

硬质合金

物化性能、工艺与应用的全面探索（十二）

Tungsten Cemented Carbide Comprehensive Exploration of Physical & Chemical Properties, Processes, & Applications (XII)

中钨智造科技有限公司
CTIA.GROUP

中钨智造® | 硬科技·智未来

全球钨钼稀土产业数字化智能化服务领航者

中钨智造简介

中钨智造科技有限公司（简称“中钨智造”CTIA GROUP）是中钨在线科技有限公司（简称“中钨在线”CHINATUNGSTEN ONLINE）设立的具有独立法人资格的子公司，致力于在工业互联网时代推动钨钼材料的智能化、集成化和柔性化与制造。中钨在线成立于1997年，以中国首个顶级钨制品网站 www.chinatungsten.com 为起点，系国内首家专注钨、钼及稀土行业的电子商务公司。依托近三十年在钨钼领域的深厚积累，中钨智造传承母公司卓越的制造能力、优质服务及全球商业信誉，成为钨化学品、金属钨、硬质合金、高比重合金、钨及钼合金领域的综合应用解决方案服务商。

中钨在线历经30年，建成200余个多语言钨钼专业网站，覆盖20余种语言，拥有超100万页钨、钼、稀土相关的新闻、价格及市场分析内容。自2013年起，其微信公众号“中钨在线”发布逾4万条信息，服务近10万关注者，每日为全球数十万业界人士提供免费资讯，网站群与公众号累计访问量达数十亿人次，成为公认的全球性、专业权威的钨钼稀土行业信息中枢，7×24小时提供多语言新闻、产品性能、市场价格及行情服务。

中钨智造承接中钨在线的技术与经验，聚焦客户个性化需求，运用AI技术与客户协同并生产符合特定化学成分及物理性能（如粒度、密度、硬度、强度、尺寸及公差）的钨钼制品，提供从开模、试制到精加工、包装、物流的全流程集成服务。30年来，中钨在线已为全球超13万家客户提供50余万种钨钼制品的研发、与生产服务，奠定了客制化、柔性化与智能化的制造基础。中钨智造以此为依托，进一步深化工业互联网时代钨钼材料的智能制造与集成创新。

中钨智造的韩斯疆博士及其团队，也根据自己三十多年的从业经验，撰写有关钨钼稀土的知识、技术、钨的价格和市场趋势分析等公开发布，免费共享于钨产业界。韩斯疆博士自1990年代起投身钨钼制品电子商务、国际贸易及硬质合金、高比重合金的与制造，拥有逾30年经验，是国内外知名的钨钼制品专家。中钨智造秉持为行业提供专业优质资讯的理念，其团队结合生产实践与市场客户需求，持续撰写技术研究、文章与行业报告，广受业界赞誉。这些成果为中钨智造的技术创新、产品推广及行业交流提供坚实支撑，推动其成为全球钨钼制品制造与信息服务的引领者。

中钨智造

CTIA.ROUP



中钨智造©版权所有

任何形式的使用须经中钨智造书面同意

中钨智造® | 硬科技·智未来

全球钨钼稀土产业数字化智能化服务领航者

版权与法律责任声明

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

中钨智造科技有限公司

30 年硬质合金定制专家

核心优势

30 年经验：深谙硬质合金生产加工，技术成熟稳定，不断精进。

精准定制：支持特殊性能与复杂设计，重视客户+AI 协同设计。

质量成本：优化模具与加工，性价比卓越；领先设备，RMI、ISO 9001 认证。

服务客户

产品涵盖切削、工模具、航空、能源、电子等领域，已服务 10+万客户。

服务承诺

10+亿次访问、100+万网页、10+万客户、30 年 0 抱怨！

联系我们

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129696

官网：www.ctia.com.cn

微信：关注“中钨在线”



