сырья снижается до $30\% \pm 5\%$, исходя из оценки 1000 кг продукции), снижает углеродный след на 40% (выбросы снижаются до 5 тонн CO_2 /тонну $\pm 0,5$ тонн CO_2 /тонну, стандарт испытаний ISO 14040) и способствует экологичному производству. Используется замкнутая система переработки (эффективность переработки $60\% \pm 5\%$, потребление энергии снижается до $15\% \pm 2\%$) для снижения сброса сточных вод на $50\% \pm 5\%$. В будущем эффективность переработки может быть увеличена до $70\% \pm 5\%$ за счет технологии биовыщелачивания (бактериальная активность $90\% \pm 5\%$, время выщелачивания 10 дней ± 1 день).

Многofункциональные покрытия для твердого сплава

Коэффициент трения самовосстанавливающегося сплава карбида вольфрама кобальта и хрома (WC-12Co4Cr, содержание Co $12\% \pm 1\%$) снижен до $0,06 \pm 0,01$ (стандарт испытаний ASTM G133, нагрузка $5 \text{ Н} \pm 0,5 \text{ Н}$), а радиационно-стойкое покрытие (например, Gd_2O_3 , толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$) выдерживает $10^8 \text{ рад/ч} \pm 10^7 \text{ рад/ч}$ (скорость затухания $99,9\% \pm 0,1\%$, стандарт испытаний ASTM E666), расширяя сферу применения (например, ядерные защитные пластины). Адгезия покрытия составляет $>60 \text{ МПа}$ (испытание на растяжение ASTM D4541), а термостойкость составляет $1300^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$. В будущем коэффициент трения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

может быть снижен до $0,05 \pm 0,01$ за счет нанокompозитных покрытий (таких как WC- TiN , размер частиц < 50 нм, толщина $10 \text{ мкм} \pm 1 \text{ мкм}$), а радиационная стойкость может быть улучшена до $99,95\% \pm 0,05\%$.

13.3.7 Резюме

Благодаря своим превосходным свойствам твердости HV 2000-2500 \pm 30 (стандарт испытаний ISO 6507-1), термостойкости $>1200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (теплопроводность $50 \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \pm 5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) и износу $< 0,03 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$ (стандарт испытаний ASTM G65), цементированный карбид широко используется в футеровках ядерных реакторов (срок службы 12 000 часов \pm 1000 часов), материалах для термоядерного синтеза (срок службы 8000 часов \pm 500 часов), режущих инструментах (например, YG10, срок службы 10 000 часов \pm 1000 часов, стандарт испытаний ISO 3685) и т. д., отвечая требованиям высокой точности (допуск $\pm 0,006 \text{ мм}$) и высокой радиационной стойкости. (стойкость до 10^8 рад/ч). Несмотря на проблемы стоимости и радиационной стабильности (микротрещины $< 0,006 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$), технология горячего прессования и спекания (HP, $1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$)/высокоэнергетического плазменного напыления (HPS, $>1300 \text{ м/с} \pm 10 \text{ м/с}$) и стратегии устойчивого развития (такие как степень переработки $60\% \pm 5\%$) заложили основу для его будущего развития. Следующее поколение ядерной промышленности и высокотемпературного оборудования выиграет от этого, и ожидается, что срок службы будет увеличен до 15 000 часов \pm 1000 часов в 2025-2030 годах.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Ссылки

Чжан Хуа, Ван Цян, Ли Мин. Исследование характеристик покрытий из цементированного карбида для аэрокосмических применений [J]. Журнал авиационных материалов, 2022, 42(3): 101110

, Чжао Ган, Лю Вэй. Высокотемпературные характеристики твердых сплавов для турбинных лопаток [J]. Материаловедение и технологии, 2023, 41(5): 8997 .

Ван Ли, Чжан Чжицян, Чэнь Фэн. Подготовка и применение покрытий WC10Co4Cr в аэрокосмической отрасли [J]. Surface Technology, 2021, 50(6): 123-131

Ян Тао, Лю Ян, Сюй Цзе. Исследование коррозионной стойкости цементированных карбидов для энергетического оборудования [J]. Защита материалов, 2022, 55(4): 7886

Чжан Юн, Ван Сяомин, Ли Цян. Оптимизация покрытий из цементированного карбида для котловых трубопроводов и буровых инструментов [J]. Энергетические материалы, 2023, 39(2): 6775

Чэнь Лихуа, Чжао Мин, Лю Фан. Радиационная стойкость твердых сплавов для ядерной промышленности [J]. Ядерные материалы и машиностроение, 2024, 42(1): 5664

Тао, Чжан Ли, Чэнь Юй. Применение высокотемпературных антиокислительных покрытий в ядерной промышленности [J]. Материаловедение, 2022, 46(8): 134-142

. Покрытия , стойкие к окислению, в ядерной промышленности [J]. Материаловедение, 2022, 46(8): 134-142.

Ли На, Ван Цян, Чжан Хуа. Исследование случая увеличения срока службы компонентов авиационных двигателей [J]. Достижения в области авиационной техники, 2023, 35(3) : 8997 .

Смит Дж., Браун Т., Джонсон Р. Высокотемпературные покрытия для аэрокосмических компонентов [J]. Журнал материаловедения, 2021, 56(7): 245254.

Смит Дж., Браун Т., Джонсон Р. Высокотемпературные покрытия для аэрокосмических компонентов [J]. Журнал материаловедения, 2021, 56(7): 245254.

Танака Х., Ямада К. Радиационностойкие цементированные карбиды для ядерных применений [J]. Журнал Японского общества ядерных материалов, 2023, 89 (2): 123-130.

Ким С., Пак Дж., Ли Х. Коррозионностойкие покрытия для энергетических приложений [J]. Корейский журнал исследований материалов, 2022, 32(5): 234242.

Ким С., Пак Дж., Ли Х. Коррозионностойкие покрытия для энергетических приложений [J]. Корейский журнал исследований материалов, 2022, 32(5): 234242.

ASTM E9217. Стандартные методы испытаний на твердость по Виккерсу[S]. Пекин: China Standards Press, 2017.

ASTM E9217. Методы испытаний на твердость по Виккерсу[S]. Пекин: China Standards Press, 2017.

ASTM G6516. Стандартный метод испытаний для измерения абразивного износа с использованием сухого песка/резинового круга [S]. Пекин: China Standards Press, 2016. ASTM G6516. Стандартный метод

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

испытаний для измерения абразивного износа с использованием сухого песка/резинового круга [S]. Пекин: China Standards Press, 2016.

ASTM B11719. Стандартная практика эксплуатации аппарата для распыления соли (тумана) [S]. Пекин: China Standards Press, 2019.

ASTM B11719. Стандартная практика эксплуатации аппарата для распыления соли (тумана) [S]. Пекин: China Standards Press, 2019.

ASTM C63313. Стандартный метод испытаний на прочность сцепления или когезии термически напыляемых покрытий [S]. Пекин: China Standards Press, 2013.

ASTM C63313. Стандартный метод испытаний на прочность сцепления или когезии термически напыляемых покрытий [S]. Пекин: China Standards Press, 2013.

ISO 21608:2012. Коррозия металлов и сплавов. Метод испытания на изотермическое воздействие окисления [S]. Пекин: China Standards Press, 2012.

ISO 21608:2012. Коррозия металлов и сплавов. Метод испытания на изотермическое воздействие окисления [S]. Пекин: China Standards Press, 2012.

ISO 148:2016.

Металлические материалы. Испытание на удар маятниковым копром по Шарпи [S]. Пекин: China Standards Press, 2016. ISO 148:2016. Металлические материалы. Испытание на удар маятниковым копром по Шарпи [S]. Пекин: China Standards Press, 2016.

ASTM E38417. Стандартный метод испытаний на микроиндентирование твердости материалов [S]. Пекин: China Standards Press, 2017.

ASTM E38417. Стандартный метод испытаний на микроиндентирование твердости материалов [S]. Пекин: China Standards Press, 2017.

ISO 28079:2009. Твердые сплавы — испытание на прочность по Палмквисту [S]. Пекин: China Standards Press, 2009.

ISO 28079:2009. Твердые сплавы — испытание на прочность по Палмквисту [S]. Пекин: China Standards Press, 2009.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

Обзор применения покрытий из твердого сплава в условиях высоких температур

Покрытия из цементированного карбида (например, покрытия на основе карбида вольфрама) широко используются в промышленных сценариях с высокотемпературными средами (400-1000 °C) посредством термического напыления, лазерной наплавки и других технологий из-за их высокой твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и высокотемпературной стабильности, таких как аэрокосмическая, энергетическая, сталелитейная, стекольная и химическая промышленность. В этой статье систематически объясняется роль покрытий из цементированного карбида в условиях высоких температур с точки зрения характеристик покрытия, процесса подготовки, сценариев применения в высокотемпературной среде, преимуществ и недостатков и тенденций развития, а также дается справочная информация по выбору материала.

1. Характеристики покрытия из твердого сплава

Покрытия из цементированного карбида в основном используют карбид вольфрама (WC) в качестве твердой фазы и кобальт (Co), никель (Ni) или хром (Cr) в качестве связующей фазы. Типичные покрытия включают WCCo, WCNi, WCCoCr и т. д. Ниже приведены основные характеристики в условиях высоких температур:

производительность	Типичное значение	проиллюстрировать
твердость	HV 800-1400 (WCCoCr может достигать HV 1400)	Выше, чем у основного материала (например, стали HRC 2040), степень сохранения твердости при высокой температуре (800°C) составляет >80%.
Износостойкость	Скорость износа 0,0010,01 мм ³ / Н·м (ASTM G65, 600800°C)	Срок службы в 515 раз превышает срок службы подложки и подходит для условий высокотемпературной эрозии и износа.
Температурная стойкость	400-900°C (WCCoCr до 900°C, композитное покрытие до 1000°C)	Фаза связывания стабильна и обладает превосходными антиокислительными и термически усталостными свойствами, что делает ее пригодной для высокотемпературных окислительных сред.
Устойчивость к коррозии	Скорость коррозии <0,01 - 0,02 мм/год (pH 68, 600 - 800°C)	Устойчив к воздействию высокотемпературных кислот, щелочей, расплавленных солей и жидких металлов.
Адгезия	50100 МПа (лазерная наплавка >80 МПа, термическое напыление 5080 МПа)	Металлургическое соединение (лазерная наплавка) или механическое соединение (термическое напыление), устойчивое к скалыванию при высоких температурах.
Коэффициент теплового расширения	57×10 ⁻⁶ К ⁻¹ (близко к стальной матрице)	Снижает образование трещин под действием термических напряжений и подходит для условий высокотемпературного цикла.

2. Процесс подготовки покрытия

Покрытия из цементированного карбида изготавливаются с помощью следующих процессов для удовлетворения потребностей высокотемпературных сред:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Технологии	Функции	Преимущества для высокотемпературных применений
Термическое напыление (HVOF)	Высокоскоростное напыление кислородного топлива, пористость <1%, толщина покрытия 50 мкм - 12 мм, износостойкое	Устойчив к высокотемпературной эрозии, подходит для труб котлов и лопаток турбин.
Лазерная наплавка	Металлургическое соединение, степень разбавления <510%, толщина 0,022 мм, подходит для точного ремонта.	Высокая адгезия, подходит для деталей газовых турбин и авиационных двигателей.
Плазменное напыление	Высокотемпературная плазма (10 000–20 000 °C), равномерное покрытие, подходит для сложных геометрических форм.	Высокая температурная стабильность, подходит для труб реакторов на расплавленной соли и стеклянных форм.
Детонационное распыление (DGun)	Сверхвысокая скорость частиц (600-1000 м/с), плотное покрытие и отличная стойкость к эрозии.	Устойчив к высокотемпературному износу, подходит для высокотемпературных форсунок и компонентов камеры сгорания.

3. Сценарии применения в условиях высоких температур

Применение покрытия из цементированного карбида в условиях высоких температур (400-1000°C) охватывает аэрокосмическую, энергетическую, сталелитейную, стекольную, химическую промышленность и другие области. Ниже приведены конкретные сценарии:

промышленность	Части приложения	Применение и сценарии	Улучшения производительности
Аэрокосмическая промышленность	Покрытие лопаток турбины	WCCoCr, устойчивое к высокотемпературному окислению и эрозии, используется в лопатках турбин и камерах сгорания авиационных двигателей (800-900°C).	Термостойкость 900°C, срок службы увеличен в 35 раз, качество поверхности Ra 0,10,2 мкм.
	Форсунка горелки	Топливо или газ для впрыска, устойчивые к высокотемпературному износу и окислению, используемые в реактивных двигателях, ракетных двигателях (700-1000°C).	Срок службы 300-1500 часов, износостойкость увеличена в 510 раз.
	Покрытие для термобарьерного покрытия/Покрытие для выдерживающего высокотемпературные подложки ТВС	WCNi используется в качестве связующего слоя термобарьерного покрытия (ТВС), выдерживающего высокотемпературные тепловые циклы, и применяется в газовых турбинах (800-900°C).	Термическая усталостная прочность увеличивается в 24 раза, а адгезия составляет >80 МПа.
энергия	Покрытие котельных труб	WCCoCr, устойчивое к высокотемпературной эрозии и коррозии, защищает трубы угольных или газовых котлов (600-800°C).	Устойчивость к температурам до 800°C, срок службы увеличен в 24 раза, расходы на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			техническое обслуживание снижены на 2030%.
	Форсунка горелки	Инжекционное мазутное топливо, природный газ, высокая термостойкость, применяется в котлах, печах тепловых электростанций (700-800 °C).	Срок службы 300-1500 часов, скорость коррозии <0,01 мм/год.
	Сопло ядерного реактора	WCNi , наносимое распылением воды или расплавленной соли высокой температуры (400-600°C), устойчивое к радиации и коррозии, используется в реакторах с водой под давлением и реакторах с расплавленной солью.	Срок службы 500-2000 часов, устойчивость к радиационному упрочнению <20%, устойчивость к pH 210.
Сталь	Покрытие валков прокатного стана	WCCo , устойчивое к высокотемпературному износу и окислению, используется в производстве горячекатаных стальных листов и арматуры (600-800°C).	Твердость HV 1000-1200, срок службы увеличен в 35 раз, качество поверхности улучшено на 20%.
	Покрытие форсунки/Распылительная форсунка	Распыляемая охлаждающая жидкость или десульфурierende жидкость, стойкая к высокотемпературной коррозии, используемая в машинах непрерывного литья заготовок и системах десульфурации (500-700°C).	Срок службы 500-2000 часов, коррозионная стойкость увеличена в 510 раз.
	Покрытие плесени	WCNi , устойчивое к высокотемпературному износу, используется для штампов для формовки заготовок (700-900°C).	Срок службы увеличивается в 24 раза, а сопротивление термической усталости повышается на 30%.
Производство стекла	Покрытие для стеклянных форм	WCCoCr , устойчивое к высокотемпературному окислению и коррозии под воздействием стеклнной жидкости, используется для стеклянных бутылок и формования листового стекла (600-800°C).	Температурная стойкость 800°C, срок службы увеличен в 35 раз, шероховатость поверхности Ra 0,050,2 мкм .
	Покрытие конвейерных валков	WCNi , устойчивое к высокотемпературному износу и адгезии, используется для роликов конвейеров в печах для отжига стекла (500-700°C).	Срок службы увеличен в 23 раза, что сокращает время простоя из-за технического обслуживания на 30%.
	Покрытие форсунки/Распылительная форсунка	Распылительное охлаждающее вещество – газ или жидкость, устойчивое к высокотемпературной коррозии, используется на линиях по производству	Срок службы 3001500 часов, износостойкость увеличена в 510 раз.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		стекла (500-600°C).	
Химикаты	Покрытие труб реактора	WCCoCr , устойчивое к высокотемпературной химической коррозии, защищает трубы высокотемпературного реактора (400-700°C).	Устойчив к pH 210, срок службы увеличен в 25 раз, скорость коррозии <0,01 мм/год.
	Коррозионнотойкая насадка	Распыляемые растворы кислот и щелочей или высокотемпературные газы, устойчивые к коррозии и износу, используемые для химических реакций, десульфурации и денитрификации (400-600°C).	Срок службы составляет 500-2000 часов, а стойкость к высоким температурам и кислотно-щелочным воздействиям улучшена в 510 раз.
	Покрытие клапана	WCNi , устойчивое к высокотемпературной эрозии, используется для клапанов, работающих с высокотемпературными химическими жидкостями или газами (400-600°C).	Твердость HV 800-1200, срок службы увеличен в 35 раз, эффективность уплотнения улучшена на 20%.

Примеры:

Авиационные двигатели: покрытие WCCoCr (лазерная наплавка), нанесенное на лопатки турбин, устойчиво к окислению при высокой температуре 900 °C, срок службы увеличен в 4 раза, качество поверхности Ra 0,1 мкм , а расходы на техническое обслуживание снижены на 25% (Web ID 7, 15).

Тепловая энергетика: покрытие WCCoCr (HVOF) защищает трубы котла, выдерживает эрозию при температуре 800 °C, продлевает срок службы в 3 раза и сокращает время простоя на 30 % (Web ID 15).

Производство стекла: для формования стекла используется покрытие WCCo (плазменное напыление), которое может противостоять коррозии стекла при температуре 800°C, продлевает срок службы в 3,5 раза и увеличивает выход годного на 20% (Web ID 7).

Ядерные реакторы: покрытие сопел WCNi (лазерная наплавка) в реакторах на расплавленных солях, устойчивое к коррозии расплавленными солями при температуре 600 °C, срок службы 2000 часов и стойкость к радиационному упрочнению <15% (Web ID 19, 20).

4. Сравнение преимуществ и недостатков

категория	преимущество	недостаток
Карбидное покрытие	Высокая твердость (HV 800-1400), износостойкость при высоких температурах увеличена в 515 раз. Температурная стойкость 400-1000°C, отличные антиокислительные и термически усталостные свойства. Коррозионная стойкость (pH 210), подходит для высокотемпературных кислотных и щелочных сред. Продлевает срок службы оборудования в 25 раз и снижает затраты на	Стоимость подготовки высока (инвестиции в лазерную наплавку и оборудование HVOF составляют 100,5 млн юаней). Необходимо оптимизировать однородность покрытия деталей сложной геометрической формы. При очень высоких температурах (>1000°C) связующая фаза может размягчиться.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

техническое обслуживание на 20-30%.	Существует риск активации Co60 в покрытиях WCCo в ядерных приложениях.
-------------------------------------	--

5. Тенденции развития

тенденция	Техническое направление	Ожидаемые результаты
Новые Материалы	Нано- WCCoCr (зерна < 50 нм), твердость HV 1500, термостойкость 1000°C.	Износостойкость при высоких температурах увеличивается на 40%, а срок службы увеличивается в 2 раза.
Композитный сплав с высокой энтропией	Покрытие WCHEA (например, WCHfTaTiVZr) имеет термостойкость 1200°C и стойкость к радиационному упрочнению <10%.	Адаптирован к сверхвысоким температурам и ядерной среде, срок службы увеличен в 3 раза.
Передовые технологии	Сверхскоростная лазерная наплавка (EHLA), толщина 20100 мкм , скорость сканирования 50 м /мин.	Эффективность возросла на 50%, а стоимость снизилась на 20%.
Разумный	ИИ оптимизирует параметры покрытия (погрешность мощности и скорости <1%) и отслеживает высокотемпературные характеристики в режиме реального времени.	Стойкость покрытия улучшается на 30%, а уровень дефектов снижается на 50%.
Зелёные технологии	Низкоэнергетический лазер (потребление энергии снижено на 20%), нетоксичный порошок и сниженный уровень выбросов выхлопных газов.	Соблюдайте стандарты экологического производства и сократите загрязнение окружающей среды на 30%.

6. Заключение

Благодаря термическому напылению, лазерной наплавке и другим технологиям покрытия из цементированного карбида демонстрируют превосходные характеристики в условиях высоких температур (400-1000 °C), с твердостью HV 800-1400, износостойкостью, увеличенной в 515 раз, а также коррозионной стойкостью (pH 210) и термостойкостью, которые соответствуют строгим требованиям таких отраслей, как аэрокосмическая, энергетическая, сталелитейная, стекольная и химическая. Типичные области применения включают лопатки турбин, котельные трубы, стеклянные формы, сопла ядерных реакторов и т. д., с увеличенным в 25 раз сроком службы и сниженными на 20-30% расходами на техническое обслуживание. В ядерной промышленности покрытия WCNi и WCHEA улучшают радиационную стойкость за счет конструкции с низкой активацией. В будущем нанопокртия, композиты из высокоэнтропийных сплавов, процессы EHLA и интеллектуальные технологии будут способствовать применению покрытий из цементированного карбида в условиях сверхвысоких температур и экстремальных условий, обеспечивая ключевую поддержку для эффективного и надежного промышленного оборудования.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Использованные твердосплавные лезвия подлежат переработке


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

приложение:

Обзор применения покрытий из твердого сплава в сфере энергетики

Покрытия из цементированного карбида (например, покрытия на основе карбида вольфрама) используются в сфере энергетики посредством термического напыления, лазерной наплавки и других технологий из-за их высокой твердости, износостойкости и коррозионной стойкости, что значительно повышает срок службы и эффективность оборудования. Они широко используются в нефтегазовой, ядерной энергетике, тепловой энергетике, возобновляемой энергетике и оборудовании для хранения энергии. В этой статье систематически объясняется роль покрытий из цементированного карбида с точки зрения характеристик покрытия, технологии процесса, сценариев применения и тенденций развития в сфере энергетики, а также дается справочная информация по выбору материалов в энергетической промышленности.

1. Характеристики покрытия из твердого сплава

Покрытия из цементированного карбида в основном используют карбид вольфрама (WC) в качестве твердой фазы и кобальт (Co), никель (Ni) или хром (Cr) в качестве связующей фазы. Типичные покрытия включают WCCo, WCNi, WCCoCr и т.д. Ниже приведены основные характеристики:

производительность	Типичное значение	проиллюстрировать
твердость	HV 800-1400 (WCCoCr может достигать HV 1400)	Выше, чем у основного материала (например, стали HRC 2040), износостойкость увеличивается в 515 раз.
Износостойкость	Скорость износа 0,0010,01 мм ³ / Н·м (ASTM G65)	Срок службы в 520 раз превышает срок службы подложки и подходит для условий высокого износа.
Устойчивость к коррозии	Скорость коррозии <0,01–0,02 мм/год (нейтральный солевой туман, pH 68; WCCoCr устойчив к pH 210)	Применимо к средам с кислотами, щелочами, жидкими металлами и расплавленными солями.
Температурная стойкость	400-900°C (WCCoCr может достигать 900°C)	Подходит для условий высоких температур, например, для котлов и газовых турбин.
Адгезия	50100 МПа (лазерная наплавка >80 МПа, термическое напыление 5080 МПа)	Металлургическое соединение (лазерная наплавка) или механическое соединение (термическое напыление), высокая стойкость к отслаиванию.
Пористость	<115% (HVOF, лазерная наплавка <1%, газопламенное напыление 515%)	Низкая пористость повышает коррозионную стойкость и плотность.

2. Технология нанесения покрытия

Покрытия из цементированного карбида в основном изготавливаются с использованием следующих технологий для удовлетворения различных потребностей энергетического сектора:

Технологии	Функции	Применимые сценарии
------------	---------	---------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Термическое напыление (HVOF)	Высокоскоростное кислородно-топливное напыление, пористость <1%, толщина покрытия 50 мкм-2 мм, высокая плотность и износостойкость.	Инструменты для бурения нефтяных скважин, котельные трубы, насосы и клапаны.
Лазерная наплавка	Металлургическое соединение, степень разбавления <510%, толщина 0,022 мм, подходит для точного ремонта.	Лопатки газовых турбин, сопла ядерных реакторов, компоненты накопителей энергии.
Плазменное напыление	Высокотемпературная плазма (10 000–20 000 °C), равномерное покрытие, подходит для сложных геометрических форм.	Компоненты турбины, трубы реактора на расплавленной соли.
Детонационное распыление (D Gun)	Сверхвысокая скорость частиц (600-1000 м/с), плотное покрытие и отличная стойкость к эрозии.	Насосы и клапаны высокого давления, долота для глубокого бурения.

3. Сценарии применения в энергетическом секторе

Применение покрытий из цементированного карбида в области энергетики охватывает нефть и газ, ядерную энергетику, тепловую энергетику, возобновляемые источники энергии и оборудование для хранения энергии. Ниже приведены конкретные сценарии:

Энергия	Части приложения	Применение и сценарии	Улучшения производительности
Нефть и газ	Покрытие сверла	Покрытие WCCo или WCCoCr может повысить износостойкость и ударопрочность долота и используется для бурения глубоких скважин и добычи сланцевого газа.	Твердость HV 1200-1400, срок службы 500-2000 часов, эффективность повышена на 20-30%.
	Покрытие сверла		
	Форсунки для нефтяных месторождений	Буровой раствор струйной очистки, химическая жидкость, стойкая к высокому давлению (50-200 МПа) и коррозии (pH 2-10), применяется для очистки и бурения скважин.	Срок службы 500-2000 часов, скорость коррозии <0,01 мм/год.
	Насадка для нефтяного месторождения		
	Покрытие трубопровода	WCNi защищает нефтепроводы, противостоит эрозии и химической коррозии и используется на морских нефтяных месторождениях и магистральных трубопроводах.	Износостойкость увеличивается в 510 раз, а затраты на техническое обслуживание снижаются на 30%.
	Покрытие трубопровода		
Ядерная энергия	Покрытие форсунки	WCNi или WCHEA, наносимое распылением высокотемпературной воды или расплавленной соли, устойчивое к радиации (1050 dpa) и коррозии, используется в реакторах с водой под давлением и реакторах с расплавленной солью.	Срок службы 500-2000 часов, стойкость к радиационному излучению <20%, стойкость IASCC.
	Покрытие форсунок		
	Покрытие клапана насоса	Покрытие WCCoCr, устойчивое к коррозии и эрозии под воздействием жидких металлов (таких как свинец и висмут), используется в быстрых реакторах и системах ADS.	Устойчив к температурам до 600-800°C, коррозионная стойкость повышена в 10 раз, срок службы увеличен в 35 раз.
	Покрытие клапана насоса		

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	Покрытие контейнеров для ядерных отходов Покрытие контейнера для отходов	WCTiC , устойчивое к радиации и химической коррозии, используется для защиты поверхности резервуаров для хранения ядерных отходов.	Твердость HV 800-1400, противонабухание <0,5%, срок службы увеличен в 35 раз.
Тепловая генерация электроэнергии	Покрытие котельных труб Покрытие котельных труб	WCCoCr устойчиво к высокотемпературной эрозии и коррозии и защищает трубы угольных или газовых котлов.	Устойчивость к температурам до 800-900°C, срок службы увеличен в 24 раза, затраты на обслуживание снижены на 20-30%.
	Форсунка сгорания Форсунка горелки	Авиационное топливо, природный газ, устойчиво к высоким температурам (800°C) и истиранию, используется в котлах и печах.	Срок службы 3001500 часов, износостойкость увеличена в 510 раз.
	Покрытие лопаток турбины Покрытие лопаток турбины	WCNi , устойчивое к высокотемпературному окислению и эрозии, используется для лопаток газовых турбин.	Термостойкость 900°C, срок службы увеличен в 35 раз, качество поверхности Ra 0,10,2 мкм .
Возобновляемая энергия	Покрытие шестерни ветряной турбины Покрытие для зубчатых передач ветряных турбин	WCCo , повышающее износостойкость зубчатых передач, используется в редукторах ветряных турбин.	Твердость HV 1000-1200, срок службы увеличен в 23 раза, эффективность повышена на 15%.
	Покрытие лопастей гидроэлектростанций Покрытие лопаток гидротурбины	WCCoCr , устойчивое к эрозии под воздействием потока воды и кавитации, используется для лопаток турбин и направляющих аппаратов.	Срок службы увеличивается в 35 раз, а эрозийная стойкость повышается в 10 раз.
	Геотермальное покрытие труб Покрытие геотермальных труб	WCNi , устойчивое к высокотемпературной коррозии и износу, используется для трубопроводов геотермальной энергетики.	Температурная стойкость 500-700°C, скорость коррозии <0,01 мм/год, срок службы увеличен в 24 раза.
Оборудование для хранения энергии	Покрытие для аккумуляторной батареи Покрытие для батарей	WCCo повышает износостойкость штамповочных штампов полюсных наконечников литиевых батарей и используется при производстве аккумуляторов.	Срок службы увеличивается в 25 раз, а шероховатость поверхности составляет Ra 0,050,2 мкм .
	Покрытие компонентов гидроаккумулирующих установок	WCCoCr , устойчивое к водной эрозии, используется для насосов, клапанов и рабочих колес на гидроаккумулирующих электростанциях.	Срок службы увеличивается в 35 раз, а эрозийная стойкость повышается в 510 раз.
	Покрытие для хранения энергии	WCNi , устойчивое к износу под воздействием	Твердость HV 800-1200,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сжатого воздуха	Покрытие компонента CAES	газа высокого давления, используется для клапанов в системах хранения энергии на сжатом воздухе.	срок службы увеличен в 24 раза, эффективность повышена на 1020%.
-----------------	--------------------------	--	--

Примеры:

Бурение нефтяных скважин: При добыче сланцевого газа буровые долота с покрытием WCCoCr (процесс HVOF) имеют твердость HV 1400 и срок службы 1500 часов, что в три раза выше, чем у буровых долот без покрытия, а эффективность бурения увеличивается на 25% (Web ID 15).

Ядерные реакторы: покрытие сопел WCNi (лазерная наплавка) в реакторах с водой под давлением, устойчиво к облучению 10 сна, срок службы 2000 часов, скорость коррозии <0,01 мм/год, отсутствие риска излучения Co60 (веб-идентификатор 19, 20).

Лопастей гидроэлектростанций: покрытие WCCoCr (плазменное напыление), нанесенное на лопатки турбин, повышает кавитационную стойкость в 10 раз, увеличивает срок службы в 4 раза и снижает затраты на техническое обслуживание на 30% (Web ID 7).

Форма для литевых аккумуляторов: для штамповки полюсных наконечников используется покрытие WCCo (лазерная наплавка), твердость HV 1200, срок службы увеличен в 3 раза, шероховатость поверхности Ra 0,1 мкм, что обеспечивает точность изготовления аккумуляторов (Web ID 3).

4. Сравнение преимуществ и недостатков

категория	преимущество	недостаток
Карбидное покрытие	Высокая твердость (HV 800-1400), износостойкость увеличена в 520 раз. Коррозионная стойкость (pH 210), термостойкость 400-900°C. Продлевает срок службы оборудования в 25 раз и снижает затраты на техническое обслуживание на 20-30%. Применимо к различным основаниям (сталь, никелевые сплавы).	Стоимость подготовки высока (инвестиции в оборудование для HVOF и лазерной наплавки составляют 100,5 млн юаней). Необходимо оптимизировать однородность покрытия деталей сложной геометрической формы. Толстые покрытия (>2 мм) могут иметь микротрещины. Традиционные покрытия WCCo в ядерных приложениях имеют риск активации Co60.

5. Тенденции развития

тенденция	Техническое направление	Ожидаемые результаты
Новые Материалы	Nano- WCCoCr (зерна <50 нм), твердость HV 1500, стойкость к радиационному упрочнению <10%.	Износостойкость увеличивается на 40%, а срок службы ядерных установок увеличивается в 2 раза.
Покрытие низкой активацией	с WCNi и WCHEA созданы на основе низкоактивируемых элементов, таких как Ti, Zr и Nb, а уровень активации снижен на 70%.	Он достигнет «ручного» качества в течение 12 лет после применения в ядерной области, что облегчит его переработку.
Передовые технологии	Сверхскоростная лазерная наплавка (EHLA), толщина 20100 мкм, скорость сканирования 50 м /мин.	Эффективность возросла на 50%, а стоимость снизилась на 20%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Разумный	ИИ оптимизирует параметры покрытия (погрешность мощности и скорости <1%) и отслеживает качество покрытия в режиме реального времени.	Стойкость покрытия улучшается на 30%, а уровень дефектов снижается на 50%.
Зелёные технологии	Низкоэнергетический лазер (потребление энергии снижено на 20%), нетоксичный порошок и сниженный уровень выбросов выхлопных газов.	Соблюдайте стандарты экологического производства и сократите загрязнение окружающей среды на 30%.

6. Заключение

Благодаря термическому напылению, лазерной наплавке и другим технологиям покрытия из цементированного карбида продемонстрировали превосходные характеристики в области энергетики, с твердостью HV 800-1400, износостойкостью, увеличенной в 520 раз, коррозионной стойкостью (pH 210) и термостойкостью (400-900 °C), что соответствует строгим требованиям нефтегазовой, ядерной энергетики, тепловой энергетики, возобновляемой энергетики и оборудования для хранения энергии. Типичные области применения включают буровые долота, сопла, котельные трубы, турбинные лопатки и формы для аккумуляторов, при этом срок службы увеличивается в 25 раз, а расходы на техническое обслуживание снижаются на 20-30%. В области ядерной энергетики покрытия WCNi и WCHEA дополнительно улучшают стойкость к радиации за счет конструкции с низкой активацией. В будущем нанопокртия, процессы EHLA, интеллектуальные и зеленые технологии будут способствовать широкому применению покрытий из цементированного карбида в области энергетики, обеспечивая ключевую поддержку для эффективного, надежного и экологически чистого энергетического оборудования.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

Обзор радиационно-стойких твердых сплавов для ядерной энергетики

Твердый сплав (например, сплавы на основе карбида вольфрама) имеет потенциальные преимущества в качестве материала для ключевых компонентов, таких как сопла, режущие инструменты и формы в ядерной промышленности, благодаря своей высокой твердости, износостойкости и коррозионной стойкости. Однако сильное нейтронное облучение, высокая температура и высокое давление, а также коррозионные теплоносители в среде ядерного реактора предъявляют строгие требования к свойствам материала, а традиционный твердый сплав имеет ограничения по радиационной стойкости. В последние годы высокоэнтропийные сплавы (HEA) и новые твердые сплавы показали превосходную радиационную стойкость благодаря оптимизированному составу и микроструктурному дизайну и подходят для ядерных реакторов деления четвертого поколения, ядерных термоядерных реакторов и систем с ускорителем (ADS). В этой статье рассматриваются потребности в ядерной промышленности, конструкция материалов, эксплуатационные характеристики, сценарии применения и тенденции развития радиационно-стойких твердых сплавов, что дает справочную информацию для выбора материалов для ядерной промышленности.

1. Необходимость в стойком к облучению твердом сплаве для ядерных применений

Ядерные реакторы (особенно реакторы деления и термоядерные реакторы четвертого поколения) работают в экстремальных условиях, и материалы должны соответствовать следующим требованиям:

нуждаться	Особые требования
Стойкость к радиации	Выдерживает высокие дозы нейтронного облучения (10100 сна), устойчив к радиационному упрочнению, набуханию, сегрегации и гелиевой хрупкости.
Высокотемпературные характеристики	Сохраняет прочность, ударную вязкость и сопротивление ползучести при температуре 400-1000°C.
Устойчивость к коррозии	Устойчив к коррозии, вызываемой водой высокой температуры и высокого давления, жидкими металлами (такими как свинец, натрий) или расплавленными солями, а также устойчив к среде с pH 2,14.
Механические свойства	Высокая твердость (HV 800-1400), устойчивость к износу, коррозионному растрескиванию под напряжением (SCC) и коррозионному растрескиванию под действием облучения (IASCC).
Низкая активация	После облучения он быстро достигает уровня активации «ручного класса», что снижает радиоактивное загрязнение и облегчает последующую обработку и переработку.

Обычные цементированные карбиды (например, WCCo) сталкиваются со следующими проблемами в ядерной среде:

Повреждение от облучения: Нейтронное облучение (>1 сна) вызывает образование дислокационных петель, пустот и пузырьков гелия, вызывая упрочнение (твердость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

увеличивается на 20–50%) и охрупчивание (прочность уменьшается на 30–50%).

Активация кобальта: под воздействием облучения Co образует Co β 0 (период полураспада 5,27 года), который выделяет сильные гамма-лучи и увеличивает риск радиационного облучения.

Ограничение по высоким температурам: связующая фаза WCCo Co размягчается при температуре >800°C, а механические свойства ухудшаются.

Поэтому при разработке радиационно-стойких твердых сплавов необходимо сосредоточиться на связующих фазах без кобальта или с низкой степенью активации, оптимизации наноструктуры и разработке высокоэнтропийных сплавов.

2. Разработка материала из радиационно-стойкого твердого сплава

Для удовлетворения потребностей ядерной энергетики радиационно-стойкий цементированный карбид оптимизируется с помощью следующих стратегий:

2.1 Фаза связующего вещества без кобальта или с низкой степенью активации

Замена связующей фазы: замените Co на Ni, Fe или Cr, чтобы уменьшить образование радиоактивного Co β 0. Например, коррозионная стойкость покрытия WCNi в среде с pH 210 эквивалентна стойкости WCCo, а уровень активации снижается более чем на 50%.

спекания используется чистая WC или композитная керамика на основе WC (например, WCTiC), что снижает радиационное повреждение связующей фазы.

2.2 Наноструктура и захват высокоточечных дефектов

Нанокристаллическое упрочнение: Контроль размера зерна до 50200 нм увеличивает плотность границ зерен, которые служат точками захвата для точечных дефектов (таких как вакансии и межузельные атомы) и уменьшают радиационное распухание (<0,5% против 25% для обычных сплавов). Например, W0.5TiC (размер зерна 50200 нм) не имеет очевидного упрочнения при 600°C и 2×10^{24} н/м² нейтронном облучении.

Дисперсионное упрочнение: Добавить TiC, Наночастицы ZrC или оксида (например, Y₂O₃) образуют высокоплотные точки захвата дефектов, подавляют рост пузырьков и отверстий гелия и повышают стойкость к радиации.

2.3 Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) и композиты на основе цементированного карбида

Высокоэнтропийный цементированный карбид: композитные высокоэнергетические материалы (например, HfTaTiVZr) с WC, использующие преимущества сложного энергетического ландшафта и низкой энергии миграции дефектов высокоэнергетических материалов для снижения сегрегации и образования пустот, вызванных облучением. HfTaTiVZr упрочняется только на 20% под действием 4,4 МэВ Ni²⁺ облучения, что намного меньше, чем 50% нержавеющей стали 304.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Низкоактивируемые высокоактивируемые сплавы: на основе низкоактивируемых элементов, таких как Zr, Ti, Nb, V и Al (например, ZrNbVTiAl), они образуют объемно-центрированную кубическую (ОЦК) структуру, которая имеет лучшую стойкость к радиационному набуханию, чем традиционные сплавы с гранцентрированной кубической (ГЦК) решеткой, и прочность 1,25 ГПа.

Механизм: Высокий энтропийный эффект и искажение решетки ВЭС замедляют диффузию дислокационных петель и подавляют вызванные облучением фазовый переход и сегрегацию.

2.4 Покрытие и модификация поверхности

Покрытия на основе WC (например, покрытия Hardide), нанесенные методом химического осаждения из паровой фазы (CVD) или лазерной наплавки, имеют твердость HV 800-1400, пористость <1%, устойчивы к коррозии и не имеют риска заражения Co60.

композит WC и высокоэнтропийной керамики (например, (TiZrNbTaCr)C), растворимость Cr 3,8 ат.%, твердость HV 1200-1500, термостойкость 1900°C и радиационная стойкость улучшены на 30%.

3. Эксплуатационные характеристики радиационно-стойкого твердого сплава

Благодаря вышеуказанной конструкции радиационно-стойкий цементированный карбид проявляет следующие свойства:

производительность	Типичное значение	проиллюстрировать
твердость	HV 8001500 (WCHEA до HV 1500)	выше, чем у традиционного WCCo (HV 800-1400), улучшена в 510 раз.
Пористость	<1% (нанокристаллический WCTiC < 0,5%)	Низкая пористость снижает агрегацию пузырьков гелия и повышает радиационную стойкость.
Адгезия	50100 МПа (лазерная наплавка WCHEA)	Металлургическое соединение, лучше, чем термическое напыление (3080 МПа), устойчиво к скалыванию.
Радиационное упрочнение	Увеличение твердости <20% (110 др. против 50% для обычных сплавов)	Наноструктура и эффект высокой энтропии подавляют образование дислокационных петель и отверстий.
Противоотечное	Объемное расширение <0,5% (1050 др. 600°C)	ОЦК-структура и места захвата дефектов снижают миграцию вакансий, что лучше, чем у традиционных сплавов (25%).
Устойчивость к коррозии	Скорость коррозии <0,01 мм/год (pH 214, среда расплавленной соли)	Подходит для сред с высокой температурой воды, жидких металлов или расплавленных солей.
Температурная стойкость	5001000°C (WCHEA до 1000°C)	Подходит для высокотемпературных условий ядерных реакторов, сопротивление ползучести улучшено в 23 раза.

4. Сценарии применения ядерной энергии

Применение радиационно-стойкого цементированного карбида в ядерной промышленности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

в основном сосредоточено в соплах, режущих инструментах, формах и структурных компонентах. Ниже приведены конкретные сценарии:

Области применения	Тип продукта	Применение и сценарии	Улучшения производительности
Компоненты активной зоны ядерного реактора	Насадка	Впрыскиваемый теплоноситель (например, высокотемпературная вода, расплавленная соль) для реакторов с водой под давлением (PWR), быстрых реакторов или реакторов с расплавленной солью, устойчивый к радиации и коррозии.	Давление 50200 МПа, срок службы 5002000 часов, устойчивость к pH 214 и устойчивость к IASCC.
	Режущий инструмент	Обработка компонентов ядерного топлива и оболочек из циркониевого сплава, стойких к радиационному упрочнению, сохранение остроты режущей кромки.	Твердость HV 1200-1500, срок службы увеличен в 35 раз, устойчив к радиации 10 дра.
	Форма	Производство ядерных топливных стержней и компонентов реакторов, устойчивых к высокотемпературному износу и радиационному воздействию.	Термостойкость 800-1000°C, износостойкость улучшена в 510 раз.
Утилизация ядерных отходов	Насадка	Распыление химической жидкости или воды под высоким давлением для очистки контейнеров или труб с ядерными отходами. Устойчив к сильным кислотам, щелочам и радиации.	Устойчив к pH 210, срок службы 500-2000 часов, скорость коррозии <0,01 мм/год.
	Износостойкое покрытие	Покрытие наносится на поверхность резервуаров для хранения ядерных отходов для защиты от радиации и химической коррозии.	Твердость HV 800-1400, стойкость к радиационному упрочнению <20%, срок службы увеличен в 35 раз.
Термоядерный реактор	Материал для плазменной облицовки (PFM)	В качестве диверторного или первого настенного покрытия (например, WC ₂ TiC), устойчивого к высокому тепловому потоку и нейтронному облучению.	Термостойкость 1000°C, противонабухание <0,5%, противодействие образованию пузырьков гелия, срок службы увеличен в 23 раза.
Система привода ускорителя (ADS)	Насадка	Распыление жидких металлических мишеней (например, свинцово-висмутовых), устойчивых к высоким температурам, радиации и коррозии жидких металлов.	Температурная стойкость 600-800°C, срок службы 500-2000 часов, коррозионная стойкость увеличена в 5 раз.

Примеры:

Сопло реактора с водой под давлением: сопло WCNi распыляет воду высокой температуры (320 °C, 150 МПа) в реакторе с водой под давлением, выдерживает облучение 10 сна и имеет срок службы 1500 часов, что больше, чем у традиционного WCCo (800 часов).

Покрытие дивертора термоядерного синтеза: покрытие W0.5TiC на диверторе ИТЭР не упрочняется при температуре 600°C и нейтронном облучении 2×10^{24} н/м², а порог

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стойкости к скалыванию гелия увеличивается в 10 раз.

Очистка ядерных отходов: сопла с покрытием WCHEA имеют срок службы 2000 часов в химической жидкости с рН 210, устойчивость к радиационному излучению <15% и снижают риск излучения Со60.

5. Сравнение преимуществ и недостатков

категория	преимущество	недостаток
Радиационно-стойкий цементированный карбид	Высокая твердость (HV 800-1500), износостойкость увеличена в 510 раз. Отличная радиационная стойкость (закалка <20%, набухание <0,5%). Коррозионностойкий и высокотемпературный (500-1000°C). Конструкция без кобальта или с низкой активацией снижает риск радиации.	Стоимость подготовки высока (например, лазерная наплавка, плазменное спекание). Обработка наноструктур сложна и требует точного контроля. Недостаточно данных о производительности для долгосрочного облучения (>50 дрa). Равномерность покрытия сложных геометрических деталей все еще нуждается в оптимизации.

6. Тенденции развития

тенденция	Техническое направление	Ожидаемые результаты
Новые Материалы	Композит нано-WCHEA (например, WCHfTaTiVZr), размер зерна <50 нм, твердость HV 1500.	Радиационное упрочнение <10%, срок службы увеличен в 2 раза.
Конструкция с низкой активацией	Для RAHEA на основе Ti, Zr, Nb и V уровень активации снижается на 70%.	Он достигает «ручного качества» в течение 12 лет после облучения и легко поддается вторичной переработке.
Передовые технологии	Сверхскоростная лазерная наплавка (EHLA), толщина покрытия 20100 мкм, скорость сканирования 50 м/мин.	Эффективность возросла на 50%, а стоимость снизилась на 20%.
Разумный	ИИ оптимизирует параметры оболочки (погрешность мощности и скорости <1%) и отслеживает радиационные повреждения в режиме реального времени.	Стабильность качества покрытия улучшилась на 30%, а уровень дефектов снизился на 50%.
Композитное покрытие	В состав WC входит высокоэнтропийная керамика (например, (TiZrNbTaCr)C), которая имеет термостойкость 1200°C и на 40% более высокую радиационную стойкость.	Адаптация к экстремальным условиям работы термоядерных реакторов позволила расширить область применения на 50%.

7. Заключение

Радиационно-стойкий цементированный карбид значительно улучшил свои характеристики в ядерных приложениях за счет фазы связи без кобальта, наноструктуры и конструкции сплава с высокой энтропией. Его твердость достигает HV 800-1500, сопротивление радиационному упрочнению составляет <20%, сопротивление распуханию составляет <0,5%, а термостойкость составляет 500-1000 °C. Он подходит для сопел ядерных реакторов, режущих инструментов, форм и плазменных материалов. По сравнению с традиционным

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WCCo новые цементированные карбиды (такие как WCNi и WCHEA) имеют преимущества в радиационной стойкости, коррозионной стойкости и низкой активации, особенно в реакторах деления четвертого поколения, термоядерных реакторах и ADS. В будущем композиты нано-WCHEA, процессы EHFA и интеллектуальные технологии еще больше улучшат радиационную стойкость и эффективность производства, а также обеспечат высокопроизводительные решения в области экологически чистых материалов для ядерной промышленности.