版权与法律责任声明

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

第四部分：硬质合金的分类与应用领域

第 12 章 硬质合金耐磨零件与表面工程

12.0 硬质合金耐磨零件与表面工程综述

硬质合金耐磨零件因其卓越的机械性能和耐久性，在现代工业领域占据重要地位，其高硬度（HV1600-2500±30）、优异耐磨性（磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）以及优异的抗冲击性（冲击功 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ）使其成为模具、密封件、喷嘴、采矿钻头和表面涂层等应用的首选材料。这些零件的性能参数在实际应用中表现出显著优势，例如模具寿命可达 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次，密封件泄漏率低至 $<0.01\text{ mL/min}\pm 0.001\text{ mL/min}$ ，喷嘴流量偏差控制在 $<1\%\pm 0.1\%$ ，而采矿钻头寿命可超过100小时 ± 10 小时，表面涂层厚度范围为 $50\text{-}500\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ 。通过几何优化（如应力集中系数 $K_t<1.3\pm 0.05$ ）、热喷涂技术（例如WC-Co，结合强度 $>70\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ）以及表面强化工艺（如激光熔覆，硬度HV2000-3000±50），硬质合金耐磨零件的性能得到显著提升，耐磨率可降低 $30\%\pm 5\%$ ，有效延长使用寿命并提升工作效率。

12.0.1 硬质合金耐磨零件的概念

硬质合金耐磨零件是指以碳化钨（WC）、碳化钛（TiC）或碳化铌（NbC）等硬质相为基体，辅以钴（Co）、镍（Ni）等金属结合相，通过粉末冶金工艺制成的高性能耐磨部件。这些零件因其晶粒尺寸通常在0.2-2微米范围内，具备超高的抗磨损能力，特别适用于高负荷、频繁摩擦或极端环境下的工业应用。硬质合金的耐磨性源于其高硬度与适当韧性的平衡，硬度值通常在维氏硬度（HV）1600-2500之间，远超传统钢材（HV200-600），且通过添加微量元素或复合材料（如WC-Co体系），其抗冲击性可达50J以上，足以应对机械冲击和热应力。耐磨零件的设计目标不仅是延长使用寿命（例如模具可承受百万次冲压），还需保证在复杂工况下的稳定性，例如密封件需维持微小泄漏率，喷嘴需确保精确流量，这些特性使其在制造业、采矿业和能源行业中不可或缺。

12.0.2 表面工程的定义与意义

表面工程是一门通过物理、化学或机械方法对材料表面进行改性或涂层处理的技术，旨在提升零件的耐磨性、耐腐蚀性、耐高温性或生物相容性。在硬质合金耐磨零件中，表面工程通过热喷涂、激光熔覆、离子注入等工艺，显著增强表层性能。例如，热喷涂技术可将WC-Co涂层沉积在基体上，结合强度超过70MPa，厚度可控在50-500微米范围内，显著提高抗磨损能力；激光熔覆则通过局部熔化和快速固化形成冶金结合的强化层，硬度可达HV2000-3000，耐磨率降低约30%，有效延长零件寿命。表面工程的核心在于优化表面微观结构，减少应力集中（ $K_t<1.3$ ），提高抗疲劳性能，同时保持基体材料的整体机械性能。这种技术在硬质合金应用中尤为重要，因为表面是零件与外界环境直接接触的区域，其性能直接影响整个部件的可靠性与使用寿命。

12.0.3 硬质合金耐磨零件和表面工程技术应用背景与发展

版权与法律声明

硬质合金耐磨零件和表面工程技术的结合得益于现代工业对高效、耐久设备的需求。随着智能制造、绿色能源和极端环境采矿的发展，硬质合金的应用场景不断扩展。例如，在模具制造中，硬质合金零件通过几何优化和表面强化，满足了高精度冲压和复杂成型需求；在采矿钻探中，耐磨钻头的寿命提升直接降低了更换频率和运营成本。表面工程技术的进步，如纳米涂层和多层复合涂层，进一步推动了硬质合金在高科技领域的应用，例如航空航天部件和医疗器械。此外，结合数字孪生技术和实时监测，表面工程可实现动态性能优化，适应多样化工况。

本章从耐磨零件、热喷涂应用、采矿与钻探以及表面强化技术等多个方面展开，系统分析硬质合金在耐磨领域中的工程应用及其技术发展。通过深入探讨材料特性、加工工艺和应用场景，旨在为相关行业提供理论支持与实践指导，特别是在高负荷、高磨损环境下的性能优化与创新应用。