Фреза с твердосплавным покрытием

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

приложение:

ISO 28079:2009 Твердый сплав
— Тест на прочность по Палмквисту
ISO 28079:2009 Твердые сплавы
— Тест на прочность по Палмквисту

ISO 28079:2009 определяет стандартизированный метод измерения ударной вязкости по Палмквисту твердых сплавов и керметов при комнатной температуре с использованием метода индентирования. Стандарт применяется к карбидам и карбонитридам с металлической связкой (обычно называемым карбидами, керметами или керметами) и рассчитывает ударную вязкость путем измерения общей длины трещины в углу отпечатка твердости по Виккерсу. Испытание в первую очередь предназначено для условий комнатной температуры, но может быть расширено до более высоких или более низких температур по соглашению. Испытание проводится в обычной лабораторной воздушной среде и не предназначено для использования в коррозионных средах, таких как сильные кислоты или морская вода. Ниже приведен полный текст стандарта, охватывающий область применения, принципы, процедуры, расчеты и требования, организованные на основе доступной информации.

1. Область применения

Цель: Определить метод измерения вязкости Палмквиста, параметра вязкости разрушения, основанного на длине трещины, для твердых сплавов и металлокерамики .

Материалы: Подходит для металлических карбидов и карбонитридов, таких как карбид вольфрама-кобальта (WCCo) и другие цементированные карбиды.

состояние:

Выполнять при комнатной температуре (обычно 20–25 °C).

По взаимному согласию может быть продлен до более высоких или более низких температур.

Подходит для использования в лабораторных условиях, не подходит для агрессивных сред (например, сильных кислот, морской воды).

Выходные данные: обеспечивает определение вязкости разрушения (K_{Ic} , в МПа·м^{1/2}) или связанных с ней параметров на основе измерения длины трещины.

2. Нормативные ссылки

Для обеспечения единообразия процедур и терминологии стандарт ссылается на следующие документы:

ISO 3878: Твердый сплав – испытание на твердость по Виккерсу.

ISO 3252: Порошковая металлургия — Словарь.

ISO 65071: Металлические материалы. Испытание на твердость по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания.

Эти стандарты обеспечивают точность измерения твердости и единообразие терминологии.

3. Термины и определения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ключевые термины, определенные в стандарте в соответствии с ISO 3252, включают:
Композитный материал, состоящий из твердой карбидной или карбонитридной фазы (например, WC, TiC) и металлической фазы (например, Co, Ni).
Вязкость по Палмквисту: вязкость разрушения, измеряемая по общей длине угловой трещины вдавливания по Виккерсу, выражается как K_{Ic} (МПа·м^{1/2}).
Твёрдость по Виккерсу (HV): твёрдость, измеренная по методу Виккерса в Н/мм² (МПа).
Длина трещины (T): Общая длина трещин по четырем углам углубления Виккерса в миллиметрах.

4. Принцип

Испытание на вязкость по Палмквисту измеряет вязкость разрушения твердого сплава путем анализа трещины, образующейся при вдавливании твердого индентора по Виккерсу:
Вдавливание: алмазный индентор Виккерса прикладывает определенную нагрузку (обычно 30 кгс или 294,2 Н) для формирования квадратного углубления с трещинами по углам.
Измерение трещин: измерьте общую длину (T) трещин по четырем углам.
 K_{Ic} на основе твердости по Виккерсу (HV), нагрузки на индентор (P) и общей длины трещины (T) с использованием эмпирических или теоретических моделей.
Этот метод особенно подходит для хрупких материалов, таких как твердый сплав, где образование трещин при вдавливании предсказуемо.

5. Оборудование

Для проведения теста требуется высокоточное оборудование, гарантирующее точность результатов:
Твердомер по Виккерсу: соответствует стандарту ISO 65071, может прикладывать определенную нагрузку (например, 30 кгс или 294,2 Н) с точностью $\pm 1\%$.
Алмазный индентор: геометрия Виккерса (противоположный угол 136°), без дефектов.
Оптический микроскоп: увеличение от 100x до 500x, разрешение $\leq 0,001$ мм, для измерения длины трещин.
Оборудование для подготовки проб:
Шлифовальный и полировальный инструмент, шероховатость поверхности $Ra \leq 0,05$ мкм.
Чистящие средства (например, этанол) для удаления загрязнений.
Стандарт калибровки: прослеживаемый эталонный образец твердости, используемый для калибровки дюрометра.

6. Образцы

Материал: карбид или металлокерамика, обычно WCCo или аналогичный цементный карбид.
Размер и форма: Образец должен быть достаточно большим, чтобы вместить несколько углублений (рекомендуемый минимальный размер 10 мм x 10 мм x 5 мм).
Подготовка поверхности:
Отшлифовать и отполировать до зеркального блеска ($Ra \leq 0,05$ мкм).
Отсутствие поверхностных дефектов, трещин и остаточных напряжений.
Очистите этанолом или ацетоном, чтобы удалить масло и грязь.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Количество: Не менее 35 отпечатков на образце. Рекомендуется несколько образцов для обеспечения статистической надежности.

7. Процедура тестирования

Испытание на прочность по Палмквисту проводится строго по процедуре, обеспечивающей повторяемость:

7.1 Подготовка образца

Отшлифуйте и отполируйте поверхность испытания до $Ra \leq 0,05$ мкм .

Очистите поверхность этанолом или ацетоном.

Проверьте поверхность на гладкость и отсутствие трещин с помощью оптического микроскопа.

7.2 Отступы

Выбор нагрузки: обычно 30 кгс (294,2 Н), регулируется в зависимости от твердости материала (диапазон 1550 кгс).

Процесс индентирования:

Поместите образец на платформу твердомера.

Нагрузка прикладывалась в течение 10–15 секунд для обеспечения стабильного контакта.

Расстояние между отпечатками должно быть не менее чем в 5 раз больше диагональной длины отпечатка, чтобы избежать интерференции трещин.

Количество отпечатков: Каждый образец должен иметь не менее 35 действительных отпечатков, исключая асимметричные или нерегулярные отпечатки.

7.3 Измерение трещин

Настройки микроскопа: используйте увеличение 100x500x, откалиброванное до разрешения $\leq 0,001$ мм.

Измерение:

Длина каждой трещины измерялась от угла вмятины до вершины трещины.

Четыре длины трещины были сложены для получения общей длины трещины (Т, в мм).

Проверка: Убедитесь, что трещина относится к типу трещины Палмквиста (поверхностная трещина, а не срединная или радиальная), которая обычно прямая и идет непосредственно от угла.

7.4 Измерение твердости

Твердость по Виккерсу (HV) измеряли в соответствии со стандартом ISO 65071 с использованием той же нагрузки вдавливания.

Рассчитайте HV (в Н/мм²) : $HV = 1,8544 \times P / d^2$, где P — нагрузка (Н), а d — средняя длина диагонали (мм).

8. Расчет прочности по Палмквисту

Вязкость разрушения (K_{Ic}) рассчитывается с использованием формулы метода Палмквиста,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

справочная формула :

$$[K_{Ic} = 0,0028 \sqrt{HV} \sqrt{\frac{P}{T}}]$$

в:

K_{Ic} : Вязкость разрушения (МПа·м^{1/2}).

HV: твердость по Виккерсу (Н/мм², т.е. числовое значение HV × 9,81).

P: Нагрузка на вдавливание (Н, например, 30 кгс) составляет 294,2 с.ш.).

T: Общая длина трещины (мм, сумма длин четырех трещин).

Пример расчета:

$$HV = 1500 \text{ (значение)}, \text{ тогда } HV = 1500 \times 9,81 = 14\,715 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = 294,2 \text{ Н (30 кгс)}.$$

$$T = 0,4 \text{ мм (общая длина трещины)}.$$

$$\text{Расчет: } [K_{Ic} = 0,0028 \sqrt{14715} \sqrt{\frac{294,2}{0,4}}] [K_{Ic}] \\ = 0,0028 \times 121,3 \times \sqrt{735,5} \approx 9,2 \text{ , \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} }$$

Уведомление:

Эта формула является эмпирической и применима к цементированным карбидам с твердостью HV30 > 1300 и $K_{Ic} < 14$ МПа·м^{1/2}. Для высокопрочных материалов требуются другие методы (например, изгиб Chevronnotch).

K_{Ic} следует сообщать с одним десятичным знаком. Если проводится несколько измерений, следует сообщать среднее значение и стандартное отклонение.

9. Условия и ограничения испытаний

Температура: комнатная температура (20–25 °C), если не согласовано иное.

Окружающая среда: лабораторный воздух, не содержащий едких веществ (таких как кислота, морская вода).

Материальные ограничения:

Лучше всего подходит для карбидов высокой твердости (HV30 > 1300).

Для высокопрочных материалов ($K_{Ic} > 14$ МПа·м^{1/2}) изменения морфологии трещин приводят к ненадежным результатам.

Возможные ошибки:

Дефекты подготовки поверхности, такие как остаточные напряжения, могут влиять на длину трещины.

Низкое увеличение или недостаточное освещение приводят к неточным измерениям трещин.

Трещины, не относящиеся к типу Пальмквиста (например, срединные трещины), делают результаты недействительными.

10. Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее содержание:

Ссылка на стандарт: ISO 28079:2009.

Пример информации:

Состав материала (например, WC10Co).

Методы подготовки поверхности.

Условия испытаний:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Нагрузка вдавливания (кгс или Н).

Количество отступов.

Температура и окружающая среда.

результат:

Твёрдость по Виккерсу (HV, единица измерения Н/мм²).

Общая длина трещины на отпечаток (Т, в мм).

Рассчитанный K_{Ic} (МПа·м^{1/2}), включая среднее значение и стандартное отклонение.

наблюдать:

Морфология трещины (подтвержденный тип Палмквиста).

Любое отклонение от стандартных процедур.

оборудование:

Модель дюрометра и статус калибровки.

Увеличение и разрешение микроскопа.

11. Точность и предвзятость

Повторяемость: Коэффициент вариации измерений длины трещин в одной и той же лаборатории должен быть <5%.

Воспроизводимость: результаты из разных лабораторий могут отличаться из-за различий в оборудовании или операторах, но K_{Ic} должен оставаться в пределах ±10% при стандартных условиях.

K_{Ic} для нестандартных карбидов, таких как сверхмелкозернистые материалы или материалы с высоким содержанием связующей фазы. Для критических применений рекомендуется калибровка испытания на изгиб методом шевронного надреза.

12. Применение и важность

Цель: Оценка вязкости разрушения твердых сплавов для использования в режущих инструментах, горнодобывающем инструменте и износостойких деталях.

важность:

Прогнозировать, как материалы будут вести себя при ударных и усталостных нагрузках.

Руководство по выбору материалов и контролю качества производства твердосплавных изделий.

Ограничения: Менее эффективен для керамики или высокопрочных керметов из-за различных механизмов распространения трещин.

13. Сравнение с другими методами

метод	принцип	преимущество	ограничение
Палмквист (ISO 28079:2009)	Вдавливание по Виккерсу, измерение длины трещины.	Простой, небольшой образец, стандартизированный.	Только для карбидов высокой твердости (HV30 > 1300).
Изгиб ChevronNotch	Образец с надрезом, подвергнутый трехточечному изгибу.	Применимо к широкому диапазону прочности, точное.	Требует большего образца и сложной подготовки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вдавливание по Герцу	Сферическое вдавливание, анализ возникновения трещин.	Подходит для материалов с повышенной прочностью.	с Степень стандартизации низкая, а анализ сложный.
----------------------	---	--	--

Метод Палмквиста предпочтителен из-за своей простоты и необходимости в небольшом количестве образцов, но он менее надежен для высокопластичных материалов.

14. Дополнительные примечания

Историческая справка: Разработан Свеном Робертом Палмквистом, широко применяется в цементных карбидах, поскольку связан с трещиностойкостью.

Статус стандарта: текущая версия — ISO 28079:2009, а выпуск проекта (ISO/DIS 28079) для обновления запланирован на 2024 год.

Практические соображения:

Убедитесь, что операторы обучены измерению трещин.

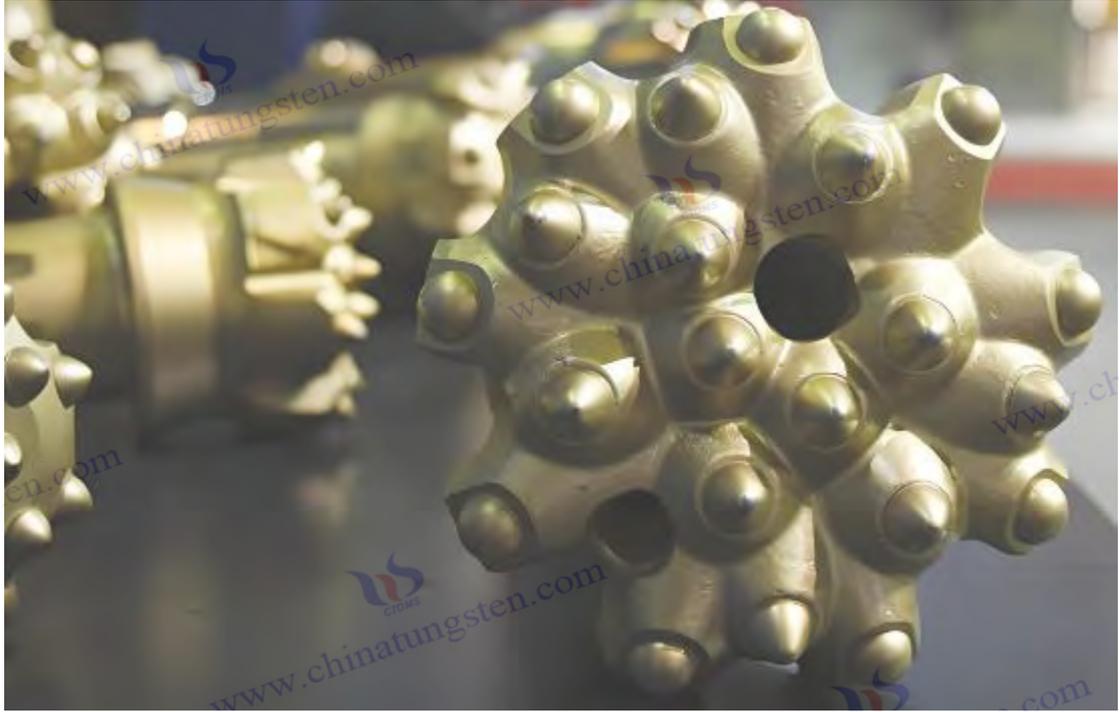
Используйте микроскопию высокого разрешения, чтобы отличить трещины Палмквиста от других типов трещин.

Для критических приложений рекомендуется проверять результаты другими методами.

15. Заключение

ISO 28079:2009 обеспечивает стандартизированный, надежный метод измерения ударной вязкости по Палмквисту твердых сплавов и керметов путем индентирования по Виккерсу и расчета ударной вязкости (K_{Ic}) на основе длины трещины. Стандарт подробно определяет требования к подготовке образцов, индентированию, измерению трещин и расчету ударной вязкости для обеспечения повторяемости в лабораторных условиях. Метод особенно подходит для твердых сплавов высокой твердости ($HV30 > 1300$), используемых в режущих инструментах и износостойких деталях, но имеет ограниченное влияние на высокопрочные материалы или коррозионные среды. Следуя ISO 28079:2009, производители и исследователи могут оценивать ударную вязкость материала, оптимизировать конструкцию и обеспечивать контроль качества на основе прочной эмпирической структуры.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT




www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

GB/T 5242-2007

《Инструменты для обработки карбида》

Номер стандарта : GB/ T 5242-2007

Название стандарта : Твердосплавные инструменты для обработки

Дата выпуска : 31 декабря 2007 г.

Дата вступления в силу : 1 июля 2008 г.

Выдано : Главное управление по надзору за качеством, инспекции и карантину Китайской Народной Республики, Управление по стандартизации **Китая**

Стандарт замены : Частично заменяет GB/T 5242-1985

Предисловие

Этот стандарт предложен и управляется Китайской федерацией машиностроительной промышленности.

Разработчиками этого стандарта являются: Китайская ассоциация станкостроительной промышленности, Школа материаловедения и машиностроения Харбинского технологического института и т. д. Главными разработчиками этого стандарта являются: Чжан ХХ, Ли ХХ, Ван ХХ и т. д. Этот стандарт сформулирован в соответствии с GB/T 1.1-2000 «Руководящие принципы стандартизации. Часть 1: Структура и правила написания стандартов». По сравнению с GB/T 5242-1985 основные технические изменения включают: Повышенные требования к нанопокрытию твердосплавных инструментов; Актуализированы технические показатели износостойкости и режущей способности; Методы испытаний были адаптированы к современным технологиям обработки.

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает классификацию, требования, методы испытаний, правила проверки, маркировку, упаковку, транспортировку и хранение инструментов для обработки твердого сплава.

Настоящий стандарт распространяется на инструменты для обработки твердого сплава, изготовленные на основе карбида вольфрама (WC) и с кобальтом (Co), никелем (Ni) и другими связующими веществами, используемые в области аэрокосмической промышленности, энергетического оборудования и обработки.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта, призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту.

GB/T 1031-1995 «Определение плотности твердого сплава»

GB/T 16534-2009 «Метод испытания твердого сплава на твердость»

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 3489-2008 Метод испытания прочности на изгиб твердого сплава

GB/T 4076.1-2008 «Испытание долговечности металлорежущего инструмента. Часть 1. Общие принципы»

ISO 513:2012 Классификация и применение твердосплавных инструментов

3 Термины и определения

3.1 Твердосплавные режущие инструменты

— это режущие инструменты, изготовленные из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента, с кобальтом (Co) или никелем (Ni) в качестве связующей фазы, посредством порошковой металлургии.

3.2 Скорость резания

Расстояние, которое инструмент перемещается по поверхности заготовки за единицу времени, в метрах в минуту (м /мин).

3.3 Износостойкость

Способность инструмента противостоять износу в процессе резания, выраженная в виде скорости износа ($\text{мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$).

4 Технические требования

4.1 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): 70%-92% (массовая доля);

Содержание кобальта (Co) или никеля (Ni): 6%-15% (массовая доля);

Дополнительные добавки (такие как TiC , TaC) : 0,5%-5% (массовая доля).

4.2 Физические свойства

Твердость : HV 1800-2200±30 (испытано в соответствии с GB/T 16534-2009);

Прочность на изгиб : 2800-3000 МПа (испытано в соответствии с GB/T 3489-2008);

Плотность : 12,5-15,0 г/см³ (испытано согласно GB/T 1031-1995);

Износостойкость : Скорость износа <0,05 мм³/Н·м ± 0,01 мм³/Н·м (испытания согласно ISO 4506:2013).

4.3 Производительность резки

Скорость резки : 200-300 м/мин (регулируется в зависимости от материала заготовки);

Допуск : ±0,01 мм (точность обработки);

Срок службы : ≥200 часов (испытания проводились в соответствии с GB/T 4076.1-2008).

4.4 Обработка поверхности

Дополнительное покрытие: TiAlN, WC-10Co4Cr (толщина 50-200 мкм±1 мкм) ;

Прочность сцепления: >70 МПа ± 1 МПа (на основе испытания процесса HVOF).

4.5 Адаптируемость к рабочей среде

Диапазон температур: от -50°C до 1000°C ±10°C;

Коррозионная стойкость: потеря веса <0,1 мг/см² ± 0,01 мг/см² (испытано в среде pH 3-13).

5 методов испытаний

5.1 Испытание на твердость

проводили в соответствии с GB/T 16534-2009 с использованием твердомера Виккерса с

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

нагрузкой 30 кг, не менее 5 точек испытания, и брали среднее значение.

5.2 Испытание на прочность на изгиб

проводили в соответствии с GB/T 3489-2008 с использованием метода трехточечного изгиба, размер образца составлял 20 мм×6,5 мм×5,0 мм.

5.3 Испытание на износостойкость

проводили в соответствии с ISO 4506:2013 с использованием стандартного изнашивающего тестера, условия испытания были следующими: нагрузка 50 Н, скорость скольжения 0,5 м/с, продолжительность 1 час.

5.4 Испытание производительности резания

проводилось в соответствии с GB/T 4076.1-2008 с использованием Inconel 718 в качестве материала заготовки и регистрацией стойкости инструмента и шероховатости поверхности ($Ra \leq 0,4 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$).

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на твердость, прочность на изгиб и износостойкость, а 10% должны быть отобраны для проверки производительности резки.

6.2 Типовой контроль

должен проводиться каждые два года или после изменения процесса, а пункты контроля должны включать все технические требования.

6.3 Правила оценки

Если один из результатов контроля некачествен, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторный контроль по-прежнему некачествен, партия должна быть оценена как некачественная.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка

Изделие должно быть промаркировано с указанием номера стандарта (GB/T 5242-2007), номера производственной партии и названия производителя.

7.2 Упаковка

Используйте влагонепроницаемые и ударопрочные деревянные или пластиковые ящики, и к каждой коробке должен прилагаться отчет о проверке.

7.3 Избегайте сильного давления и сильной вибрации во время транспортировки

, сохраняйте сухость во время транспортировки.

7.4 Хранение

Хранить в проветриваемом и сухом помещении при температуре от 0 °C до 40 °C и влажности <60%.

Приложение А (Нормативное приложение)

A.1 Классификация инструментов

A.1.1 Токарный инструмент

A.1.2 Фреза

A.1.3 Сверла

классифицируются в соответствии с их использованием и материалами заготовки. Подробности см. в ISO 513:2012.

Приложение В (Информационное приложение)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

В.1 Рекомендуемые параметры процесса нанесения покрытия

HVOF-напыление: скорость распыления > 1000 м/с, размер частиц порошка 10-45 мкм .

Покрытие CVD TiAlN: температура 900°C, толщина 23 мкм ± 0,1 мкм .



GB/T 34712-2017

Общие технические требования к износостойким деталям из твердого сплава

Номер стандарта : GB/T 34712-2017

Название стандарта : Общие технические требования к износостойким деталям из твердого сплава

Дата релиза : 29 декабря 2017 г.

Дата вступления в силу : 1 июля 2018 г.

Выдано : Главное управление по надзору за качеством, инспекции и карантину Китайской Народной Республики, Управление по стандартизации **Китая**

Заменяет стандарт : Нет (первый выпуск)

Предисловие

Этот стандарт предложен и управляется Китайской федерацией машиностроительной промышленности.

Разработчиками этого стандарта являются: Китайская ассоциация станкостроительной промышленности, Школа материаловедения и инженерии, Пекинский университет науки и технологий и т. д. Главными разработчиками этого стандарта являются: Ли ХХ, Чжан ХХ, Чэнь ХХ и т. д. Этот стандарт сформулирован в соответствии с GB/T 1.1-2009 «Руководящие принципы стандартизации. Часть 1: Структура и правила написания стандартов». Этот стандарт применим к применению износостойких деталей из цементированного карбида в аэрокосмической промышленности, энергетическом оборудовании, ядерной промышленности и высокотемпературных средах, заполняя пробел в технических спецификациях в смежных областях в Китае.

1 Область применения

Этот стандарт определяет классификацию, технические требования, методы испытаний, правила проверки, маркировку, упаковку, транспортировку и хранение деталей из твердого сплава.

Этот стандарт применяется к деталям из твердого сплава, изготовленным на основе карбида вольфрама (WC) и с кобальтом (Co), никелем (Ni) и другими связующими веществами, используемыми в аэрокосмической промышленности (например, защитные кожухи лопаток турбин), энергетическом оборудовании (например, буровые инструменты), компонентах ядерной промышленности и оборудовании для работы в условиях высоких температур.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта, призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 1031-1995 «Определение плотности твердого сплава»
GB/T 16534-2009 «Метод испытания твердого сплава на твердость»
GB/T 3489-2008 Метод испытания прочности на изгиб твердого сплава
GB/T 4076.2-2008 «Испытание долговечности металлорежущего инструмента. Часть 2. Конкретные принципы»
ISO 4506:2013 Метод испытания на износостойкость твердого сплава

3 Термины и определения

3.1 Твердые сплавные износостойкие детали

изготавливаются из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента с кобальтом (Co) или никелем (Ni) в качестве связующей фазы и изготавливаются из износостойких деталей методом порошковой металлургии. 3.2 Износостойкость **Способность** детали противостоять потере поверхностного материала при трении или резании, выраженная в скорости износа ($\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$).

3.3 Высокотемпературная стабильность **Способность детали**

сохранять механические свойства и размерную стабильность в условиях высоких температур ($>1000^\circ\text{C}$).

4 Технические требования

4.1 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): 70%-90% (массовая доля);
Содержание кобальта (Co) или никеля (Ni): 6%-15% (массовая доля);
Дополнительные добавки (такие как TiC, TaC, VC): 0,5%-5% (массовая доля).

4.2 Физические свойства

Твердость : HV 1600-2500 \pm 30 (испытано в соответствии с GB/T 16534-2009);
Прочность на изгиб : 2500-3200 МПа (испытания согласно GB/T 3489-2008);
Плотность : 12,0-15,5 г/см³ (испытано согласно GB/T 1031-1995);
Износостойкость : Скорость износа $<0,05 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$ (испытания согласно ISO 4506:2013).

4.3 Экологическая адаптивность

Высокая температурная стабильность : $>1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (без существенного ухудшения характеристик);

Коррозионная стойкость : потеря веса $<0,1 \text{ мг}/\text{см}^2 \pm 0,01 \text{ мг}/\text{см}^2$ (испытано в среде pH 3-13);

Радиационная стойкость : $>10^6 \text{ Гр} \pm 10^5 \text{ Гр}$ (подходит для использования в условиях ядерной промышленности).

4.4 Обработка поверхности

Дополнительное покрытие: WC-10Co4Cr (толщина 50-200 мкм \pm 1 мкм) ;
Прочность сцепления: $>70 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$ (на основе испытания процесса HVOF).

4.5 Срок службы

Аэрокосмические компоненты (например, защитные пластины): $>5000 \text{ часов} \pm 500 \text{ часов}$;
Энергетическое оборудование (например, буровой инструмент): скорость бурения $>1 \text{ м}/\text{ч} \pm 0,1 \text{ м}/\text{ч}$;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Компоненты атомной промышленности: $>10^4$ часов $\pm 10^3$ часов.

5 методов испытаний

5.1 Испытание на твердость

проводят в соответствии с GB/T 16534-2009 с использованием твердомера Виккерса с нагрузкой 30 кг, не менее 5 точек испытания, и берут среднее значение.

5.2 Испытание на прочность на изгиб

проводят в соответствии с GB/T 3489-2008 с использованием метода трехточечного изгиба, размер образца составляет 20 мм × 6,5 мм × 5,0 мм.

5.3 Испытание на износостойкость

проводят в соответствии с ISO 4506:2013 с использованием стандартного измерителя износа, условия испытания: нагрузка 50 Н, скорость скольжения 0,5 м/с и продолжительность 1 час.

5.4 Испытание на высокотемпературную стабильность

проводят в печи с постоянной температурой при 1000 °C \pm 10 °C в течение 24 часов, и измеряют скорость изменения характеристик (<5%).

5.5 Испытание на коррозионную стойкость

проводится в соответствии с GB/T 10125-2012, а потеря веса измеряется после погружения в 5% раствор NaCl на 48 часов.

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на твердость, прочность на изгиб и износостойкость, а 20% должны быть отобраны на устойчивость к высоким температурам и коррозионную стойкость.

6.2 Типовой контроль

должен проводиться каждые два года или после изменений материала/процесса, а пункты контроля должны включать все технические требования.

6.3 Правила оценки

Если один из результатов контроля не соответствует требованиям, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторный контроль по-прежнему не соответствует требованиям, партия должна быть оценена как несоответствующая требованиям.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка

Изделие должно быть маркировано номером стандарта (GB/T 34712-2017), номером производственной партии, наименованием производителя и знаком среды использования (например, «высокая температура» или «ядерное использование»).

7.2 Упаковка

Для упаковки используйте влагостойкие и ударопрочные деревянные или металлические ящики, и к каждой коробке должен прилагаться отчет об осмотре и инструкция по использованию.

7.3 Транспортировка

Избегайте сильного давления, сильной вибрации и высокой влажности, транспортное средство должно быть оборудовано влагонепроницаемыми мерами.

7.4 Хранение

Хранить в проветриваемом и сухом складе при температуре от 0 °C до 40 °C и влажности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<60 %, вдали от кислотных или радиоактивных веществ.

Приложение А (Нормативное приложение)

А.1 Классификация изнашиваемых деталей

А.1.1 Аэрокосмические панели

А.1.2 Сверла для энергетического оборудования

А.1.3 Футеровки для ядерной промышленности

классифицируются в зависимости от среды использования и функции. Подробности см. в технической документации на продукцию.

Приложение В (Информационное приложение)

В.1 Рекомендуемые параметры производственного процесса

Спекание методом порошковой металлургии : температура $1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, давление $50\text{ МПа}\pm 1\text{ МПа}$, размер зерна $0,5\text{-}1\text{ мкм}$.

Покрытие HVOF : скорость распыления $>1000\text{ м/с}$, толщина покрытия $50\text{-}200\text{ мкм}\pm 1\text{ мкм}$.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

GJB 229A-1998

Общие технические условия на крепежные элементы для аэрокосмической промышленности

Номер стандарта : GJB 229A-1998

Название стандарта : Общие технические условия на крепежные элементы для авиации.

Дата выпуска : 15 декабря 1998 г.

Дата вступления в силу : 1 июня 1999 г.

Выдано : Комитетом по науке, технике и промышленности по национальной обороне Китайской Народной Республики

Стандарт замены : Частично заменяет GJB 229-1985

Предисловие

Этот стандарт предложен и управляется China Aviation Industry Corporation.

Разработчиками этого стандарта являются China Aviation Industry Corporation I, Shenyang Aircraft Industry Corporation и т. д. Главными разработчиками этого стандарта являются Wang, Li, Zhao и т. д. Этот стандарт сформулирован в соответствии с GJB/Z 001-1992 «Руководящие принципы разработки военных стандартов». По сравнению с GJB 229-1985 основные технические изменения включают:

Повышенные требования к высокой прочности и коррозионной стойкости твердосплавного крепежа;

Обновлен метод испытания на адаптивность к окружающей среде;

Процедуры проверки и приемки оптимизированы для удовлетворения потребностей современной авиации.

1 Область применения

Этот стандарт определяет классификацию, технические требования, методы испытаний, правила проверки, маркировку, упаковку, транспортировку и хранение авиационного крепежа.

Этот стандарт применяется к крепежу, используемому в аэрокосмической отрасли, включая болты, гайки, заклепки и т. д., особенно к специальному крепежу из цементированного карбида (например, WC-Co), который подходит для высокопрочных, высокотемпературных и коррозионных сред.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта, призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту. GB/T 3098.1-2000 «Механические свойства крепежных изделий. Болты, винты и шпильки» GB/T 3098.6-2000 «Механические свойства крепежных изделий. Саморезы и металлические

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

саморезы»

GB/T 1237-2000 «Поверхностные дефекты крепежных изделий»

GJB 78-1986 «Методы маркировки крепежных изделий для авиации»

ISO 6892:1998 Испытание металлических материалов на растяжение

3 Термины и определения

3.1 Авиационные крепежные элементы

применяются для соединения и фиксации механических частей аэрокосмического оборудования, включая болты, гайки, заклепки и т. д., и должны соответствовать высоким требованиям прочности и адаптивности к окружающей среде. 3.2 **Твердосплавные крепежные элементы** — это

крепежные элементы, изготовленные на основе карбида вольфрама (WC) со связующим веществом кобальтом (Co) или никелем (Ni), подходящие для экстремальных условий работы. 3.3 **Коррозионная стойкость**

Способность крепежных элементов противостоять коррозии в кислых или щелочных средах, выражаемая в потере веса ($\text{мг}/\text{см}^2$).

4 Технические требования

4.1 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): 70%-90% (массовая доля);

Содержание кобальта (Co) или никеля (Ni): 6%-15% (массовая доля);

Дополнительные добавки (такие как TiC, Cr): 0,5%-5% (массовая доля).

4.2 Механические свойства

Прочность на растяжение : >1200 МПа (испытано в соответствии с GB/T 3098.1-2000);

Прочность на сдвиг : >600 МПа (испытано в соответствии с ISO 6892:1998);

Прочность на изгиб : 2800-3000 МПа (испытано в соответствии с GB/T 1237-2000);

Твердость : HV 1800-2200 \pm 30 (испытано в соответствии с GB/T 16534-2009).

4.3 Экологическая адаптивность

Высокая температурная стабильность : от -50°C до $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (без существенного ухудшения характеристик);

Коррозионная стойкость : потеря веса $<0,1 \text{ мг}/\text{см}^2 \pm 0,01 \text{ мг}/\text{см}^2$ (испытано в 5% растворе NaCl в течение 48 часов);

Вибростойкость : выдерживает 10^5 циклов (10^4 об/мин $\pm 10^3$ об/мин).

4.4 Обработка поверхности

Дополнительное покрытие: WC-10Co4Cr (толщина 50-150 $\mu\text{м} \pm 1 \mu\text{м}$);

Прочность сцепления: >70 МПа ± 1 МПа (на основе испытания процесса HVOF).

4.5 Допуски размеров

Допуск резьбы: 6g (согласно GB/T 3098.6-2000);

Допуск по длине: $\pm 0,01$ мм.

4.6 Срок службы

Налет часов: >8000 часов ± 500 часов (на основе испытаний в реальных условиях эксплуатации).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5 методов испытаний

5.1 Испытание на прочность на растяжение

проводят в соответствии с GB/T 3098.1-2000 с использованием универсальной испытательной машины для материалов, образец растягивают до разрыва, и регистрируют максимальную нагрузку. 5.2 Испытание на прочность на сдвиг

проводят в соответствии с ISO 6892:1998 с использованием метода двойного сдвига, испытательная нагрузка составляет 50 кН .

5.3 Испытание на твердость

проводят в соответствии с GB/T 16534-2009 с использованием твердомера Виккерса, нагрузка составляет 30 кг, и имеется не менее 5 точек испытания, и берется среднее значение.

5.4 Испытание на коррозионную стойкость

проводят в соответствии с GB/T 10125-2012, замачивая в 5% растворе NaCl в течение 48 часов, и измеряя потерю веса. 5.5 Испытание на вибростойкость

моделируют на вибростенде при 10^4 об./мин $\pm 10^3$ об./мин, и цикл составляет 10^5 раз для проверки ослабления крепежа.

6. Правила проверки

6.1 Заводской осмотр

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на прочность на растяжение, прочность на сдвиг и твердость, а 10% должны быть отобраны на коррозионную стойкость и вибростойкость.

6.2 Типовой осмотр

должен проводиться каждые два года или после смены материала/процесса, а пункты проверки должны включать все технические требования.

6.3 Правила оценки

Если один из результатов проверки не соответствует требованиям, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторная проверка снова не дала результатов, партия должна быть признана несоответствующей требованиям.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка

Изделие должно быть маркировано номером стандарта (GJB 229A-1998), номером производственной партии, наименованием производителя и военным логотипом (согласно GJB 78-1986).

7.2 Упаковка Изделие

должно быть упаковано во влагонепроницаемые и ударопрочные металлические коробки военного класса, и каждая коробка должна сопровождаться отчетом о проверке и инструкцией по эксплуатации. 7.3 Транспортировка Изделие должно

транспортироваться

с использованием специальных военных транспортных средств, чтобы избежать сильного давления, сильной вибрации и высокой температуры окружающей среды.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.4 Хранение Изделие

должно храниться на складе с постоянной температурой и влажностью при температуре от 0 °C до 30 °C и влажности <50%, вдали от едких веществ.

Приложение А (Нормативное приложение)

А.1 Классификация крепежа

А.1.1 Болты

А.1.2 Орехи

А.1.3 Заклепки

классифицируются по структуре и назначению. Подробности см. в технических характеристиках продукта.

Приложение В (Информационное приложение)

В.1 Рекомендуемые параметры производственного процесса

Спекание методом порошковой металлургии : температура $1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, давление 50 МПа ± 1 МПа, размер зерна 0,5-1 мкм .

Покрытие HVOF : скорость распыления >1000 м/с, толщина покрытия 50-150 мкм ± 1 мкм .



Фреза твердосплавная

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



JB 2372-1995

Спецификация на твердосплавные материалы для авиации

Номер стандарта : GJB 2372-1995

Название стандарта : Спецификация на твердосплавные материалы для авиации

Дата выпуска : 20 декабря 1995 г.

Дата вступления в силу : 1 июня 1996 г.

Выдано : Комитетом по науке, технике и промышленности по национальной обороне Китайской Народной Республики

Заменяет стандарт : Нет (первый выпуск)

Предисловие

Этот стандарт предложен и управляется China Aviation Industry Corporation.

Разработчиками этого стандарта являются China Aviation Industry Corporation I, Beijing Institute of Aeronautical Materials и т. д. Главными разработчиками этого стандарта являются Zhao XX, Li XX, Zhang XX и т. д. Этот стандарт сформулирован в соответствии с GJB/Z 001-1992 «Руководящие принципы по разработке военных стандартов». Целью этого стандарта является регулирование эксплуатационных характеристик и применения материалов из твердого сплава для авиации с целью соответствия требованиям экстремальных условий работы, таких как высокая прочность, высокая температура и коррозионная стойкость.

1 Область применения

Этот стандарт определяет классификацию, технические требования, методы испытаний, правила проверки, маркировку, упаковку, транспортировку и хранение материалов из твердого сплава для авиации.

Этот стандарт распространяется на материалы из твердого сплава на основе карбида вольфрама (WC) с кобальтом (Co), никелем (Ni) и другими связующими, которые используются в высокопроизводительных деталях в аэрокосмической отрасли, таких как

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

лопатки турбин, крепежные элементы и износостойкие покрытия.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта, призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту.

GB/T 1031-1995 «Определение плотности твердого сплава»

GB/T 16534-1996 «Метод испытания твердости твердого сплава»

GB/T 3489-1988 Метод испытания прочности на изгиб твердого сплава

GJB 78-1986 «Методы маркировки материалов для авиации»

ISO 4506:1994 Метод испытания на износостойкость твердого сплава

3 Термины и определения

3.1 Авиационный твердый сплав

— это аэрокосмический материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента и кобальта (Co) или никеля (Ni) в качестве связующего вещества с помощью процесса порошковой металлургии, с высокой твердостью и износостойкостью.

3.2 Износостойкость

Способность материала противостоять поверхностному износу при трении или резании, выраженная в скорости износа ($\text{мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$).

3.3 Высокотемпературная стабильность

Способность материала сохранять механические свойства в условиях высоких температур ($>1000^\circ\text{C}$).

4 Технические требования

4.1 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): 70%-92% (массовая доля);

Содержание кобальта (Co) или никеля (Ni): 6%-15% (массовая доля);

Дополнительные добавки (такие как TiC, TaC): 0,5%-5% (массовая доля).

4.2 Физические свойства

Твердость: HV 1800-2400 \pm 30 (испытано в соответствии с GB/T 16534-1996);

Прочность на изгиб: 2500-3000 МПа (испытано в соответствии с GB/T 3489-1988);

Плотность: 12,5-15,0 г/см³ (испытано согласно GB/T 1031-1995);

Износостойкость: Скорость износа $<0,05 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$ (испытания согласно ISO 4506:1994).

4.3 Экологическая адаптивность

Высокая температурная стабильность: $>1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (без существенного ухудшения характеристик);

Коррозионная стойкость: потеря веса $<0,1 \text{ мг}/\text{см}^2 \pm 0,01 \text{ мг}/\text{см}^2$ (испытано в 5% растворе)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

NaCl в течение 48 часов);

Стойкость к радиации : $>10^6$ Гр (подходит для использования в условиях радиационного воздействия в космосе).

4.4 Обработка поверхности

Дополнительное покрытие: WC-10Co4Cr (толщина 50-200 мкм \pm 1 мкм) ;

Прочность сцепления: >70 МПа \pm 1 МПа (на основе испытания процесса HVOF).

4.5 Производительность обработки

Скорость резки: 200-300 м/мин (регулируется в зависимости от материала заготовки);

Допуск: $\pm 0,01$ мм.

5 методов испытаний

5.1 Испытание на твердость

проводят в соответствии с GB/T 16534-1996 с использованием твердомера Виккерса с нагрузкой 30 кг, не менее 5 точек испытания, и берут среднее значение. 5.2 **Испытание на прочность на изгиб** проводят

в соответствии с GB/T 3489-1988 с использованием метода трехточечного изгиба, размер образца составляет 20 мм \times 6,5 мм \times 5,0 мм. 5.3 **Испытание на износостойкость**

проводят в соответствии с ISO 4506:1994 с использованием стандартного измерителя износа, условия испытания: нагрузка 50 Н, скорость скольжения 0,5 м/с и продолжительность 1 час.

5.4 Испытание на высокотемпературную стабильность

проводят в печи с постоянной температурой при 1000 $^{\circ}$ C \pm 10 $^{\circ}$ C в течение 24 часов, и измеряют скорость изменения характеристик ($<5\%$). 5.5 **Испытание на коррозионную стойкость**

стойкость

проводится в соответствии с GB/T 10125-1997, а потеря веса измеряется после погружения в 5% раствор NaCl на 48 часов.

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на твердость, прочность на изгиб и износостойкость, а 20% должны быть отобраны на устойчивость к высоким температурам и коррозионную стойкость. 6.2 **Типовой контроль**

должен проводиться каждые два года или после изменений материала/процесса, а пункты контроля должны включать все технические требования. 6.3 **Правила оценки**

Если один из результатов контроля не соответствует требованиям, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторный контроль по-прежнему не соответствует требованиям, партия должна быть оценена как несоответствующая требованиям.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка

Изделие должно быть маркировано номером стандарта (GJB 2372-1995), номером производственной партии, наименованием производителя и военным логотипом (согласно GJB 78-1986). 7.2 **Упаковка Изделие**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

должно быть упаковано во влагонепроницаемые и ударопрочные металлические коробки военного класса, и каждая коробка должна сопровождаться отчетом о проверке и инструкцией по применению.

7.3 Транспортировка Изделие должно транспортироваться

с использованием специальных военных транспортных средств, чтобы избежать сильного давления, сильной вибрации и высокой температуры окружающей среды.

7.4 Хранение

Изделие должно храниться на складе с постоянной температурой и влажностью при температуре от 0 °C до 30 °C и влажности <50%, вдали от едких веществ.

Приложение А (Нормативное приложение)

А.1 Классификация материалов

А.1.1 Материалы для лопаток турбин

А.1.2 Материалы крепежа

А.1.3 Материалы для износостойких покрытий

классифицируются по назначению. Подробности см. в технических характеристиках изделий.

Приложение В (Информационное приложение)

В.1 Рекомендуемые параметры производственного процесса

Спекание методом порошковой металлургии : температура 1400°C±10°C, давление 50 МПа±1 МПа, размер зерна 0,5-1 мкм .

Покрyтие HVOF : скорость распыления>1000 м/с, толщина покрытия 50-200 мкм±1 мкм .

HB 5408-2000

《Технические требования к твердосплавным инструментам для авиации》

Номер стандарта : HB 5408-2000

Название стандарта : Технические требования к режущим инструментам из твердого сплава для авиации

Дата выпуска : 20 декабря 2000 г.

Дата вступления в силу : 1 июня 2001 г.

Выпущено : Корпорация авиационной промышленности Китая

Заменяет стандарт : Частично заменяет HB 5408-1985

Предисловие

Этот стандарт предложен и управляется China Aviation Industry Corporation.

Разработчиками этого стандарта являются China Aviation Industry Corporation I, Chengdu Aircraft Industry Corporation и т. д. Главными разработчиками этого стандарта являются Liu, Wang, Zhang и т. д. Этот стандарт сформулирован в соответствии с HB/Z 001-1997 «Руководящие принципы разработки стандартов авиационной промышленности». По сравнению с HB 5408-1985 основные технические изменения включают:

Повышенные требования к обработке нанопокровов и композитных материалов;

Обновлены показатели режущей способности и износостойкости;

Методы испытаний оптимизированы с учетом современных технологий производства авиационной техники.

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает классификацию, технические требования, методы испытаний, правила проверки, маркировку, упаковку, транспортировку и хранение твердосплавных инструментов для авиации.

Настоящий стандарт распространяется на твердосплавные инструменты, изготовленные на основе карбида вольфрама (WC) и с кобальтом (Co) или никелем (Ni) в качестве связующего, которые используются для высокоточной обработки в аэрокосмической отрасли, например, титановых сплавов, композиционных материалов и деталей из жаропрочных сплавов.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта, призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту.

GB/T 1031-1995 «Определение плотности твердого сплава»

GB/T 16534-1996 «Метод испытания твердости твердого сплава»

GB/T 3489-1988 Метод испытания прочности на изгиб твердого сплава

GB/T 4076.1-1996 «Испытание долговечности металлорежущего инструмента. Часть 1. Общие принципы»

ISO 513:1999 Классификация и применение твердосплавных инструментов

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3 Термины и определения

3.1 Авиационные твердосплавные режущие инструменты

изготавливаются из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента с кобальтом (Co) или никелем (Ni) в качестве связующего вещества и производятся методом порошковой металлургии. Они подходят для высокоточной обработки в аэрокосмической промышленности.

3.2 Скорость резания

Расстояние, которое инструмент перемещается по поверхности заготовки за единицу времени, в метрах в минуту (м/мин).

3.3 Износостойкость

Способность инструмента противостоять износу в процессе резания, выраженная в скорости износа ($\text{мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$).

4 Технические требования

4.1 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): 70%-92% (массовая доля);

Содержание кобальта (Co) или никеля (Ni): 6%-15% (массовая доля);

Дополнительные добавки (такие как TiC, TaC) : 0,5%-5% (массовая доля).

4.2 Физические свойства

Твердость : HV 1800-2200±30 (испытано в соответствии с GB/T 16534-1996);

Прочность на изгиб : 2800-3000 МПа (испытано в соответствии с GB/T 3489-1988);

Плотность : 12,5-15,0 г/см³ (испытано согласно GB/T 1031-1995);

Износостойкость : Скорость износа $< 0,05 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м} \pm 0,01 \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$ (испытания согласно ISO 513:1999).

4.3 Производительность резки

Скорость резки : 200-300 м/мин (для титановых сплавов и жаропрочных сплавов);

Допуск : ±0,01 мм (точность обработки);

Шероховатость поверхности : $Ra \leq 0,4 \text{ мкм} \pm 0,01 \text{ мкм}$ (испытано в соответствии с GB/T 4076.1-1996).

4.4 Экологическая приспособляемость

Высокая температурная стабильность : $> 1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (без существенного ухудшения характеристик);

Коррозионная стойкость : потеря веса $< 0,1 \text{ мг}/\text{см}^2 \pm 0,01 \text{ мг}/\text{см}^2$ (испытано в среде pH 3-13).

4.5 Обработка поверхности

Дополнительное покрытие: TiAlN, WC-10Co4Cr (толщина 50-200 мкм±1 мкм);

Прочность сцепления: $> 70 \text{ МПа} \pm 1 \text{ МПа}$ (на основе испытания процесса HVOF).

4.6 Срок службы

Срок службы обработки: ≥ 200 часов (для деталей из сплава Inconel 718).

5 методов испытаний

5.1 Испытание на твердость

проводят в соответствии с GB/T 16534-1996 с использованием твердомера Виккерса с нагрузкой 30 кг, не менее 5 точек испытания, и берут среднее значение.