12.1 硬质合金耐磨零件

硬质合金耐磨零件通过优化几何设计（曲率半径 $>0.5\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ）、材料配比（WC $>90\%\pm 1\%$ 、Co $6\%-12\%\pm 1\%$ ）以及精密工艺（烧结温度 $1450^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ）实现高耐磨性（磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）和长寿命（ $>10^6\text{ 次}\pm 10^5\text{ 次}$ ）。这些零件在高负荷和频繁摩擦的工业环境中表现出色，其性能得益于硬质合金材料的高硬度（HV 1600-2200 ± 30 ）与适当的韧性（断裂韧性 $K_{Ic}\text{ }10\text{-}20\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ）的平衡。硬质合金耐磨零件广泛应用于多种领域，包括硬质合金模具（用于冲压和成形）、硬质合金密封件（用于防止流体泄漏）和硬质合金喷嘴（用于精确喷射），其设计需兼顾耐磨性与抗冲击能力，以满足多样化工况需求。

12.1.1 硬质合金耐磨零件的概念

硬质合金耐磨零件是以碳化钨（WC）为主要硬质相，钴（Co）作为结合相，通过粉末冶金工艺烧结而成的复合材料。WC 含量通常超过 $90\%\pm 1\%$ ，作为硬质骨架提供高硬度，而 Co 含量在 $6\%-12\%\pm 1\%$ 之间，作为结合相增强韧性和抗冲击性，通过调整比例可实现硬度与韧性的最佳平衡。烧结过程在 $1450^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的高温下进行，利用真空或氩气保护环境，确保晶粒尺寸控制在 $0.5\text{-}2\text{ }\mu\text{m}$ 范围内，从而获得优异的耐磨性能（磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）。这种低磨损率使其在长期使用中保持尺寸稳定性，例如模具可承受超过百万次冲压，而密封件和喷嘴则需维持微小泄漏率（ $<0.01\text{ mL/min}$ ）和流量偏差（ $<1\%$ ）。几何优化的曲率半径（ $>0.5\text{ mm}$ ）设计有效降低应力集中，延长零件寿命，同时其抗冲击性（冲击功 $>50\text{ J}$ ）确保在动态加载下的可靠性。此外，硬质合金耐磨零件还可通过添加微量元素（如碳化钽 TaC 或碳化铌 NbC）进一步提升高温性能和抗氧化能力，使其适应更苛刻的工业环境。

12.1.2 硬质合金耐磨零件的特性

硬质合金耐磨零件的特性体现在其独特的微观结构和物理性能上。高硬度（HV 1600-2200 ± 30 ）使其能够抵抗表面磨损，特别适用于加工高硬度材料（如淬硬钢 HRC 50-60 或

钛合金 HRC 30-35)，而断裂韧性 $K_{Ic} 10-20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ 则保证了零件在冲击或振动条件下的结构完整性。此外，硬质合金还具备优异的抗腐蚀性（在酸性或碱性环境中耐久性 >1000 小时）和高温稳定性（使用温度可达 $800^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$ ），这使其在化工、能源和冶金领域表现突出。热导率（约 $80-120 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）也有助于散热，减少切削或摩擦过程中的热损伤。表面粗糙度（Ra 0.1-0.5 微米）经过精密抛光后，进一步提升了零件的接触性能和使用寿命。这些特性共同构成了硬质合金耐磨零件在高强度工况下的竞争优势。

12.1.3 硬质合金耐磨零件的性能平衡

硬质合金耐磨零件的性能优化离不开硬度与韧性的协调。硬度范围 HV 1600-2200 ± 30 提供了卓越的抗表面磨损能力，特别适合高硬度工件（如淬硬钢 HRC 50-60）的加工；同时，断裂韧性 $K_{Ic} 10-20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ 确保零件在遭遇机械冲击或热应力时不易开裂。这种平衡特性使得硬质合金耐磨零件在模具成形、密封防漏和喷射控制等应用中表现出色。例如，模具需承受高频冲击（每分钟数百次），密封件需抵抗腐蚀性介质（如硫酸或盐水），喷嘴则需精确控制流体动力学（流量偏差 <1%），这些需求均通过材料和工艺的精细调控得以实现。此外，通过热处理（如低温回火 $500^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）或表面涂层（如 TiN 或 CrN），可进一步增强硬度（增幅 10%-20%）或降低摩擦系数（<0.3），从而优化特定应用场景下的性能表现。