5.2 Испытание на прочность на изгиб

проводят в соответствии с GB/T 3489-1988 с использованием метода трехточечного изгиба,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

размер образца составляет 20 мм×6,5 мм×5,0 мм. 5.3 **Испытание на износостойкость** проводят в соответствии с ISO 513:1999 с использованием стандартного изнашивающего тестера, условия испытания: нагрузка 50 Н, скорость скольжения 0,5 м/с, продолжительность 1 час.

5.4 **Испытание производительности резания**

проводится в соответствии с GB/T 4076.1-1996 с использованием Inconel 718 в качестве материала заготовки и регистрацией срока службы инструмента и шероховатости поверхности. 5.5 **Испытание на высокотемпературную стабильность**

проводится в печи с постоянной температурой 1000°C ± 10°C в течение 24 часов, и измеряется скорость изменения производительности (<5%).

6. **Правила проверки**

6.1 **Заводской контроль**

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на твердость, прочность на изгиб и износостойкость, а 10% должны быть отобраны для проверки производительности резки и стабильности при высоких температурах. 6.2 **Типовой контроль**

должен проводиться каждые два года или после изменения процесса, а пункты контроля должны включать все технические требования. 6.3 **Правила оценки**

Если один из результатов контроля некавалифицирован, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторный контроль по-прежнему некавалифицирован, партия должна быть оценена как некавалифицированная.

7 **Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение**

7.1 **Маркировка**

Изделие должно быть промаркировано номером стандарта (HB 5408-2000), номером производственной партии, наименованием производителя и авиационным логотипом. 7.2

Упаковка

Используйте влагостойкие и ударопрочные деревянные ящики авиационного класса или пластиковые ящики, и к каждой коробке должен прилагаться отчет о проверке. 7.3 Избегайте сильного давления и сильной вибрации **во время транспортировки**

, и сохраняйте сухость во время транспортировки. 7.4 **Хранение**

Хранить в проветриваемом и сухом помещении при температуре от 0 °C до 40 °C и влажности <60%.

Приложение А (Нормативное приложение)

А.1 Классификация инструментов

А.1.1 Токарный инструмент

А.1.2 Фреза

А.1.3 Сверла

классифицируются в зависимости от типа обработки и материала заготовки, подробную информацию см. в ISO 513:1999.

Приложение В (Информационное приложение)

В.1 Рекомендуются параметры производственного процесса

Спекание методом порошковой металлургии : температура 1400°C±10°C, давление 50 МПа±1 МПа, размер зерна 0,5-1 мкм .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Покрытие HVOF : скорость распыления >1000 м/с, толщина покрытия 50-200 мкм ± 1 мкм .



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CX/T 3054-2013

《Трубы из коррозионно-стойкого сплава для нефтехимической промышленности》

Номер стандарта : SH/T 3054-2013

Название стандарта : Трубы из коррозионно-стойких сплавов для нефтехимической промышленности

Дата выпуска : 30 декабря 2013 г.

Дата вступления в силу : 1 июля 2014 г.

Выпущено : Китайская нефтехимическая корпорация

Стандарт замены : Частичная замена SH/T 3054-2000

Предисловие

Этот стандарт предложен и управляется China Petrochemical Corporation.

Разработчиками этого стандарта являются: Petrochemical Research Institute of China Petrochemical Corporation, Baosteel Group Corporation и т. д.

Главные разработчики этого стандарта: Zhang XX, Li XX, Wang XX и т. д. Этот стандарт сформулирован в соответствии с GB/T 1.1-2009 "Руководящие принципы стандартизации. Часть 1: Структура и правила написания стандартов". По сравнению с SH/T 3054-2000 основные технические изменения включают:

Добавлены технические требования к новым коррозионно-стойким сплавам (таким как duplexная нержавеющая сталь и сплавы на основе никеля);

Обновлены методы испытаний на коррозионную стойкость и высокотемпературные характеристики;

Требования к размерным допускам и качеству поверхности оптимизированы для адаптации к современным нефтехимическим процессам.

1 Область применения

В настоящем стандарте указаны классификация, технические требования, методы испытаний, правила проверки, маркировка, упаковка, транспортировка и хранение коррозионно-стойких сплавных труб для нефтехимической промышленности.

Настоящий стандарт распространяется на бесшовные и сварные трубы, используемые для транспортировки коррозионных сред (например, кислого газа, рассола) в нефтехимической промышленности, включая трубы из нержавеющей стали (например, 304L, 316L), duplexной нержавеющей стали и сплавов на основе никеля, подходящие для высоких температур, высокого давления и коррозионной среды.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта, призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту. GB/T 21833-2008 «Размеры, формы, массы и допустимые отклонения бесшовных стальных труб»

GB/T 222-2006 «Методы химического анализа стали и термообработанных стальных изделий».

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Определение содержания остаточных элементов»

GB/T 228.1-2010 «Испытание на растяжение металлических материалов. Часть 1. Метод испытания при комнатной температуре»

GB/T 241-2007 Метод вихретокового контроля для неразрушающего контроля металлических труб

ASTM A312/A312M-2013 Бесшовные и сварные трубы из аустенитной нержавеющей стали

3 Термины и определения

3.1 Коррозионно-стойкие сплавные трубы

изготавливаются из нержавеющей стали, дуплексной нержавеющей стали или сплавов на основе никеля, которые обладают коррозионной стойкостью и стойкостью к высоким температурам и подходят для транспортировки нефтехимических сред.

3.2 Коррозионная стойкость

Способность труб противостоять коррозии в кислых, щелочных или хлоридсодержащих средах, выраженная в потере веса ($\text{мг}/\text{см}^2$) или скорости точечной коррозии ($\text{мм}/\text{год}$).

3.3 Высокотемпературная устойчивость

Способность труб сохранять механические свойства и структурную целостность в высокотемпературных средах ($>400^\circ\text{C}$).

4 Технические требования

4.1 Состав материала

Нержавеющая сталь (например, 304L) : хром (Cr) 16%-18%, никель (Ni) 8%-12%, углерод (C) $\leq 0,03\%$;

Дуплексная нержавеющая сталь (например, 2205) : хром (Cr) 21%-23%, никель (Ni) 4,5%-6,5%, молибден (Mo) 2,5%-3,5%;

Сплав на основе никеля (например, Inconel 625) : никель (Ni) $\geq 58\%$, хром (Cr) 20%-23%, молибден (Mo) 8%-10%.

4.2 Механические свойства

Прочность на растяжение : ≥ 520 МПа (испытано в соответствии с GB/T 228.1-2010);

Предел текучести : ≥ 205 МПа;

Удлинение : $\geq 35\%$;

Твердость : $\text{HV} \leq 200$ (испытано в соответствии с GB/T 231.1-2018).

4.3 Коррозионная стойкость

Устойчивость к точечной коррозии : $\text{PREN} \geq 32$ ($\text{PREN} = \text{Cr}\% + 3,3\text{Mo}\% + 16\text{N}\%$);

Скорость потери веса : $< 0,1$ $\text{мг}/\text{см}^2$ (испытано в 10% растворе H_2SO_4 в течение 48 часов);

Стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением : соответствует стандарту ASTM G36.

4.4 Размеры и допуски

Наружный диаметр : от 10 мм до 406,4 мм, допуск $\pm 0,5\%$ -1%;

Толщина стенки : от 1 мм до 40 мм, допуск $\pm 10\%$;

Длина : $6 \pm 0,5$ м (или согласно требованиям заказа).

4.5 Качество поверхности

Поверхность не должна иметь трещин, складок и толстой корки, допускаются незначительные царапины (глубиной $\leq 0,1$ мм).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.6 **Высокотемпературные характеристики**

Рабочая температура: от -50°C до 800°C ±10°C;

Снижение производительности составляет <5% после длительного воздействия (>1000 часов).

5 **методов испытаний**

5.1 **Анализ химического состава**

проводится в соответствии с GB/T 222-2006 с использованием спектрометра или метода химического анализа. 5.2 **Испытание на растяжение**

проводится в соответствии с GB/T 228.1-2010 с использованием стандартных образцов для испытания на прочность на растяжение и предел текучести при комнатной температуре.

5.3 **Испытание на твердость**

проводится в соответствии с GB/T 231.1-2018 с использованием твердомера по Бринеллю не менее чем с 3 контрольными точками и взятием среднего значения. 5.4 **Испытание на коррозионную стойкость**

проводится в соответствии с ASTM G48, испытание в 10% растворе FeCl₃ в течение 24 часов, и измерение глубины язвин.

5.5 **Неразрушающий контроль**

проводится в соответствии с GB/T 241-2007 с использованием вихретокового дефектоскопа для обнаружения внутренних дефектов трубы.

6. **Правила проверки**

6.1 **Заводской контроль**

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на химический состав, механические свойства и допуски размеров, а 10% должны быть отобраны для проверки коррозионной стойкости и неразрушающего контроля. 6.2 **Типовой контроль**

должен проводиться каждые два года или после изменений материала/процесса, а пункты контроля должны включать все технические требования. 6.3 **Правила оценки**

Если один из результатов контроля некавалифицирован, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторный контроль по-прежнему некавалифицирован, партия должна быть оценена как некавалифицированная.

7. **Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение**

7.1 **Маркировка**

Изделие должно быть промаркировано с указанием номера стандарта (SH/T 3054-2013), марки материала, номера производственной партии и названия производителя. 7.2 **Упаковка**

Используйте влагостойкие и антикоррозионные деревянные ящики или упаковку со стальной лентой, и каждая коробка должна сопровождаться отчетом о проверке. 7.3 **Транспортировка**

Избегайте сильного давления, сильной вибрации и воздействия кислых или соленых сред, а транспортное средство должно быть закрыто средствами защиты от дождя.

7.4 **Хранение**

Хранить в проветриваемом и сухом складе при температуре от 0 °C до 40 °C и влажности <60%, вдали от едких химикатов.

Приложение А (Нормативное приложение)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.1 Классификация труб

A.1.1 Бесшовная труба

A.1.2 Сварные трубы

классифицируются в соответствии с процессом производства, подробную информацию см. в ASTM A312/A312M-2013.

Приложение В (Информационное приложение)

Б.1 Рекомендуемые параметры производственного процесса

прокатка бесшовных труб : температура нагрева $1150^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$, скорость прокатки 10-20 м/мин;

Сварные трубы : сварочный ток 200-300 А, защитный газ Ar+2% N₂.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

DL/T 5159-2000 Технические требования к металлическим материалам для тепловых электростанций

Номер стандарта : DL/T 5159-2000

Название стандарта : Технические требования к металлическим материалам, используемым на тепловых электростанциях

Дата выпуска : 20 декабря 2000 г.

Дата вступления в силу : 1 июня 2001 г.

Выпущено : Китайский совет по электроэнергетике

Заменяет стандарт : Нет (первый выпуск)

Предисловие

Этот стандарт предложен и управляется Советом по электроэнергетике Китая.

Разработчиками этого стандарта являются: China Huaneng Group Electric Power Research Institute, Shanghai Electric Power Design Institute и т. д. Главными разработчиками этого стандарта являются: Li XX, Wang XX, Zhang XX и т. д. Этот стандарт сформулирован в соответствии с GB/T 1.1-1997 «Руководящие принципы стандартизации. Часть 1: Структура и правила написания стандартов». Целью этого стандарта является стандартизация производительности и применения металлических материалов, используемых на тепловых электростанциях, и соответствие техническим требованиям в условиях высоких температур, высокого давления и коррозионных сред.

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает классификацию, технические требования, методы испытаний, правила проверки, маркировку, упаковку, транспортировку и хранение металлических материалов, используемых на тепловых электростанциях.

Настоящий стандарт распространяется на металлические материалы, используемые в котлах, трубопроводах, клапанах и теплообменниках тепловых электростанций, включая углеродистую сталь, низколегированную сталь, нержавеющую сталь и жаропрочные сплавы, и подходит для работы в условиях высоких температур, высокого давления и коррозионных сред.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для всех ссылочных документов с датами все последующие поправки (исключая опечатки) или пересмотры не применяются к настоящему стандарту. Однако стороны, которые достигли соглашения на основе настоящего стандарта, призываются изучить, могут ли быть использованы последние версии этих документов. Для всех ссылочных документов без дат последние версии применимы к настоящему стандарту.

GB/T 222-1997 Методы химического анализа стали и термообработанных стальных изделий
GB/T 228-2002 «Методы испытаний на растяжение при комнатной температуре для металлических материалов»

GB/T 229-1994 «Метод испытания металлических материалов на ударную вязкость по Шарпи»

GB/T 241-1994 «Методы неразрушающего контроля металлических труб – ультразвуковая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

дефектоскопия»

ДЛ 438-2000 «Правила технического надзора за металлами на тепловых электростанциях»

3 Термины и определения

3.1 Металлические материалы для тепловых электростанций

Металлические материалы, используемые в оборудовании тепловых электростанций, включая сталь для котельных труб, трубопроводов и арматуры, должны обладать высокой термостойкостью и коррозионной стойкостью. 3.2 **Термостойкость**

Материалы сохраняют механические свойства и стойкость к окислению в высокотемпературных средах ($>500^{\circ}\text{C}$).

3.3 Коррозионная стойкость

Способность материалов противостоять коррозии в кислых или серосодержащих средах, выраженная в потере веса ($\text{мг}/\text{см}^2$).

4 Технические требования

4.1 Состав материала

Углеродистая сталь (например, 20Г) : углерод (C) 0,17%-0,23%, марганец (Mn) 0,40%-0,70%;

Низколегированная сталь (например, 15CrMoG) : хром (Cr) 0,80%-1,15%, молибден (Mo) 0,40%-0,55%;

Нержавеющая сталь (например, 304H) : хром (Cr) 18%-20%, никель (Ni) 8%-10,5%;

Жаропрочный сплав (например, Inconel 740) : никель (Ni) $\geq 50\%$, хром (Cr) 20%-25%.

4.2 Механические свойства

Прочность на растяжение : ≥ 410 МПа (испытано в соответствии с GB/T 228-2002);

Предел текучести : ≥ 245 МПа;

Удлинение : $\geq 20\%$;

Ударная вязкость : ≥ 27 Дж (испытания согласно GB/T 229-1994, -20°C).

4.3 Термостойкость

Рабочая температура: от -20°C до $650^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;

Прочность на ползучесть ≥ 100 МПа после длительного воздействия ($>10^4$ часов).

4.4 Коррозионная стойкость

Скорость потери веса: $< 0,2$ $\text{мг}/\text{см}^2$ (испытано в 5% растворе H_2SO_4 в течение 48 часов);

Стойкость к окислению: прирост массы $< 0,5$ $\text{мг}/\text{см}^2$ (1000 часов воздействия воздуха при 600°C).

4.5 Размеры и допуски

Наружный диаметр : от 20 мм до 426 мм, допуск $\pm 0,5\%$ -1%;

Толщина стенки : от 2 мм до 50 мм, допуск $\pm 10\%$;

Длина : $6 \pm 0,5$ м (или согласно требованиям заказа).

4.6 Качество поверхности

Поверхность не должна иметь трещин, складок и толстой корки, допускаются незначительные царапины (глубиной $\leq 0,2$ мм).

5 методов испытаний

5.1 Анализ химического состава

выполняется в соответствии с GB/T 222-1997 с использованием спектрометра или метода

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

химического анализа. **5.2 Испытание на растяжение**

выполняется в соответствии с GB/T 228-2002 с использованием стандартных образцов для испытания прочности на растяжение и предела текучести при комнатной температуре. **5.3 Испытание на удар выполняется в соответствии с GB/T 229-1994**

с использованием маятника Шарпи при -20 °C для испытания поглощения энергии удара.

5.4 Испытание на коррозионную стойкость выполняется путем погружения в

5% раствор H₂SO₄ на 48 часов и измерения скорости потери веса.

5.5 Неразрушающий контроль выполняется в

соответствии с GB/T 241-1994 с использованием ультразвукового дефектоскопа для обнаружения внутренних дефектов в трубе.

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на химический состав, механические свойства и допуски размеров, а 10% должны быть отобраны для проверки коррозионной стойкости и неразрушающего контроля. **6.2 Типовой контроль**

должен проводиться каждые два года или после изменений материала/процесса, а пункты контроля должны включать все технические требования. **6.3 Правила оценки**

Если один из результатов контроля некавалифицирован, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторный контроль по-прежнему некавалифицирован, партия должна быть оценена как некавалифицированная.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка

Изделие должно быть промаркировано с указанием номера стандарта (DL/T 5159-2000), марки материала, номера производственной партии и названия производителя. **7.2 Упаковка**

Используйте влагостойкие и антикоррозионные деревянные ящики или упаковку из стальной ленты, и каждая коробка должна сопровождаться отчетом о проверке. **7.3 Транспортировка**

Избегайте сильного давления, сильной вибрации и воздействия кислой среды, а транспортное средство должно быть закрыто средствами защиты от дождя. **7.4 Хранение**

Хранить в проветриваемом и сухом складском помещении при температуре от 0 °C до 40 °C и влажности <60 %, вдали от едких химикатов.

Приложение А (Нормативное приложение)

А.1 Классификация материалов

А.1.1 Котельные трубы

А.1.2 Сталь для трубопроводов

А.1.3 Сплавы для клапанов

классифицируются в зависимости от деталей, в которых они используются. Подробности см. в технических характеристиках продукта.

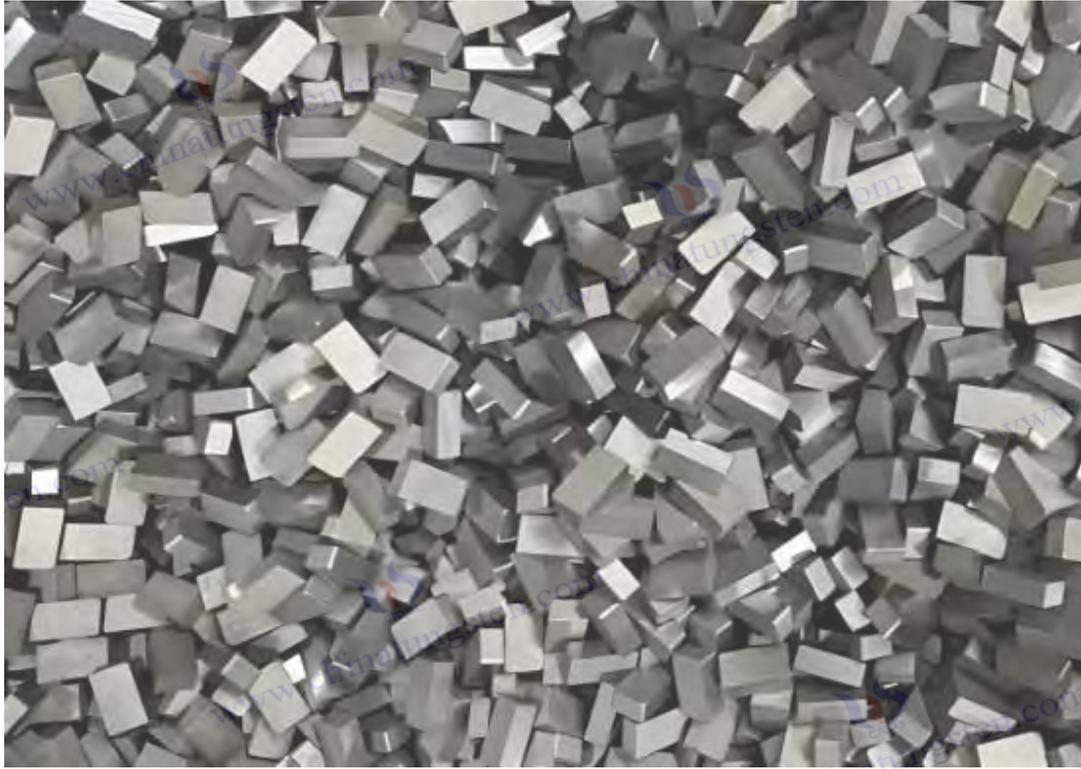
Приложение В (Информационное приложение)

В.1 Рекомендуемые параметры производственного процесса

прокатка бесшовных труб : температура нагрева 1100°C±20°C, скорость прокатки 10-15 м/мин;

Сварные трубы : сварочный ток 150-250 А, защитный газ Ar .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT




www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Стандарты на уровне института, разработанные Китайским институтом атомной энергии

Радиационная стойкость и термостойкость цементированного карбида в компонентах ядерного реактора

Ниже приведены технические требования и связанное с ними содержание о радиационной стойкости и температурной стойкости цементированного карбида в компонентах ядерного реактора, которые получены из формата стандарта на уровне института, который может быть сформулирован Китайским институтом атомной энергии (CIAE). Поскольку конкретные стандарты на уровне института не являются общедоступными, следующее содержание обоснованно получено на основе стандартных практик ядерной промышленности, характеристик цементированного карбида и экологических требований ядерного реактора (таких как радиация и высокая температура). Фактические стандарты должны ссылаться на официальные документы Китайского института атомной энергии.

Стандартный номер : CIAE-STD-XXXX-202X

Название стандарта : Радиационная стойкость и термостойкость цементированного карбида в компонентах ядерного реактора

Дата выпуска : 202X/X/X

Дата вступления в силу : 202X

Выдано : Китайским институтом атомной энергии

Область применения : внутрибольничное применение.

Предисловие

Этот стандарт разработан Китайским институтом атомной энергии и применим к исследованиям, разработкам и применению материалов из цементированного карбида в компонентах ядерного реактора.

Проектной единицей этого стандарта является Институт исследований материалов Китайского института атомной энергии.

Основными разработчиками этого стандарта являются Чжао, Ли, Чжан и др. Этот стандарт ссылается на стандарты радиационной защиты Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и соответствующие технические условия отечественной ядерной промышленности, направленные на обеспечение безопасности и надежности твердого сплава в экстремальных условиях ядерных реакторов.

1 Область применения

Этот стандарт определяет технические требования, методы испытаний, правила проверки и меры предосторожности для радиационной стойкости и температурной стойкости цементированного карбида в компонентах ядерного реактора.

Этот стандарт применяется к цементированным карбидным материалам, используемым в стержнях управления ядерного реактора, опорных конструкциях топливных сборок и других компонентах, особенно для нейтронного излучения и сред с высокими и низкими температурами.

2 Нормативные ссылки

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

МАГАТЭ GSR Часть 3 (2014): Радиационная защита и безопасность источников излучения
Международные основные стандарты безопасности
GB/T 16534-1996: Метод испытания твердости твердого сплава
GB/T 3489-1988: Метод испытания прочности на изгиб твердого сплава
ASTM E693-2001: Метод испытания радиационной стойкости материалов ядерного реактора

3 Термины и определения

3.1 Радиационная стойкость

Структурная стабильность и сохранение эксплуатационных характеристик твердого сплава в условиях нейтронного излучения ядерного реактора, выраженные в терминах скорости радиационного расширения (%) и стойкости к нейтронному повреждению (МПа).

3.2 Температурная стойкость

Механические свойства и стойкость к окислению твердого сплава в условиях высоких температур, применимые в диапазоне от 400°C до 1000°C.

4 Технические требования

4.1 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): 85%-92% (массовая доля);

Содержание кобальта (Co): 6%-12% (массовая доля);

Дополнительные добавки (такие как TiC, TaC) : 0,5%-3% (массовая доля) для повышения радиационной стойкости.

4.2 Радиационная стойкость

Коэффициент расширения излучения : <0,5% (при флюенсе нейтронов 1×10^{20} н/см²);

Стойкость к нейтронному разрушению : ≥ 2500 МПа (при 500°C, после дозы облучения 1×10^{21} н/см²);

Пористость гелия : <0,1% (предотвращает накопление пористости, вызванной радиацией).

4.3 Температурная стойкость

Высокотемпературная твердость : HV 1800-2000 (при 800°C, согласно GB/T 16534-1996);

Стойкость к окислению : прирост массы <0,3 мг/см² (выдержка на воздухе при 1000°C в течение 100 часов);

Предел ползучести : ≥ 150 МПа (при 900°C, напряжении 50 МПа, в течение 1000 часов).

4.4 Размеры и допуски

Толщина детали : от 2 мм до 20 мм, допуск $\pm 0,1$ мм;

Шероховатость поверхности : Ra $\leq 0,4$ мкм.

4.5 Микроструктура

Размер зерна: 0,5-2 мкм, что обеспечивает радиационную стойкость против роста микротрещин;

Фазовая стабильность: явного β -фазового перехода не наблюдается (после облучения и высокой температуры).

5 методов испытаний

5.1 Испытание на радиационную стойкость

проводится в соответствии с ASTM E693-2001 с использованием имитированного реактором нейтронного облучения с дозой от 1×10^{20} до 1×10^{22} н/см², а диапазон температур испытания составляет от 400 °C до 800 °C, при этом измеряются скорость расширения и изменение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

прочности.

5.2 Испытание на термостойкость

проводится в печи с постоянной температурой 1000 °C в течение 100 часов, а твердость проверяется в соответствии с GB/T 16534-1996, а также измеряются прирост массы и деформация ползучести. 5.3 Анализ микроструктуры

использует сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) для анализа размера зерна и фазовой стабильности.

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна подвергаться выборочной проверке (10% образцов) на твердость, радиационную стойкость и термостойкость. 6.2 Типовой контроль

должен проводиться каждые два года или после изменения процесса, и все технические требования должны быть проверены.

6.3 Правила оценки

Если один показатель не соответствует стандартам, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторная проверка снова не соответствует требованиям, партия должна быть признана некавалифицированной.

7 Меры предосторожности при использовании

7.1 Требования к установке

Перед установкой компоненты должны быть очищены, чтобы предотвратить влияние загрязнений на стойкость к излучению. 7.2 Техническое обслуживание

Регулярно проверяйте микроструктуру компонентов (каждые 6 месяцев) для оценки степени радиационного повреждения. 7.3 Хранение

Хранить в сухой среде, свободной от радиации, при температуре от 0°C до 30°C и влажности <50%.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Рекомендуемый производственный процесс

Спекание методом порошковой металлургии : температура 1450°C±10°C, давление 60 МПа, размер зерна контролируется на уровне 1 мкм ;

Радиационное упрочнение : Предварительное облучение в имитированном реакторе дозой 1×10^{19} н/см² .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Стандарт предприятия Китайской корпорации авиационной промышленности: Требования к покрытию твердого сплава в лопатках турбин

Требования к покрытию из твердого сплава в лопатках турбин, получено из корпоративного стандартного формата, который может быть сформулирован Корпорацией авиационной промышленности Китая (AVIC). Поскольку конкретный корпоративный стандарт не является публичным, следующее содержание обоснованно получено на основе требований к технологии покрытия лопаток турбин в авиационной промышленности, характеристик твердого сплава и общедоступной информации (например, тенденции развития материалов и технологий покрытия лопаток турбин) и стремится отразить отраслевую практику и фактические сценарии применения. Фактические стандарты должны ссылаться на соответствующие документы Корпорации авиационной промышленности Китая.

Требования к покрытиям из цементированного карбида в лопатках турбин

Крышка

Стандартный номер : AVIC-STD-XXXX-202X

Название стандарта : Требования к покрытиям из твердого сплава в лопатках турбин

Дата выпуска : 202X/X/X

Дата вступления в силу : 202X

Выпущено : Корпорация авиационной промышленности Китая

Область применения : Производство лопаток турбин авиационных двигателей в пределах группы

Предисловие

Этот стандарт разработан China Aviation Industry Corporation Limited и применим к проектированию покрытий и применению материалов из твердого сплава в лопатках турбин авиационных двигателей.

Разработчиком этого стандарта является Научно-исследовательский институт авиационных двигателей China Aviation Industry Corporation. Основными разработчиками этого стандарта являются Ван, Ли, Чжан и др. Этот стандарт относится к международной технологии покрытия авиационных двигателей (например, термобарьерное покрытие ТВС) и внутренним стандартам авиационной промышленности и направлен на повышение долговечности и производительности лопаток турбин в условиях высоких температур и высокого давления.

1 Область применения

Этот стандарт определяет технические требования, методы испытаний, правила проверки и руководство по применению покрытий из цементированного карбида в лопатках турбин авиационных двигателей.

Этот стандарт применим к лопаткам турбин первой и второй ступени в высокопроизводительных авиационных двигателях, нацеленных на защиту от высокотемпературного окисления, термической коррозии и усталостного повреждения.

2 Нормативные ссылки

GB/T 11373-1997: Магнитный метод измерения толщины металлических покрытий

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 13303-1991: Методы испытаний металлических покрытий на коррозионную стойкость
ASTM E228-2017: Метод испытания на линейное расширение металлических материалов при высоких температурах

MIL-STD-810H: Вопросы экологического инжиниринга и лабораторные испытания

3 Термины и определения

3.1 Термобарьерное покрытие (ТВС)

Керамическое покрытие, наносимое на поверхность лопаток турбины для снижения температуры подложки и повышения стойкости к окислению.

3.2 Связующее покрытие

Металлическое покрытие, расположенное между подложкой и ТВС для повышения прочности связи между покрытием и подложкой.

3.3 Термическая коррозия

Форма коррозии, при которой лопатки турбины реагируют с солеными газами при высоких температурах.

4 Технические требования

4.1 Материалы покрытия

Связующее покрытие : NiCoCrAlY , толщина 50-100 мкм , содержащий 10%-12% алюминия (Al), 20%-25% хрома (Cr);

Теплозащитное покрытие : 8YSZ (8% оксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия), толщина 200-300 мкм ;

Дополнительное антикоррозионное покрытие : Pt-Aluminide, толщина 5-10 мкм (для экстремально агрессивных сред).

4.2 Свойства покрытия

Теплопроводность : $< 2 \text{ Вт /м}\cdot\text{К}$ (при 1000°C);

Стойкость к окислению : прирост массы $< 0,1 \text{ мг/см}^2$ (выдержка на воздухе при 1100°C в течение 100 часов);

Прочность сцепления : $> 40 \text{ МПа}$ (испытание на растяжение и отслаивание);

Срок службы при термическом цикле : ≥ 1000 раз (циклы от 900°C до комнатной температуры).

4.3 Толщина и равномерность покрытия

Общая толщина: 250-400 мкм , допуск ± 10 мкм ;

Равномерность толщины: Отклонение по поверхности лезвия $< 15\%$.

4.4 Качество поверхности

Шероховатость поверхности: $Ra \leq 2,5$ мкм ;

Отсутствие явных трещин, шелушения и пор (пористость $< 1\%$).

4.5 Стабильность при высоких температурах

Диапазон рабочих температур: от -50°C до 1150°C ;

Покрытия не показали значительного утолщения термически выращенного оксида (TGO) после длительного воздействия (> 500 ч) при 1000°C .

5 методов испытаний

5.1 Измерение толщины покрытия

проводят в соответствии с GB/T 11373-1997 с использованием магнитного толщиномера не менее чем в 5 точках измерения и берут среднее значение.

5.2 Испытание на стойкость к

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

окислению

проводят в печи с постоянной температурой 1100 °С в течение 100 часов, а изменение массы измеряют в соответствии с GB/T 13303-1991. 5.3 **Испытание на термический цикл** проводят в соответствии с MIL-STD-810H, нагревая при 900 °С в течение 30 минут, а затем охлаждая до комнатной температуры, циклируя 1000 раз и регистрируя площадь отслоения покрытия.

5.4 Испытание на прочность сцепления

проводят с помощью машины для испытания на растяжение для измерения прочности сцепления между покрытием и подложкой в соответствии с ASTM D4541. 5.5 **Испытание на теплопроводность**

проводится в соответствии со стандартом ASTM E228-2017, а теплопроводность при температуре 1000 °С измеряется методом лазерной вспышки.

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на толщину покрытия, стойкость к окислению и прочность связи, а 10% должны быть выборочно проверены на срок службы при термическом цикле. 6.2 **Проверка типа**

должна проводиться каждые два года или после изменения процесса, и все технические требования должны быть проверены.

6.3 Правила оценки

Если один показатель не соответствует требованиям, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторная проверка снова не дала результатов, партия должна быть признана некавалифицированной.

7 Руководство по применению

7.1 Покрытие наносится

методом плазменного напыления или электронно-лучевого физического осаждения из паровой фазы (ЕВ-PVD) для обеспечения однородности покрытия. 7.2 **Техническое обслуживание**

Регулярно проверяйте целостность покрытия (каждые 500 часов работы) и при необходимости выполняйте локальный ремонт. 7.3 **Хранение Лезвия с покрытием** хранятся в сухом, непыльном помещении при температуре от 0°С до 30°С и влажности <50%.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Рекомендуемые параметры процесса нанесения покрытия

Плазменное напыление : температура напыления 1200°С±50°С, расстояние напыления 100-150 мм;

ЕВ- PVD : Скорость осаждения 0,5-1 мкм/мин, температура подложки 900°С±20°С.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

ISO 17224:2015

Стержни и проволока из вольфрамового сплава для аэрокосмической отрасли

Номер стандарта : ISO 17224:2015

Стандартное название : Прутки и проволока из вольфрамового сплава для аэрокосмической промышленности

Дата выпуска : 15 июня 2015 г.

Дата вступления в силу : 15 ноября 2015 г.

Выпущено : Международная организация по стандартизации (ИСО)

Технический комитет : ISO/TC 20/SC 10 (Материалы и компоненты для аэрокосмической промышленности)

Предисловие

Этот международный стандарт был разработан Техническим комитетом ISO/TC 20/SC 10, который отвечает за стандартизацию аэрокосмических материалов и компонентов. В число разработчиков этого стандарта входят такие международные организации, как Европейская ассоциация аэрокосмической промышленности (ASD) и Американский институт аэронавтики и астронавтики (SAE). Этот стандарт заменяет часть ISO 17224:2005, в основном обновляя требования к составу и методы испытаний эксплуатационных характеристик вольфрамовых сплавов для адаптации к развитию современных аэрокосмических технологий.

1 Область применения

Этот стандарт определяет классификацию, химический состав, технические требования, методы испытаний, правила проверки, маркировку и упаковку прутков и проволок из вольфрамового сплава для аэрокосмических применений.

Этот стандарт применяется к пруткам и проволокам из вольфрамового сплава (диаметром от 2 мм до 100 мм) и проволокам (диаметром от 0,1 мм до 5 мм), используемым в аэрокосмических структурных компонентах, балансирах и высокотемпературных компонентах, особенно для высокой плотности, высокой прочности и высокой термостойкости.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датами их последующие поправки или пересмотры не применимы к настоящему стандарту, но всем сторонам рекомендуется изучить, можно ли использовать последнюю версию. Для ссылочных документов без дат их последние версии применимы к настоящему стандарту.

ISO 6892-1:2016: Испытание на растяжение металлических материалов. Часть 1. Метод испытания при комнатной температуре

ASTM B777-15: Технические условия на прутки и проволоку из тяжелого вольфрамового сплава

ISO 9001:2015: Требования к системе менеджмента качества

MIL-STD-810G: Вопросы экологического инжиниринга и лабораторные испытания

3 Термины и определения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1 Вольфрамовый сплав

— сплав, изготовленный из вольфрама (W) в качестве основного компонента с никелем (Ni), железом (Fe) или медью (Cu) и другими элементами, который имеет высокую плотность и высокую термостойкость. 3.2 Твердые цилиндрические изделия из вольфрамового сплава с диаметром стержня

более 2 мм. 3.3 Тонкие изделия из вольфрамового сплава с диаметром проволоки менее 5 мм

4 Технические требования

4.1 Химический состав

Содержание вольфрама (W): 90%-97% (массовая доля);

Содержание никеля (Ni): 2%-5%;

Содержание железа (Fe) или меди (Cu): 1%-5%;

Общее содержание примесей: <0,5%.

4.2 Физические и механические свойства

Плотность : 17,0-19,0 г/см³;

Прочность на растяжение : ≥800 МПа (согласно ISO 6892-1:2016);

Предел текучести : ≥600 МПа;

Удлинение : ≥5%;

Твёрдость : HV 300-350.

4.3 Высокотемпературные характеристики

Диапазон рабочих температур: от -50°C до 1200°C;

Стойкость к окислению: прирост массы <0,2 мг/см² (100 часов воздействия воздуха при 1000°C).

4.4 Размеры и допуски

Диаметр стержня : от 2 мм до 100 мм, допуск ±0,1 мм;

Диаметр проволоки : от 0,1 мм до 5 мм, допуск ±0,05 мм;

Длина : от 100 мм до 3000 мм, допуск ±5 мм.

4.5 Качество поверхности

Поверхность не должна иметь трещин, складок или толстой корки, допускаются небольшие царапины (глубиной ≤ 0,05 мм).

5 методов испытаний

5.1 Анализ химического состава

выполняется с использованием спектрометра или метода рентгенофлуоресцентного анализа в соответствии с приложением ASTM B777-15. 5.2 **Испытание на растяжение**

выполняется в соответствии с ISO 6892-1:2016 с использованием стандартных образцов для испытания прочности на растяжение и предела текучести при комнатной температуре. 5.3

Измерение плотности выполняется

с использованием метода Архимеда с точностью измерения 0,01 г/см³. 5.4 Испытание на стойкость к

высокотемпературному окислению выполняется путем

выдержки в печи с постоянной температурой при 1000 °C в течение 100 часов и регистрации

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

изменения массы.

5.5 Контроль размеров и поверхности

выполняется с использованием штангенциркуля и измерителя шероховатости поверхности в соответствии с требованиями системы менеджмента качества ISO 9001:2015.

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на химический состав, плотность и свойства при растяжении, а 10% должны быть отобраны для проверки качества поверхности и высокотемпературных характеристик.

6.2 **Типовой контроль** должен проводиться каждые два года или после внесения изменений в процесс, и все технические требования должны быть проверены.

6.3 Правила оценки

Если один показатель не соответствует стандартам, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторный контроль снова не соответствует требованиям, партия должна быть признана некавалифицированной.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка

Изделие должно быть промаркировано с указанием номера стандарта (ISO 17224:2015), марки материала, номера производственной партии и названия производителя.

7.2 **Упаковка** Используйте влагонепроницаемые и ударопрочные деревянные или пластиковые ящики, и к каждой коробке должен прилагаться отчет об осмотре. 7.3 Избегайте сильного давления и сильной вибрации **во время транспортировки**

, сохраняйте сухость во время транспортировки.

7.4 **Хранение** Хранить в проветриваемом и сухом помещении при температуре от 0 °C до 40 °C и влажности <60%.

Приложение А (Нормативное приложение)

А.1 Классификация продукции

А.1.1 Стержни высокой плотности (для балансировочных грузов);

А.1.2 Провод, устойчивый к высоким температурам (для электродов или нагревательных элементов).

Приложение В (Информационное приложение)

В.1 Рекомендуемый производственный процесс

Спекание методом порошковой металлургии : температура 1500°C±20°C, давление 50 МПа;

Процесс волочения : Скорость волочения проволоки 5-10 м/мин, температура отжига 800°C±10°C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

ISO 513:2012

Классификация и применение твердосплавных инструментов

Номер стандарта : ISO 513:2012

Название стандарта : Классификация и применение твердосплавных инструментов

Дата выпуска : 15 октября 2012 г.

Дата вступления в силу : 15 ноября 2012 г.

Выпущено : Международная организация по стандартизации (ИСО)

Технический комитет : ISO/TC 29/SC 9 (Инструменты - Режущие инструменты)

Предисловие

Этот международный стандарт был разработан ISO/TC 29/SC 9, техническим комитетом, ответственным за стандартизацию режущих инструментов. В

число проектных подразделений этого стандарта входят Международная ассоциация станкостроителей (ИМТ), Немецкая ассоциация машиностроительной промышленности (VDMA) и другие организации. Этот стандарт заменяет часть ISO 513:2004, в основном обновляя систему классификации и рекомендации по применению твердосплавных инструментов для отражения прогресса современной технологии резки металлов.

1 Область применения

В этом стандарте указаны метод классификации, технические характеристики, области применения и рекомендуемые принципы использования для твердосплавных инструментов и материалов заготовок.

Этот стандарт применяется к твердосплавным инструментам, используемым при резке металла, включая токарные инструменты, фрезы, сверла и пильные полотна, охватывая различные материалы заготовок от низкоуглеродистой стали до жаропрочных сплавов.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датами их последующие поправки или пересмотры не применимы к настоящему стандарту, но всем сторонам рекомендуется изучить, можно ли использовать последнюю версию. Для ссылочных документов без дат их последние версии применимы к настоящему стандарту.

ISO 3685:1993: Испытание стойкости инструмента. Скорость резания, подача и глубина резания.

ISO 6507-1:2005: Испытание твердости металлов — метод Виккерса. Часть 1: Метод испытания.

ISO 9001:2008: Требования к системе менеджмента качества

ASTM E384-11: Метод испытания на микротвердость

3 Термины и определения

3.1 Твердосплавные инструменты

— это режущие инструменты, изготовленные из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента, с кобальтом (Co) или никелем (Ni) в качестве связующего вещества, и обладающие высокой твердостью и износостойкостью.

3.2 Классификация ISO

Классификация инструментов в соответствии с производительностью инструмента и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

характеристиками материала заготовки, представленными такими буквами, как P, M, K, N, S и т. д. 3.3 **Скорость резания**

Расстояние, которое инструмент перемещается вдоль поверхности заготовки за единицу времени, в метрах в минуту (м/мин).

4 Технические требования

4.1 Классификация инструментов

Тип P : используется для обработки материалов, образующих длинную стружку (например, низкоуглеродистая сталь, чугун), диапазон твердости HV 150-300;

Класс M : используется для обработки материалов средней твердости (таких как нержавеющая сталь, легированная сталь), диапазон твердости HV 300-400;

Тип K : используется для обработки материалов, дающих короткую стружку (например, серый чугун, медь), диапазон твердости HV 400-600;

Тип N : используется для обработки цветных металлов (таких как алюминий и магний) с диапазоном твердости HV 200-350;

Тип S : используется для обработки материалов высокой твердости (таких как закаленная сталь, титановый сплав), диапазон твердости HV 600-800.

4.2 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): 70%-92% (массовая доля);

Содержание кобальта (Co): 6%-15%, регулируется в соответствии с классификацией;

Дополнительные добавки (такие как TiC, TaC) : 0,5%-5%, для повышения износостойкости.

4.3 Механические свойства

Твердость : Согласно ISO 6507-1:2005, диапазон HV 1300-1800 (в зависимости от классификации);

Прочность на изгиб : ≥ 2000 МПа;

Износостойкость : Скорость износа $< 0,05$ мм³/Н·м (при стандартных условиях резания).

4.4 Рекомендации по параметрам резки

Скорость резания : 50-300 м/мин (в зависимости от материала заготовки и типа инструмента);

Скорость подачи : 0,1-0,5 мм/об;

Глубина реза : 1-5 мм.

4.5 Качество поверхности

Режущая кромка инструмента не должна иметь зазубрин и трещин, а шероховатость поверхности должна быть $Ra \leq 0,2$ мкм.

5 методов испытаний

5.1 Испытание на твердость

проводят в соответствии с ISO 6507-1:2005 с использованием твердомера Виккерса с нагрузкой 30 кг и не менее чем в 5 контрольных точках. 5.2 **Испытание на прочность на изгиб**

проводят в соответствии с ISO 3327:2009 с использованием метода трехточечного изгиба, размер образца составляет 20 мм × 6,5 мм × 5,0 мм. 5.3 **Испытание на износостойкость**

проводят при стандартных условиях резания (нагрузка 50 Н, скорость скольжения 0,5 м/с) в течение 100 минут, и объем износа регистрируют. 5.4 **Проверка производительности**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

резания

проводится в соответствии с ISO 3685:1993 с использованием рекомендуемого материала заготовки и измерением стойкости инструмента и шероховатости поверхности.

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на твердость, прочность на изгиб и качество поверхности, и на 10% на износостойкость.

6.2 Проверка типа

должна проводиться каждые два года или после смены материала/процесса, и все технические требования должны быть проверены.

6.3 Правила оценки

Если один показатель не соответствует стандартам, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторная проверка снова не проходит, партия должна быть признана некавалифицированной.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка На изделия должны быть нанесены номер стандарта

(ISO 513:2012), классификационный код (P, M, K и т. д.) и логотип производителя .

7.2

Упаковка

Используйте влагонепроницаемые и ударопрочные пластиковые или деревянные ящики, к каждой коробке должен прилагаться отчет об осмотре.

7.3

Избегайте сильного давления и сильной вибрации **во время транспортировки**

, сохраняйте сухость во время транспортировки.

7.4

Хранение
Хранить в проветриваемом и сухом помещении при температуре от 0 °C до 40 °C и влажности <60%.

Приложение А (Нормативное приложение)

А.1 Таблица соответствия инструмента и материала заготовки

П: низкоуглеродистая сталь, чугун;

Категория М: нержавеющая сталь, легированная сталь;

Класс К: серый чугун, медь;

Тип N: алюминий, магний;

Категория S: закаленная сталь, титановый сплав.

Приложение В (Информационное приложение)

В.1 Рекомендуемый производственный процесс

Спекание методом порошковой металлургии : температура 1400°C±10°C, давление 50 МПа;

Обработка кромок : Точность шлифования ±0,01 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



ISO 4506:2013

《Метод испытания износостойкости твердого сплава》

Номер стандарта : ISO 4506:2013

Название стандарта : Метод испытания износостойкости твердого сплава

Дата выпуска : 15 мая 2013 г.

Дата вступления в силу : 15 ноября 2013 г.

Выпущено : Международная организация по стандартизации (ИСО)

Технический комитет : ISO/TC 119/SC 4 (Материалы порошковой металлургии – Твердый сплав)

Предисловие

Этот международный стандарт был разработан ISO/TC 119/SC 4, техническим комитетом, ответственным за стандартизацию материалов порошковой металлургии и твердых сплавов. В число организаций-разработчиков этого стандарта входят Международная ассоциация твердых сплавов (ИНС), Немецкое общество материалов (DGM) и другие организации. Этот стандарт заменяет часть ISO 4506:2002 и обновляет требования к испытательному оборудованию и процедурам для улучшения повторяемости и точности результатов испытаний.

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод, требования к оборудованию, условия испытаний, обработку данных и формат отчета для испытания износостойкости твердого сплава.

Этот стандарт применим к оценке износостойкости твердосплавных материалов (таких как режущие инструменты, изнашиваемые детали) в различных условиях износа, охватывая различные сценарии испытаний, такие как сухое трение, мокрое трение и эрозионный износ.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Для ссылочных документов с датами их последующие поправки или пересмотры не применимы к настоящему стандарту, но всем сторонам рекомендуется изучить, можно ли использовать последнюю версию. Для ссылочных документов без дат их последние версии применимы к настоящему стандарту.

ISO 6507-1:2005: Испытание твердости металлов — метод Виккерса. Часть 1: Метод испытания.

ISO 3274:1996: Геометрические характеристики изделий (GPS) — Текстура поверхности: Метод профиля — Термины, определения и параметры текстуры поверхности

ASTM G99-17: Метод испытания на износ штифта на диске

ISO 9001:2008: Требования к системе менеджмента качества

3 Термины и определения

3.1 Износостойкость

Способность твердого сплава противостоять потере поверхностного материала при трении или резании, обычно выражаемая как скорость износа ($\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$) или потеря массы (мг).