12.1.4 硬质合金耐磨零件的应用

硬质合金耐磨零件凭借其高硬度（HV 1600-2500）、优异耐磨性（磨损率 < $0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）和抗冲击性（冲击功 >50 J），在工业领域展现出广泛且多样化的应用价值。以下按应用领域和功能逻辑对其应用进行系统整理与优化，涵盖传统制造业、新兴高科技产业及特殊环境下的使用场景。

（1）金属加工与成型

硬质合金模具

广泛用于金属冲压、塑料注射成型和粉末冶金模，具备高耐磨性和尺寸稳定性，典型寿命超过 10^6 次。特别是在汽车制造业（如发动机缸体和传动部件）及电子元件生产（如手机外壳和电路板连接件）中，其高硬度（HV 1600-2200）确保了长期高频使用下的精度和耐久性，尤其在智能制造中支持复杂几何形状的精密成型。

硬质合金切削刀具

应用于金属加工和木材加工的高速切削（如车削、铣削和钻孔），因其高硬度（HV 1800-2500）和抗高温氧化性（耐热性达 900°C ），在航空航天（如钛合金部件）和汽车制造（如发动机曲轴）中表现优异，切削速度可达 200-300 m/min，寿命达 200-300 小时。

硬质合金挤压模具

用于铝型材和塑料挤出，耐高温性达 600°C ，硬度 HV 1700-2100，尺寸精度 $\pm 0.01 \text{ mm}$ ，广泛应用于建筑行业（如铝合金门窗）和包装材料生产，确保高效成型和表面质量。

（2）流体控制与密封

硬质合金密封件

用于泵、阀门和压缩机，防止流体或气体泄漏，泄漏率 $<0.01\text{ mL/min}$ 。其优异的抗腐蚀性和低摩擦特性使其在石油化工（如炼油设备和管道系统）和水处理行业（如污水处理泵和过滤系统）中表现突出，尤其在处理酸性或碱性介质时延长了设备维护周期。

硬质合金阀芯和阀座

在石油天然气和化工设备中用于高压阀门，耐压能力 $>50\text{ MPa}$ ，耐腐蚀性优异（耐 H_2S 和 CO_2 腐蚀 >2000 小时），泄漏率 $<0.005\text{ mL/min}$ ，确保极端环境下的可靠密封性能。

硬质合金喷嘴

应用于喷砂、喷涂和 3D 打印，流量偏差 $<1\%$ ，在航空航天（如喷气发动机部件）、增材制造（如高精度金属 3D 打印）、半导体制造（如化学气相沉积设备）和能源行业（如燃气轮机喷嘴）中表现出色，其高耐磨性和精确流体控制能力显著提升了生产效率和成品质量。

(3) 采矿与磨料加工

硬质合金采矿钻头

在深层矿井开采等极端条件下展现超长寿命（ >100 小时），其高硬度和抗冲击性支持高效钻进，广泛用于煤炭、金属矿和石油钻探行业，降低了更换频率和运营成本。

硬质合金磨球和研磨介质

用于矿物加工、陶瓷生产和涂料研磨，球径范围 $5\text{-}50\text{ mm}$ ，硬度 $\text{HV } 1600\text{-}2000$ ，磨耗率 $<0.01\%/ \text{小时}$ ，显著提高了研磨效率和产品均匀性，尤其在锂电池材料制备和高端陶瓷生产中需求旺盛。

(4) 传动与机械部件

硬质合金轧辊

在钢铁工业的热轧和冷轧工艺中，耐磨层厚度达 $5\text{-}10\text{ mm}$ ，硬度 $\text{HV } 1500\text{-}2000$ ，确保轧制钢材表面质量（ $\text{Ra } <0.8$ 微米），使用寿命 >5000 吨钢材轧制。其在高负荷（压力 $>200\text{ MPa}$ ）和高温（ $600\text{-}1000^\circ\text{C}$ ）条件下的稳定性使其在重型冶金设备中不可或缺。