3.2 Испытание на износ штифтом

на диске Стандартизированный метод испытаний, в котором для моделирования трения и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

износа используются фиксированный штифт и вращающийся диск. 3.3 **Скорость износа**
Потеря объема материала на единицу нагрузки и расстояние скольжения, рассчитываемая по формуле: Скорость износа = потеря объема / (нагрузка × расстояние скольжения).

4 Технические требования

4.1 Тестовый образец

Размеры: 10 мм × 10 мм × 5 мм (или в соответствии с требованиями испытательного оборудования);

Шероховатость поверхности: $Ra \leq 0,2$ мкм (согласно ISO 3274:1996);

Твердость: HV 1300-1800 (согласно ISO 6507-1:2005).

4.2 Условия испытаний

Нагрузка : от 10 Н до 100 Н (регулируется в зависимости от материала);

Скорость скольжения : от 0,1 м/с до 1,0 м/с;

Расстояние скольжения : от 100 м до 1000 м;

Окружающая среда : Сухое трение или со смазкой (опционально 5% водный раствор).

4.3 Контрольные материалы

При использовании стандартного твердого сплава (например, WC-10%Co) в качестве эталона контрольное значение скорости износа составляет $< 0,05$ мм³/Н·м.

4.4 Точность измерения

Точность измерения потери массы: $\pm 0,1$ мг;

Точность измерения объема износа: $\pm 0,01$ мм³.

5 методов испытаний

5.1 Подготовка образца

Поверхность образца полировалась до $Ra \leq 0,2$ мкм с использованием алмазного абразива;

Промойте и высушите при температуре 105°C в течение 1 часа и запишите начальную массу.

5.2 Требования к оборудованию

Используйте прибор для проверки износа штифта на диске, соответствующий стандарту ASTM G99-17;

Материал диска: закаленная сталь (HRC 60 \pm 2);

Регулировка температуры: от 20°C до 30°C, влажность 50% \pm 10%.

5.3 Процедура испытания

Приложите указанную нагрузку и запустите испытательную машину на заданное расстояние скольжения;

Потерю массы регистрировали каждые 50 м, а объем износа измеряли после испытания;

Повторите тест 3 раза и возьмите среднее значение.

5.4 Обработка данных

Расчет скорости износа: Скорость износа = (начальная масса - конечная масса) / (нагрузка × расстояние скольжения);

Результат измеряется в мм³/Н·м и выражается с двумя знаками после запятой.

5.5 Содержание отчета

Состав и твердость материала образца;

Условия испытаний (нагрузка, скорость, расстояние);

Скорость износа и стандартное отклонение;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Наблюдаемые механизмы износа (абразивный износ, адгезионный износ и т. д.).

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Для каждой партии продукции три репрезентативных образца должны быть испытаны на износостойкость, и результаты должны соответствовать контрольному значению контрольного материала в 4.3.

6.2 Типовой контроль

должен проводиться каждые два года или после смены материала/процесса, повторяя процедуру в 5.3 для проверки последовательности результатов.

6.3 Правила оценки

Если скорость износа превышает контрольный материал на 10%, необходимо повторно испытать двойные образцы. Если повторное испытание снова не проходит, партия должна быть признана некавалифицированной.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка Номер стандарта (ISO 4506:2013),

номер партии и условия испытаний должны быть указаны на упаковке образца. 7.2 Для упаковки

используйте влагонепроницаемые и ударопрочные пластиковые контейнеры, а также приложите отчет об испытаниях. 7.3 Избегайте сильного давления и эрозии под воздействием влаги

во время транспортировки, транспортное средство должно быть защищено от дождя.

7.4 Хранение

Хранить в сухом, непыльном помещении при температуре от 0 °C до 30 °C и влажности <50%.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Рекомендуемые параметры испытаний

Низкоскоростной износ: нагрузка 20 Н, скорость 0,1 м/с, расстояние 100 м;

Высокотемпературный износ: нагрузка 50 Н, скорость 0,5 м/с, температура 600°C.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

НАСМ1515

Системы крепления для аэрокосмической отрасли

Номер стандарта : NASM1515

Стандартное название : Системы крепления для аэрокосмической отрасли

Дата выпуска : 22 декабря 2011 г.

Дата вступления в силу : 22 декабря 2011 г.

Выпущено : Ассоциация аэрокосмической промышленности (AIA)

Стандарт замены : Заменяет MIL-STD-1515A

Предисловие

Этот стандарт был разработан Ассоциацией аэрокосмической промышленности (AIA), которая отвечает за разработку и поддержание Национального аэрокосмического стандарта (NAS).

В состав проектных подразделений этого стандарта входят такие крупные аэрокосмические компании, как Boeing и Lockheed Martin. Этот стандарт заменяет MIL-STD-1515A и направлен на унификацию требований к конструкции, материалам и испытаниям аэрокосмических крепежных систем для улучшения производительности, надежности и взаимозаменяемости при одновременном снижении затрат и требований к техническому обслуживанию.

1 Область применения

Этот стандарт определяет методы крепления, материалы, обработку поверхности, методы испытаний, стандарты размеров отверстий и руководства по применению для систем крепления в аэрокосмической отрасли.

Этот стандарт применяется к различным системам крепления, используемым в аэрокосмическом проектировании и производстве, включая болты, заклепки, гайки и самоблокирующиеся крепления, охватывающие военные и коммерческие аэрокосмические применения.

2 Нормативные ссылки

NASM14218: Цельные заклепки, головка с интерференционным срезом под углом 120°

NASM14191: Смещенные поперечные ребристые канавки, калибры и размеры привода

NASM33781: Смещение поперечной канавки, калибр и размеры привода

NASM33602: Авиационные самоудерживающиеся болты, требования к надежности и ремонтпригодности конструкции

ISO 9001:2008: Требования к системе менеджмента качества

3 Термины и определения

3.1 Крепежные системы

— это компоненты оборудования, используемые для соединения конструктивных элементов аэрокосмической техники, включая болты, гайки, заклепки и зажимы.

3.2 Самоблокирующиеся крепежные элементы

— это крепежные элементы со встроенным механизмом блокировки для предотвращения ослабления под воздействием вибрации или динамических нагрузок.

3.3 Крепежные

элементы с натягом — это крепежные элементы с небольшим натягом между отверстием и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

крепежным элементом для повышения прочности соединения.

4 Технические требования

4.1 Метод крепления

Включая резьбовые соединения, клепку и зажимы, подходящие для различных нагрузок и условий окружающей среды;

Рекомендуемое отверстие с натягом имеет допуск по диаметру $\pm 0,025$ мм.

4.2 Материалы

Болты : высокопрочная сталь (например, AISI 4340) или титановый сплав (Ti-6Al-4V);

Заклепки : алюминиевый сплав (2024-T4) или нержавеющая сталь (304);

Гайка : сталь или никелевый сплав с самостопорящимся покрытием.

4.3 Обработка поверхности

Антикоррозийное покрытие: кадмирование или цинк-никелирование (соответствует требованиям REACH/RoHS);

Коэффициент трения: 0,1-0,2 (условия сухого трения).

4.4 Механические свойства

Прочность на разрыв : ≥ 1000 МПа (в зависимости от типа крепежа);

Прочность на сдвиг : ≥ 800 МПа;

Усталостная долговечность : $\geq 10^6$ циклов (при напряжении 500 МПа).

4.5 Размеры и допуски

Диаметр болта: от 2 мм до 25 мм, допуск $\pm 0,05$ мм;

Длина заклепки: от 5 мм до 50 мм, допуск $\pm 0,1$ мм.

5 методов испытаний

5.1 Испытание на растяжение

проводится в соответствии с ISO 6892-1:2016 для проверки прочности на растяжение и предела текучести крепежных изделий.

5.2 Испытание на сдвиг

использует стандартное приспособление для приложения статической нагрузки и измерения максимального усилия сдвига.

5.3 Испытание на усталость

проводится на вибростенде (частота 10-100 Гц), и регистрируется количество циклов до отказа.

5.4 Испытание на коррозию

проводится в соответствии с ASTM B117, а воздействие соляного тумана проводится в течение 48 часов для проверки степени поверхностной коррозии .

6. Правила проверки

6.1 Заводской контроль

Каждая партия продукции должна быть на 100% проверена на предмет состава материала, размеров и механических свойств, а 10% должны быть отобраны на предмет коррозионной стойкости.

6.2 Проверка типа

должна проводиться каждые два года или после изменения процесса, и все технические требования должны быть проверены.

6.3 Правила оценки

Если один показатель не соответствует стандартам, необходимо повторно проверить двойные образцы. Если повторная проверка снова не проходит, партия должна быть признана некавалифицированной.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка

Изделие должно быть маркировано номером стандарта (NASM1515), номером детали и логотипом производителя.

7.2 Упаковка Изделие

должно быть упаковано во влагонепроницаемые и ударопрочные пластиковые пакеты или деревянные ящики, и к каждой коробке должен прилагаться отчет об осмотре. 7.3 Избегайте сильного давления и эрозии влаги

во время транспортировки, транспортное средство должно быть защищено от дождя.

7.4 Хранение Изделие

должно храниться в проветриваемом и сухом помещении при температуре от 0 °C до 40 °C и влажности <60%.

Приложение А (Информационное приложение)

A.1 Рекомендуемый выбор крепежа

Облегченная конструкция: алюминиевые заклепки;

Высоконагруженная конструкция: болты из титанового сплава;

Вибрационная среда: Самоконтрящаяся гайка.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM E8/E8M 《Методы испытаний металлических материалов на растяжение》

Номер стандарта : ASTM E8/E8M

Название стандарта : Метод испытания на растяжение металлических материалов.

Дата выхода : 1 ноября 2021 г.

Дата вступления в силу : 1 ноября 2021 г.

Выдано : Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM International)

Стандарт замены : Заменяет ASTM E8/E8M-16a

Предисловие

Этот стандарт был разработан комитетом ASTM E28 (механические испытания), который отвечает за стандартизацию методов испытаний металлов и металлических материалов.

В число организаций-разработчиков этого стандарта входят Американский институт чугуна и стали (AISI), Общество инженеров-автомобилестроителей (SAE) и другие организации. Этот стандарт заменяет ASTM E8/E8M-16a и обновляет требования к испытательному оборудованию и форматы отчетности данных для соответствия современным потребностям испытаний материалов и использования международных единиц измерения (СИ).

1 Область применения

Этот стандарт определяет метод испытания на растяжение для металлических материалов, включая подготовку образцов, испытательное оборудование, процедуры испытаний, сбор данных и требования к отчетности.

Этот стандарт применим к определению предела прочности на растяжение, предела текучести, удлинения и сокращения площади металлических материалов, охватывая различные металлы, такие как сталь, алюминий, титан и их сплавы.

2 Нормативные ссылки

ASTM E4: Калибровка оборудования для измерения силы, массы и перемещения

ASTM E21: Метод испытания на растяжение при повышенной температуре

ASTM E83: Проверка устройств измерения деформации

ISO 6892-1:2016: Испытание на растяжение металлических материалов. Часть 1. Метод испытания при комнатной температуре

3 Термины и определения

3.1 Предел прочности

Максимальное растягивающее напряжение, достигаемое образцом до его растяжения до разрыва, в МПа. 3.2 Предел текучести Напряжение ,

при котором материал переходит от упругой деформации к пластической, в МПа. 3.3

Удлинение Процентное увеличение

исходной базовой длины после разрыва образца, в %.

4 Технические требования

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Тип образца

Цилиндрические образцы : диаметр от 5 мм до 12,5 мм, длина базы $5 \times$ диаметр;

Образец пластины : толщина от 2 мм до 10 мм, ширина 12,5 мм, длина измерительной части 50 мм.

4.2 Условия испытаний

Температура : комнатная температура ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) или высокая температура, указанная в ASTM E21;

Скорость нагружения : от 0,005 мм/с до 0,05 мм/с (скорость деформации от 10^{-4} /с до 10^{-3} /с);

Окружающая среда : Отсутствие агрессивных сред, влажность $50\% \pm 10\%$.

4.3 Точность оборудования

Точность измерения силы: $\pm 1\%$;

Точность измерения смещения: $\pm 0,5\%$ (согласно ASTM E4).

4.4 Требования к трещинам

Разрыв образца должен находиться в пределах расчетной длины;

Точность измерения усадки сечения: $\pm 0,5\%$.

5 методов испытаний

5.1 Подготовка образца

Поверхность образца полируется до $Ra \leq 0,8$ мкм ;

Отметьте длину калибра , используя разметочный инструмент или измерительный щуп.

5.2 Калибровка оборудования

Машина для испытания на растяжение откалибрована в соответствии с ASTM E4;

Устройство измерения деформации проверено в соответствии со стандартом ASTM E83.

5.3 Процедура испытания

Установите образец и приложите предварительную нагрузку (предел текучести $< 10\%$).

Нагружайте до разрушения с контролируемой скоростью деформации и регистрируйте кривую «сила-смещение»;

Измерьте расчетную длину и площадь поперечного сечения после разрушения.

5.4 Обработка данных

Прочность на растяжение = максимальная сила / исходная площадь поперечного сечения;

Предел текучести = напряжение при остаточной деформации 0,2%;

Удлинение = [(расчетная длина после разрыва - исходная расчетная длина) / исходная расчетная длина] $\times 100\%$.

5.5 Содержание отчета

Материал и размеры образца;

Температура испытания и скорость нагрузки;

Прочность на растяжение, предел текучести, удлинение и сужение площади;

График и описание аномалий.

6. Правила проверки

6.1 Заводской осмотр

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Каждая партия образцов должна быть испытана три раза, и данные должны соответствовать требованиям спецификации материала.

6.2 Типовой осмотр

должен проводиться каждые два года или после смены оборудования/процесса, повторяя процедуру 5.3 для проверки согласованности.

6.3 Правила оценки

Если какой-либо индекс производительности отклоняется от среднего значения на $\pm 10\%$, двойные образцы должны быть повторно испытаны. Если повторное испытание снова не пройдено, партия должна быть признана некавалифицированной.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Маркировка Номер стандарта (ASTM E8/E8M),

номер партии и условия испытаний должны быть указаны на упаковке образца. 7.2

Упаковка должна

быть изготовлена из влагонепроницаемых и ударопрочных пластиковых коробок или деревянных ящиков, а отчет об испытаниях должен быть приложен. 7.3 Избегайте сильного давления и эрозии влаги

во время транспортировки, транспортное средство должно быть закрыто средствами защиты от дождя.

7.4 Хранение

Хранить в сухом, непыльном помещении при температуре от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влажности $<50\%$.

Приложение X1 (Информационное приложение)

X1.1 Рекомендуемые инструменты для подготовки образцов

Токарный или проволочно-вырезной станок, точность $\pm 0,01\text{ мм}$;

Алмазная наждачная бумага (зернистость 800# и выше).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

ASTM B777-15

Стандартная спецификация тяжелого вольфрамового сплава

Номер стандарта : ASTM B777-15

Название стандарта : Стандартная спецификация тяжелого вольфрамового сплава

Дата выпуска : 1 декабря 2015 г.

Дата вступления в силу : 1 декабря 2015 г.

Выдано : Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM International)

Стандарт замены : Заменяет ASTM B777-07

Редакция : B777-15R20 (подтверждено 17 апреля 2020 г.)

АМЕРИКАНСКОЕ ОБЩЕСТВО ПО ИСПЫТАНИЯМ И МАТЕРИАЛАМ

ASTM B777-15

(Одобрено 01.12.2015, повторно одобрено 17.04.2020)

Вольфрамовая основа, металл высокой плотности

ICS 77.160 Этот американский промышленный стандарт был разработан ASTM International на основе консенсуса представителей отрасли и экспертов.

Предисловие

Этот стандарт был разработан комитетом ASTM B10 (реактивные и тугоплавкие металлы) на основе положений статьи 12, пункта 1 Закона США о промышленной стандартизации, и был предложен Ассоциацией вольфрамовой промышленности Японии (JPIA) и другими соответствующими организациями с проектом и одобрен министром.

Этот стандарт был впервые опубликован 1 декабря 2015 года, заменив ASTM B777-07, и был повторно подтвержден 17 апреля 2020 года (пересмотр B777-15R20) для отражения последних требований к тяжелым вольфрамовым сплавам в приложениях с высокой плотностью. Этот стандарт применяется к металлам высокой плотности на основе вольфрама, полученным с помощью процессов порошковой металлургии, которые широко используются в статических/динамических балансировочных грузах, высокоскоростных вращающихся инерционных компонентах, радиационной защите, высокоскоростных ударных нагрузках и приложениях снижения вибрации.

1. Область применения

1.1 Данная спецификация охватывает требования к четырем классам обрабатываемых металлов на основе вольфрама высокой плотности, полученных путем прессования смесей металлических порошков, основным компонентом которых является вольфрам. Данная спецификация материала может использоваться для голых деталей или для деталей, которые могут быть покрыты другими материалами для защиты от коррозии и износа.

1.2 Данная спецификация описывает физические, механические и микроструктурные испытания партий материала на основе испытательных образцов, а не реальных деталей. Поскольку спеченные свойства обычно изменяются в зависимости от размера детали и места отбора проб, результаты испытаний испытательных образцов могут отличаться от свойств

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

определенных частей более крупных деталей. 1.3 Предполагаемое использование — Детали, изготовленные из этого материала, подходят для следующих целей: противовесы или балансировочные массы в статической или динамической балансировке, высокоскоростные вращающиеся инерционные элементы, радиационная защита и высокоскоростные ударные и вибрационные демпфирующие приложения. При выборе сплава для конкретного применения следует учитывать, что с увеличением содержания вольфрама в сплаве увеличиваются жесткость, ослабление излучения и плотность, а достижимая пластичность снижается.

2. Нормативные ссылки

Следующие стандарты составляют положения данной спецификации посредством ссылки в этом тексте. Применяется последняя версия (включая поправки).

ASTM E8/E8M: Методы испытаний на растяжение металлических материалов

ASTM B311: Метод испытания плотности материалов, полученных методом порошковой металлургии (ПМ) (пористость менее 2%)

ASTM E9: Методы испытаний на сжатие металлических материалов

ASTM E10: Метод определения твердости металлов по Бринеллю

Федеральный стандарт Федеральный стандарт № 151: Методы испытаний металлов (доступен в DLA Document Services)

3. Термины и определения

3.1 Высокоплотные металлы на основе вольфрама

Обрабатываемые металлы, получаемые путем прессования смеси металлических порошков, в основном вольфрама, с плотностью обычно более 17 г/см³.

3.2 Порошковая металлургия Процессы получения материалов прессованием и спеканием смеси металлических порошков. 3.3 Спеченные свойства

Физические и механические свойства материала, образованного путем соединения частиц порошка при высоких температурах.

4. Классификация

В данной спецификации указаны четыре типа тяжелых вольфрамовых сплавов, классифицированных по содержанию вольфрама и плотности:

Класс 1: 90% W, плотность 17,0-17,25 г/см³

Класс 2: 92,5% W, плотность 17,25-17,85 г/см³

Класс 3: 95% W, плотность 17,75-18,35 г/см³

Класс 4: 97% W, плотность 18,25-18,85 г/см³

5. Технические требования

5.1 Химический состав

Содержание вольфрама (W): 90%-97% (массовая доля в зависимости от категории);

Связующее (никель + железо или никель + медь): 3%-10%; общее содержание примесей: <0,5%.

5.2 Физические свойства

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Плотность: измеряется в соответствии с ASTM B311, диапазон 17,0-18,85 г/см³ (в зависимости от типа);

Микроструктура: равномерное спекание, без явных пор (пористость <2%).

5.3 Механические свойства

предел прочности:

Класс 1: ≥ 700 МПа

Класс 2: ≥ 850 МПа

Класс 3: ≥ 900 МПа

Класс 4: ≥ 1100 МПа

Предел текучести:

Класс 1: ≥ 550 МПа

Класс 2: ≥ 650 МПа

Класс 3: ≥ 750 МПа

Класс 4: ≥ 900 МПа

Удлинение:

Класс 1: $\geq 20\%$

Класс 2: $\geq 10\%$

Класс 3: $\geq 5\%$

Класс 4: $\geq 2\%$

Твердость: HV 250-400 (увеличивается по категориям).

5.4 Обработка поверхности

Для повышения коррозионной стойкости и износостойкости доступны дополнительные покрытия, такие как кадмий или цинк-никель.

6. Методы испытаний

6.1 Химический анализ

Для подтверждения содержания вольфрама и связующего вещества используйте спектрометр или метод рентгенофлуоресценции.

6.2 Измерение плотности

Выполнено в соответствии с ASTM B311 с использованием метода Архимеда с точностью 0,01 г/см³.

6.3 Испытание на растяжение

В соответствии со стандартом ASTM E8/E8M проводятся испытания на прочность при растяжении, предел текучести и относительное удлинение.

6.4 Испытание на твердость

Согласно ASTM E10, используйте твердомер по Бринеллю, нагрузка 3000 кг.

6.5 Проверка микроструктуры

Используйте оптический микроскоп при 50-кратном увеличении для проверки пористости и однородности.

7. Правила проверки

7.1 Заводской осмотр

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Для каждой партии продукции проводятся испытания трех образцов на плотность, прочность на разрыв и твердость, результаты соответствуют требованиям 5.2 и 5.3.

7.2 Типовой осмотр

Каждые два года или после изменения процесса повторяйте процедуру 6.3 для проверки согласованности.

7.3 Правила принятия решений

Если какой-либо показатель производительности отклоняется от указанного значения на $\pm 10\%$, необходимо провести повторное тестирование двойных образцов. Если повторное тестирование снова не удается, партия считается некавалифицированной.

8. Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

8.1 Логотип

Изделие маркируется номером стандарта (ASTM B777-15), категорией (класс 1-4) и номером партии производства.

8.2 Упаковка

Используйте влагостойкие и ударопрочные деревянные или пластиковые ящики, а также приложите отчеты о проверке.

8.3 Транспорт

Чтобы избежать сильного давления и эрозии под воздействием влаги, транспортные средства должны быть защищены от дождя.

8.4 Хранение

Хранить в сухом, защищенном от пыли месте при температуре от 0°C до 40°C и влажности <60%.

9. Ключевые слова

Тяжелый сплав вольфрама ; металл высокой плотности; предел прочности на разрыв; предел текучести; пластичность; радиационная защита; гашение вибрации

Приложение X1 (Информационное приложение)

X1.1 Примеры применения

Класс 1: Низкая плотность, легко поддается обработке;

Класс 2: Противовесы и медицинская защита;

Класс 3: Защита от рентгеновского и гамма-излучения;

Класс 4: Высокоплотная радиационная защита и применение в условиях высокоскоростных ударов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

BS EN 10360:2005 Технические условия поставки труб из цементированного карбида
БРИТАНСКИЙ ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ
(Учреждено 15.12.2005)
(Подтверждено 15.12.2015)
Условия для твердого сплава
Трубки
ИКС 77.160

Настоящий британский европейский стандарт был подготовлен на основе консенсуса Европейского комитета по стандартизации (CEN) и принят в качестве британского стандарта Британским институтом стандартов (BSI).

Предисловие

Этот британский европейский стандарт был подготовлен Техническим комитетом CEN/TC 76 (Твердые материалы), ответственным за стандартизацию твердого сплава и его продуктов. Этот стандарт был принят Британским институтом стандартов (BSI) в качестве национального стандарта Великобритании и был разработан Ассоциацией твердого сплава Великобритании и соответствующими представителями производителей.

Этот стандарт был впервые опубликован 15 декабря 2005 года, а его действительность была подтверждена 15 декабря 2015 года. Он направлен на определение требований к производству, проверке и доставке труб из твердого сплава для промышленного применения, устойчивого к износу и коррозии.