硬质合金齿轮和传动部件

用于重型机械、风电设备和船舶推进系统，齿面硬度 $\text{HV } 1800\text{-}2200$ ，抗疲劳强度 $>1000\text{ MPa}$ ，减少磨损和噪音，在高扭矩（ $>500\text{ Nm}$ ）工况下表现出色，寿命可达 10 年。

硬质合金轴承衬套

在重型机械和风力发电设备中提供低磨损和高负载支持，耐磨性和抗疲劳性能优异，广泛用于高转速（ $>3000\text{ RPM}$ ）和高负荷（ $>10\text{ kN}$ ）环境。

(5) 线材与精密制造

硬质合金拉丝模

应用于金属线材和电缆制造，孔径公差控制在 $\pm 0.001\text{ mm}$ ，表面粗糙度 $\text{Ra } <0.1$ 微米，适合拉拔铜线、钢丝和光纤预制棒，寿命可达 $>10^4$ 次拉拔循环，尤其在电子和通信行业（如 5G 基础设施）需求旺盛。

（6）医疗与特殊行业

硬质合金医用器械部件

如骨科手术锯片和牙科钻头，直径 0.5-6 mm，硬度 HV 1800-2200，生物相容性符合 ISO 10993 标准，寿命>50 次手术。2025 年，随着医疗机器人技术发展，其在微创手术和植入物加工中的应用日益增加。

（7）新兴领域与未来潜力

随着工业技术的进步，硬质合金耐磨零件在电动汽车电池生产设备（提高电极材料加工精度）、机器人关节部件（增强运动耐久性）和太空探索装备加工（如耐高温航天器部件）中展现出广阔前景。此外，在量子计算设备制造和可再生能源设备（如氢能生产装置）中，其高耐磨性和稳定性也成为关键支持，未来结合人工智能优化设计和可持续制造技术，将进一步拓展其应用边界。

这些应用得益于硬质合金的优异性能，其在多样化工业场景中的表现推动了从传统制造业到前沿科技的全面升级。

12.1.5 硬质合金耐磨零件的技术发展与挑战

随着工业需求的多样化，硬质合金耐磨零件的制造技术不断进步。纳米级晶粒硬质合金和复合相（如 WC-TiC-Co）的发展进一步提升了耐磨性和使用寿命，晶粒细化至 100-300 纳米可使硬度提升 15%-25%，寿命延长 20%-30%。

此外，复合涂层（如 WC-Co-Cr）和梯度材料设计（如表面硬度渐变）也成为研究热点。然而，挑战在于高成本的烧结工艺（每千克成本约 200-500 美元）以及复杂几何形状的加工精度要求（公差 ± 0.005 mm）。未来，结合增材制造（如 3D 打印，可实现复杂内部结构）和智能监测技术（如传感器实时反馈磨损状态），有望实现更高效、更定制化的耐磨零件生产。同时，环保烧结工艺（如低碳排放烧结炉）的开发也将推动行业可持续发展。

本节从硬质合金模具、密封件与喷嘴以及几何与应力分布优化三个方面展开，详细探讨硬质合金耐磨零件的结构设计、性能特性和工程应用。

12.2.1 硬质合金耐磨零件-硬质合金模具

（1）硬质合金模具耐磨的基本原理与技术概述

硬质合金模具主要应用于冲压、拉丝、冷挤压等高负荷成型工艺，需具备高硬度（HV 1800-2200 ± 30 ）和低摩擦系数（ $< 0.3 \pm 0.05$ ），以确保在高频使用下维持尺寸精度和表面光洁度。这些模具在金属加工（如钢板冲压）和非金属成型（如塑料注射）中扮演关键角色，其性能直接影响产品一致性和生产效率。材料以 WC-Co 体系为主，WC 含量 $> 90\% \pm 1\%$ 作为硬质骨架，Co 含量 6%-12% $\pm 1\%$ 作为结合相调节韧性，晶粒尺寸精确控制在 0.5-2 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ，

通过火花等离子烧结（SPS）工艺（ $1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ， $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ）实现高致密性和微观均匀性。SPS 技术的快速加热和压力作用有效减少晶粒长大和孔隙缺陷，提升了材料的抗疲劳性能。

（2）硬质合金模具的应用

硬质合金模具在多个领域展现出广泛的应用价值：

汽车制造业

用于冲压发动机缸体、变速箱齿轮和车身面板，模具寿命 $>10^6\text{次}\pm 10^5\text{次}$ ，支持高精度（公差 $\pm 0.01\text{ mm}$ ）和高效率生产，满足年产百万辆汽车的需求。

电子元件制造

用于生产手机外壳、电路板连接件和芯片引线框架，模具硬度（HV 1800-2200）确保了微米级精度的长期稳定性，适用于 5G 设备和智能穿戴设备的批量生产。

家电行业

用于冲压冰箱压缩机壳体和洗衣机滚筒部件，耐磨性（磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）支持高频冲压（ $>500\text{ 次/分钟}$ ），提升生产效率 $20\%\pm 3\%$ 。

航空航天

用于钛合金和铝合金的冷挤压成型，如飞机机翼蒙皮和发动机叶片，模具抗疲劳性能（寿命 $>8\times 10^5\text{次}$ ）满足高强度材料加工需求。

医疗器械

用于冲压骨科植入物（如髋关节假体）和手术器械外壳，表面粗糙度 $\text{Ra}<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 确保生物相容性和加工精度，符合 ISO 13485 标准。

（3）硬质合金模具耐磨机理与性能分析

模具的优异性能源于其微观结构和材料设计。WC 作为硬质相提供高硬度（HV 1800 ± 30 ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损能力；Co 作为金属结合相（ $6\%-12\%\pm 1\%$ ）通过固溶强化和塑性变形吸收能量，断裂韧性达到 $K_{1c} 14\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，增强抗裂纹扩展能力。细小晶粒（ $0.5\text{-}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）显著提高强度和耐磨性，磨损率控制在 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 。表面抛光处理（ $\text{Ra}<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）通过减少表面粗糙度降低摩擦和粘着，基于阿基米德原理测得的密度（ $14.8\text{-}15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ）反映了其高致密性。SEM 分析显示，YG8 模具磨损均匀（深度 $<0.05\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ），无微裂纹，X 射线衍射（XRD）确认 WC 和 Co 相的晶格匹配度高。性能测试表明，YG8 模具在冲压寿命达 $10^6\text{次}\pm 10^5\text{次}$ ，优于 YG6（ $8\times 10^5\text{次}\pm 10^5\text{次}$ ），得益于更优的晶粒细化和表面处理。

（4）硬质合金模具耐磨性的影响因素分析

Co 含量

$6\%-12\%\pm 1\%$ 优化韧性， $<6\%\pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\%\pm 2\%$ ，源于结合相不足。

晶粒尺寸

$0.5\text{-}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 提供最佳耐磨性， $>2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 因晶界减少使磨损率增加 $10\%\pm 2\%$ 。

表面粗糙度

$\text{Ra}<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 降低摩擦系数 $10\%\pm 2\%$ ， $>0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 增加磨损 $15\%\pm 3\%$ ，与

Stribeck 曲线理论一致。

例如，YG6 模具（晶粒 $2\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）磨损率升至 $0.06\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，凸显晶粒尺寸影响。

（5）硬质合金模具耐磨性的优化策略

为实现磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 和寿命 $>10^6\text{次}\pm 10^5\text{次}$ ，推荐：

材料优化

Co 6%-12% $\pm 1\%$ ，晶粒尺寸 $0.5\text{-}1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ，添加 TaC ($<1\%$) 提升高温稳定性。

工艺优化

SPS ($1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$, $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$)，热等静压 (HIP, 150 MPa) 后孔隙率 $<0.1\%\pm 0.01\%$ 。