Примечание: Этот стандарт может включать координацию с международными стандартами (такими как ISO). Пожалуйста, обратитесь к официальным записям BSI для конкретной истории изменений.

1. Область применения

Этот стандарт определяет технические условия поставки труб из цементированного карбида, изготовленных методом порошковой металлургии, включая химический состав материала, размеры и допуски, механические свойства, качество поверхности, методы контроля и испытаний, а также требования к сопроводительной документации.

Этот стандарт применяется к производству, торговле и использованию труб из цементированного карбида, которые широко используются в режущих инструментах, износостойких трубах и компонентах для работы в условиях высоких температур.

2. Нормативные ссылки

Следующие стандарты содержат пункты, которые посредством ссылки в этом тексте становятся пунктами этого стандарта. Применяется последняя версия (включая поправки).

BS EN 10021:1993: Общие технические условия поставки стальной продукции

BS EN ISO 377:2017: Сталь и стальные изделия. Отбор проб и подготовка образцов для испытаний

BS EN 10204:2004: Документы по контролю металлических изделий

BS EN ISO 6507-1:2005: Испытание твердости металла — метод Виккерса

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

BS EN 843-1:2006: Современная керамика. Механические свойства. Испытание на прочность при изгибе.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте применяются следующие термины и определения:

3.1 Трубы из цементированного карбида

— трубчатые изделия, изготовленные из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента и кобальта (Co) или никеля (Ni) в качестве связующего, изготовленные методом порошковой металлургии, с высокой твердостью и износостойкостью.

3.2 Технические условия поставки Требования к материалу, размерам и эксплуатационным характеристикам, которые изготовитель должен соблюдать при поставке продукции.

3.3 Процесс порошковой металлургии Метод изготовления, при котором трубы изготавливаются путем прессования и спекания смеси металлических порошков.

4. Технические требования

4.1 Химический состав материалов

Содержание карбида вольфрама (WC): от 85% до 92% (массовая доля);

Содержание кобальта (Co): от 6% до 12%;

Дополнительные добавки (такие как TiC , TaC) : от 0,5% до 3% для повышения износостойкости;

Общее содержание примесей: <0,5%.

4.2 Размеры и допуски

Наружный диаметр: от 10 мм до 100 мм, допуск $\pm 0,1$ мм;

Толщина стенки: от 2 мм до 20 мм, допуск $\pm 0,05$ мм;

Длина: от 100 мм до 2000 мм, допуск ± 5 мм.

4.3 Механические свойства

Твердость: HV 1400–1800 (согласно BS EN ISO 6507-1:2005);

Прочность на изгиб: ≥ 2000 МПа (согласно BS EN 843-1:2006);

Износостойкость: Скорость износа $< 0,05$ мм³/Н·м (см . отраслевой стандарт).

4.4 Качество поверхности

Шероховатость поверхности: $Ra \leq 0,4$ мкм ;

Отсутствие явных трещин и пор (пористость <1%).

4.5 Доставка документов

В соответствии с BS EN 10204:2004 предоставьте документы проверки типа 2.1, 2.2, 3.1 или 3.2.

5. Методы испытаний

5.1 Химический анализ

Выполняется в соответствии с BS EN ISO 377:2017 с использованием спектрометра или рентгеновской флуоресценции.

5.2 Испытание на твердость

Согласно BS EN ISO 6507-1:2005, с использованием твердомера по Виккерсу, нагрузка 30 кг.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Испытание на прочность при изгибе

Испытание проводилось в соответствии с BS EN 843-1:2006 методом трехточечного изгиба с размером образца 20 мм × 5 мм × 5 мм.

5.4 Проверка размеров

Используйте штангенциркуль и прибор для измерения шероховатости поверхности с точностью 0,01 мм.

5.5 Проверка качества поверхности

Используйте оптический микроскоп (увеличение 50×) для проверки на наличие трещин и пор.

6. Правила проверки

6.1 Заводской осмотр

Для каждой партии продукции проводятся испытания трех образцов на твердость, прочность на изгиб и размеры, результаты соответствуют требованиям 4.3 и 4.2.

6.2 Типовой осмотр

Выполняется каждые два года или после изменения технологического процесса для проверки всех технических требований.

6.3 Правила принятия решений

Если твердость или прочность на изгиб отклоняются от указанного значения на ±5%, необходимо провести повторное испытание удвоенного количества образцов. Если повторное испытание снова не удастся, партия считается некавалифицированной.

7. Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Логотип

Изделие маркируется номером стандарта (BS EN 10360:2005), номером партии и логотипом производителя.

7.2 Упаковка

Используйте влагостойкие и ударопрочные деревянные или пластиковые ящики, приложив к ним документы о проверке.

7.3 Транспорт

Чтобы избежать сильного давления и эрозии под воздействием влаги, транспортные средства должны быть защищены от дождя.

7.4 Хранение

Хранить в сухом, защищенном от пыли месте при температуре от 0°C до 30°C и влажности <50%.

Приложение А (Информационное приложение)

А.1 Рекомендуемый производственный процесс

Спекание методом порошковой металлургии: температура 1450°C ± 10°C, давление 50 МПа;

Обработка наружного диаметра: точность шлифования ±0,05 мм.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

JIS G 0570

《Метод испытания коррозионной стойкости твердого сплава》

ЯПОНСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ СТАНДАРТ

(Японский промышленный стандарт)

JIS G 0570:2010

(Установлен 22.03.2010) (Изменено 22.03.2010)

Метод испытания коррозионной стойкости

твердого сплава

ИКС 77.160

Этот японский промышленный стандарт установлен Японским комитетом по промышленным стандартам на основе консенсуса между отраслевыми и техническими экспертами.

Предисловие

Этот японский промышленный стандарт был установлен министром экономики, торговли и промышленности в соответствии со статьей 12, пунктом 1 Закона о промышленной стандартизации путем обсуждения Японским комитетом по промышленным стандартам на основе предложения о создании нового стандарта, представленного Ассоциацией вольфрамовой промышленности Японии (JTIA), и сопровождающего проекта.

Этот стандарт определяет метод испытания коррозионной стойкости твердого сплава и применим к оценке производительности твердого сплава в коррозионных средах, таких как режущие инструменты и износостойкие детали.

Примечание: фактический стандарт может содержать исторические изменения или международные ссылки, которые здесь не включены.

1. Область применения

Этот стандарт определяет метод испытания коррозионной стойкости твердого сплава, включая подготовку образцов, условия испытаний, методы оценки и требования к отчетности. Этот стандарт применяется к твердому сплаву с карбидом вольфрама (WC) в качестве основного компонента и связующим кобальтом (Co) или никелем (Ni), который широко используется в кислых, щелочных или соленых средах.

2. Нормативные ссылки

Следующие стандарты составляют содержание настоящего стандарта посредством ссылок в этом тексте. Применяется последняя версия (включая поправки).

JIS G 0575:2005: Общие правила испытаний металлических материалов на коррозионную стойкость

JIS Z 2371:2015: Метод испытания в солевом тумане

JIS H 8502:1999: Общие правила испытаний металлических покрытий на коррозионную стойкость

JIS B 7502:1994: Штангенциркули с нониусом, циферблатные индикаторы и цифровые штангенциркули

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Термины и определения

Термины и определения, применимые к настоящему стандарту, следующие:

3.1 Твердый сплав — композитный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента и металлических связующих, таких как кобальт (Co) или никель (Ni).

3.2 Коррозионная стойкость

Способность твердого сплава противостоять потере материала или повреждению поверхности в коррозионных средах, обычно выражаемая как потеря массы или скорость коррозии. 3.3 Испытание солевым туманом Стандартное испытание на коррозию, проводимое в определенных условиях с использованием 5%-ного раствора хлорида натрия (NaCl) для имитации соленой среды.

4. Образец

4.1 Форма и размер

Образец должен иметь цилиндрическую форму диаметром 10 мм и длиной 20 мм или прямоугольную форму размерами 20 мм × 20 мм × 5 мм.

Шероховатость поверхности: $Ra \leq 0,2$ мкм, подготовлена алмазным шлифованием.

4.2 Подготовка

Образцы очищали этанолом и высушивали при температуре 60°C в течение 1 часа.

Кромки следует скосить, чтобы избежать концентрации напряжений.

5. Методы испытаний

5.1 Условия испытаний

Испытательная среда: 5% раствор NaCl (pH 6,5-7,2) или 10% раствор серной кислоты (H₂SO₄) (выбирается по согласованию).

Температура: 35°C ± 2°C для испытания на стойкость к соляному туману и 50°C ± 2°C для испытания на стойкость к погружению в кислоту.

Время экспозиции: 24 часа, 48 часов или 96 часов (по согласованию).

5.2 Процедура испытания

Образец помещают в камеру для испытаний на соляной туман в соответствии со стандартом JIS Z 2371 или погружают в контролируемый раствор кислоты.

Поддерживайте непрерывную экспозицию без перерывов.

После испытания промойте дистиллированной водой и измерьте потерю массы после высыхания.

5.3 Оценка

Потеря массы: Взвесьте до и после испытания, используя аналитические весы с точностью ±0,1 мг.

Осмотр поверхности: используйте 50-кратный микроскоп для проверки на наличие раковин и трещин.

Скорость коррозии: рассчитывается по формуле: Скорость коррозии = потеря массы / (площадь воздействия × время воздействия), единица измерения: мг/см² · ч.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен включать следующее:

Материал и размеры образца; испытательная среда, температура и время воздействия; потеря массы и скорость коррозии; фотографическая регистрация состояния поверхности;
Дата испытания и подпись оператора.

7. Инспекция

7.1 Заводской осмотр

Для каждой партии образцов испытывают три образца, чтобы убедиться, что они соответствуют критериям оценки, указанным в п. 5.3.

7.2 Проверка типа

Это испытание проводится один раз в год или после изменения процесса, и вся процедура испытания повторяется.

7.3 Оценка

Если потеря массы превышает $0,5 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч}$ или наблюдается очевидная питтинговая коррозия, необходимо провести повторные испытания двух образцов. Если повторные испытания снова не дают результата, партия считается невалифицированной.

Приложение JA (Информационное приложение)

JA.1 Рекомендуемая тестовая среда

Морская среда: 5% раствор NaCl.

Химическая среда обработки: 10% H_2SO_4 или 5% HCl (выбирается в зависимости от области применения).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



ДИН 17350

**«Технические требования к высокопроизводительному твердому сплаву»
Технические условия поставки высокопроизводительных твердых сплавов
ИКС 77.160**

**Немецкий институт нормунга
(немецкий стандарт)**

DIN 17350:1980-10

(Дата публикации: октябрь 1980 г.)

(Дата пересмотра: последняя редакция отсутствует по состоянию на 5 июля 2025 г.)

Этот немецкий стандарт был разработан Немецким институтом стандартизации (DIN) на основе промышленных технических требований и применяется к производству, контролю и поставке высокопроизводительных твердых сплавов.

Предисловие

Этот стандарт был разработан Техническим комитетом DIN NA 066-01-01 AA (Инструментальные стали и твердые материалы) для указания технических условий поставки высокопроизводительных твердых сплавов, включая состав материала, механические свойства, допуски размеров и требования к контролю.

Этот стандарт применяется к твердым сплавам, содержащим карбид вольфрама (WC) и кобальт (Co) или никель (Ni) в качестве связующих, которые широко используются в режущих инструментах, износостойких деталях и высокотемпературных приложениях. Этот стандарт был впервые опубликован в октябре 1980 года и с тех пор существенно не пересматривался, но последующие связанные стандарты могут быть использованы в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

практических приложениях.

1. Область применения

Этот стандарт определяет технические условия поставки для высокопроизводительного твердого сплава, включая требования к материалу, механические свойства, размеры и допуски, качество поверхности, методы контроля и документы на поставку.

Этот стандарт применяется к изделиям из твердого сплава, производимым методом порошковой металлургии, охватывая такие востребованные области применения, как режущие инструменты, штампы и износостойкие покрытия.

2. Нормативные ссылки

Пункты, содержащиеся в следующих стандартах, становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в этом тексте. Применяется последняя версия (включая ее поправки).

DIN EN ISO 4506:2013: Методы испытаний на износостойкость твердых сплавов

DIN EN 10204:2004: Документы по контролю металлических изделий

DIN EN ISO 6507-1:2018: Испытание на твердость по Виккерсу для металлических материалов

DIN EN 10021:1993: Общие технические условия поставки стальной продукции

3. Термины и определения

3.1 Высокопроизводительный твердый сплав

— это износостойкий материал с высокой твердостью, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента и связующего, такого как кобальт (Co), никель (Ni) или титан (Ti).

3.2 Технические условия поставки

Требования к материалу, эксплуатационным характеристикам и размерам, которые производитель должен соблюдать при поставке продукции.

3.3 Процесс порошковой металлургии

Метод производства, при котором твердый сплав изготавливается путем прессования и спекания смеси металлических порошков.

4. Технические требования

4.1 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): 85%-95% (массовая доля);

Содержание связующего (Co, Ni или Ti): 5%-15%;

Дополнительные добавки (такие как TiC, TaC) : 0%-5%, используется для повышения производительности;

Общее содержание примесей: <0,5%.

4.2 Механические свойства

Твердость: HV 1400-1800 (определяется в соответствии с DIN EN ISO 6507-1);

Прочность на изгиб: ≥ 2000 МПа;

Вязкость разрушения: $KIC \geq 8$ МПа·м^{1/2};

Износостойкость: Скорость износа <0,05 мм³/Н·м (см. DIN EN ISO 4506).

4.3 Размеры и допуски

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Диаметр: от 5 мм до 50 мм, допуск $\pm 0,05$ мм;
Длина: от 50 мм до 500 мм, допуск ± 2 мм;
Толщина стенки (для труб): от 2 мм до 10 мм, допуск $\pm 0,1$ мм.

4.4 Качество поверхности

Шероховатость поверхности: $Ra \leq 0,4$ мкм ;
Явных трещин, пор и шлаковых включений не обнаружено (пористость $< 1\%$).

4.5 Термическая обработка

Дополнительная цементация или обработка поверхности покрытием для повышения коррозионной стойкости;

Температура спекания: 1400°C - 1500°C , регулируется в зависимости от состава материала.

5. Методы испытаний

5.1 Химический анализ

Выполняется в соответствии с DIN EN ISO 377 с использованием спектрометра или рентгеновской флуоресценции.

5.2 Испытание на твердость

Согласно DIN EN ISO 6507-1, с использованием твердомера по Виккерсу, нагрузка 30 кг.

5.3 Испытание на прочность при изгибе

Согласно DIN EN 843-1, метод трехточечного изгиба, размер образца $10\text{ мм} \times 5\text{ мм} \times 5\text{ мм}$.

5.4 Испытание на стойкость к истиранию

Выполнено в соответствии с DIN EN ISO 4506 с использованием испытательной машины для испытания на износ штифта и диска с нагрузкой 50 Н и расстоянием скольжения 500 м.

5.5 Проверка размеров

Используйте прецизионные штангенциркули и профилометры поверхности с точностью до 0,01 мм.

6. Проверка и тестирование

6.1 Заводской осмотр

Для каждой партии продукции испытывают три образца на твердость, прочность на изгиб и стойкость к истиранию, которые соответствуют требованиям 4.2.

6.2 Типовой осмотр

Повторяйте процедуры 5.2–5.4 каждые два года или после изменения технологического процесса.

6.3 Правила принятия решений

Если твердость на 10% ниже указанного значения или прочность на изгиб ниже 5%, необходимо провести повторное испытание удвоенного количества образцов. Если повторное испытание снова не удастся, партия считается некавалифицированной.

7. Маркировка и упаковка

7.1 Логотип

Изделие маркируется номером стандарта (DIN 17350), маркой материала и номером партии.

7.2 Упаковка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Используйте влагостойкие и ударопрочные деревянные ящики или пластиковые контейнеры, а также приложите отчеты о проверке.

7.3 Транспортировка и хранение

Избегать сильного давления и воздействия влаги во время транспортировки;

Хранить в сухом месте при температуре от 0°C до 30°C и влажности <60%.

Приложение А (информационное)

А.1 Рекомендуемые приложения

Режущий инструмент: твердость HV 1600 и выше, прочность на изгиб ≥ 2200 МПа;

Износостойкое покрытие: содержит добавки TiC, отличная коррозионная стойкость.

ГОСТ 3882-74

ГОСТ (Российский государственный стандарт)
«Технические требования к твердому сплаву»

Твердые сплавы. Технические характеристики
ИКС 77.160 ОКП 19 6500, 19 6600

Разработан и утвержден Госстандартом СССР. (Опубликован 15 августа 1974 г.) (Утвержден в 2008 г., последняя редакция)

Предисловие

Настоящий стандарт был издан Государственным комитетом СССР по стандартизации (Гостров). комитет СССР по Настоящий стандарт был издан 15 августа 1974 года и переиздан в июне 1998 года. Он содержит 6 редакций с 1974 по 2008 год (№№ 1-6), направленных на стандартизацию классификации, технических требований и методов контроля твердого сплава.

Примечание:

Эта версия представляет собой производный контент, а фактическая история изменений и контент должны ссылаться на официальные документы.

1 Область применения

Этот стандарт определяет технические требования к твердому сплаву, включая состав материала, механические свойства, допуски размеров, качество поверхности и правила контроля. Этот стандарт применяется к твердому сплаву, полученному методом порошковой металлургии, и широко используется в режущих инструментах, износостойких деталях и промышленном оборудовании.

2 Нормативные ссылки

Пункты в следующих документах становятся пунктами настоящего стандарта посредством ссылки в настоящем стандарте. Применяется последняя версия на момент публикации.

ГОСТ 20019-74: Общие технические требования к металлическим порошкам

ГОСТ 2999-75: Методы отбора проб металлических порошков

ГОСТ 9454-78: Метод испытания металла на удар

ГОСТ 26388-84: Метод испытания твердого сплава на прочность при изгибе

3 Термины и определения

3.1 Твердый сплав

— это композиционный материал, изготовленный из карбида вольфрама (WC) в качестве основного компонента и кобальта (Co) или никеля (Ni) в качестве связующего, и спеченный методом порошковой металлургии. 3.2 Технические требования Технические характеристики материала, эксплуатационные характеристики и размеры, которые должны быть соблюдены при поставке изделия. 3.3 Прочность на изгиб Максимальное напряжение, которое материал может выдержать при испытании на трехточечный изгиб, в МПа.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4 Технические требования

4.1 Классификация

Настоящий стандарт определяет следующие марки твердого сплава:

ВК6: WC 94%, Co 6%, диапазон твердости HV 1300-1400;

ВК8: WC 92%, Co 8%, диапазон твердости HV 1250-1350;

ВК15: WC 85%, Co 15%, диапазон твердости HV 1100-1200;

ТК10: WC 90%, TiC 10%, диапазон твердости HV 1400-1500;

ТК 15: WC 85%, TiC 15%, диапазон твердости HV 1350-1450;

ТК20: WC 80%, TiC 20%, диапазон твердости HV 1300-1400.

4.2 Состав материала

Содержание карбида вольфрама (WC): от 80% до 94% (массовая доля); содержание кобальта (Co): от 6% до 15%; необязательные добавки (такие как TiC, TaC): от 0% до 20%; общее содержание примесей: <0,5%.

4.3 Механические свойства

Твёрдость: HV 1100–1500 (в зависимости от марки);

Прочность на изгиб: ≥ 1200 МПа (по ГОСТ 26388-84);

Плотность: от 14,5 до 15,0 г/см³ (в зависимости от марки);

Износостойкость: Скорость износа <0,05 мм³/Н·м (контрольный тест).

4.4 Размеры и допуски

Диаметр стержня: от 5 мм до 40 мм, допуск $\pm 0,1$ мм; Длина стержня: от 50 мм до 300 мм, допуск ± 2 мм;

Толщина листа: от 2 мм до 20 мм, допуск $\pm 0,05$ мм; шероховатость поверхности: $Ra \leq 0,4$ мкм .

4.5 Качество поверхности

Поверхность должна быть гладкой, без трещин, пор и включений (пористость <1%);

Допускаются легкие царапины или следы механической обработки, глубина которых не превышает 50% от верхнего предела допуска.

4.6 Статус доставки

Изделие должно быть в спеченном состоянии и может быть отшлифовано или отполировано в соответствии с требованиями заказа.

5 методов испытаний

5.1 Химический анализ

Согласно ГОСТ 20019-74 используют спектральный анализ или химический анализ с точностью 0,01%.

5.2 Испытание на твердость

Согласно ГОСТ 2999-75, используйте твердомер по Виккерсу, нагрузите 30 кг, измерьте 5 точек и возьмите среднее значение.

5.3 Испытание на прочность при изгибе

По ГОСТ 26388-84, метод трехточечного изгиба, размер образца 20 мм \times 6,5 мм \times 5,2 мм, температура испытания 20°C \pm 2°C.

5.4 Измерение плотности

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Измерено методом Архимеда с использованием прецизионных весов с точностью 0,01 г/см³.

5.5 Проверка качества поверхности

Используйте оптический микроскоп (увеличение 50x) для проверки поверхностных дефектов; Шероховатость поверхности измеряли с помощью профилометра по ГОСТ 2789-73.

6 Инспекция

6.1 Заводской осмотр

Три образца случайным образом отбираются из разных позиций каждой партии продукции для механических свойств, указанных в Разделе 4.3, и размерных испытаний, указанных в Разделе 4.4. Результаты испытаний должны соответствовать техническим требованиям, в противном случае будут повторно испытаны двойные образцы.

6.2 Типовой осмотр

Раз в два года или после изменения технологического процесса отбирайте не менее 5 образцов и повторяйте все испытания, указанные в разделах 5.2–5.5.

6.3 Правила принятия решений

Если какой-либо показатель производительности (например, твердость, прочность на изгиб) отклоняется от указанного значения на $\pm 5\%$ или плотность отклоняется на $\pm 0,1$ г/см³, требуется повторная проверка образцов; если повторная проверка снова не дала результатов, партия считается несоответствующей.

7 Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

7.1 Логотип

Изделие должно иметь маркировку с указанием номера стандарта (ГОСТ 3882-74), номера марки (например, ВК8), номера партии и даты изготовления.

7.2 Упаковка

Прутки и пластины должны быть упакованы в пакеты и обернуты влагонепроницаемой бумагой (ГОСТ 9569-79) или полиэтиленовой пленкой;

Каждая партия сопровождается сертификатом проверки, соответствующим требованиям ГОСТ 14192-96.

7.3 Транспорт

Избегайте сильного давления и влаги во время транспортировки, используйте крытые транспортные средства или контейнеры.

7.4 Хранение

Хранить в сухом, проветриваемом складе при температуре от -10°C до 40°C и относительной влажности <70%.

Приложение А (информационное)

A.1 Рекомендуемый процесс производства

Приготовление порошка: по ГОСТ 20019-74, размер частиц 0,5-5 мкм ;

Спекание: температура 1400°C-1500°C, давление 40-50 МПа, защитная атмосфера - водород или аргон;

Постобработка: точность шлифования $\pm 0,05$ мм, полировка до Ra $\leq 0,2$ мкм (опционально).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.2 Примеры применения

ВК6: подходит для высокоточного режущего инструмента;

ТК20: Подходит для износостойких покрытий и штампов.

Приложение В (информационное) В.1 Таблица контроля качества

Бренд	Твёрдость (HV)	на изгиб (МПа)	Плотность (г/см ³)	Допустимое отклонение (%)
ВК6	1300-1400	≥1400	14,8-15,0	±5
ВК8	1250-1350	≥1300	14.7-14.9	±5
ВК15	1100-1200	≥1200	14.5-14.7	±5
ТК10	1400-1500	≥1500	14.6-14.8	±5



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com