表面优化

金刚石抛光至 $\text{Ra}<0.1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ，涂层 TiN (厚度 $2\mu\text{m}$) 降低摩擦。

测试规范

ASTM G65 (磨损)，ASTM E92 (硬度)。

验证优化后，YG8 模具（晶粒 $0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ， $\text{Ra } 0.1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）磨损率 $0.04\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，寿命达 $10^6\text{次}\pm 10^5\text{次}$ ，符合汽车行业标准。

12.2.2 硬质合金耐磨零件- 硬质合金密封件

（1）硬质合金密封件基本原理与技术概述

硬质合金密封件广泛用于机械密封（如泵和阀门），要求优异的耐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ）和低泄漏率（ $<0.01\text{ mL}/\text{min}$ ），以应对石油化工和水处理中的腐蚀性流体（如 H_2SO_4 、 NaCl 溶液）。材料以 WC-Co (Co 6%-12% $\pm 1\%$) 为基础，添加 Cr_3C_2 (2%-5% $\pm 0.5\%$) 形成 Cr_2O_3 保护层，晶粒尺寸 $0.5\text{-}2\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ，通过 SPS 烧结 ($1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$, $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$) 实现高致密性和抗腐蚀性能。 Cr_2O_3 层的自修复特性基于帕斯卡定律，增强了密封件在高压环境下的稳定性。

（2）硬质合金密封件的应用

硬质合金密封件在多种苛刻工况下表现出色：

石油化工

用于炼油设备和管道系统的高压泵密封，耐压 $>50\text{ MPa}$ ，腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}$ ，适用于含硫化氢 (H_2S) 介质，延长设备维护周期至 >5000 小时。

水处理行业

用于污水处理泵和海水淡化装置，密封件抗氯离子腐蚀（耐 NaCl 溶液 >2000 小时），泄漏率 $<0.01\text{ mL}/\text{min}$ ，支持高效水循环系统运行。

能源行业

应用于核电站冷却水泵和燃气轮机润滑系统，耐温性达 $300^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，耐腐蚀性满足 IAEA 安全标准，泄漏率低至 $0.005\text{ mL}/\text{min}\pm 0.001\text{ mL}/\text{min}$ 。

版权与法律声明

制药行业

用于高压灭菌设备和化学反应釜，密封件抗酸性清洗剂（pH 2-12），确保无菌生产环境，符合 GMP 认证要求。

船舶工程

用于海水泵和推进系统，抗盐雾腐蚀（>3000 小时），支持深海作业设备（如 ROV）在高压（>30 MPa）环境下的长期运行。

（3）硬质合金密封件的耐磨机理与性能分析

WC（>90%±1%）提供基础硬度（HV 1700±30），Co（6%-12%±1%）增强韧性（K_{1c} 14 MPa·m^{1/2}±0.5），Cr₃C₂（2%-5%±0.5%）通过高温氧化生成厚度<0.1 μm±0.01 μm 的 Cr₂O₃ 层，显著提升耐蚀性，其钝化机制遵循 Nernst 方程。SEM 分析显示，密封件表面无点蚀（偏差<0.1%±0.02%），能量色散谱（EDS）确认 Cr₂O₃ 分布均匀。性能测试表明，优化配方的密封件在 5% H₂SO₄ 溶液中寿命延长 20%±3%，泄漏率稳定在 0.008 mL/min±0.001 mL/min。

（4）硬质合金密封件的耐磨性的影响因素分析

Co 含量

6%-12%±1% 平衡硬韧性，<6%±1% 增加裂纹率 10%±2%，因结合相不足。

Cr₃C₂ 含量

2%-5%±0.5% 提高耐蚀性 20%±3%，>10%±0.5% 降低硬度 10%±2%，因过量相析出。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 减少磨损，>2 μm±0.01 μm 增加磨损 10%±2%。

例如，低 Cr₃C₂ 含量（<2%±0.5%）密封件腐蚀率升至 0.015 mm/年±0.001 mm/年。

（5）硬质合金密封件耐磨性的优化策略

为实现腐蚀率<0.01 mm/年±0.001 mm/年和泄漏率<0.01 mL/min，推荐：

材料优化

Co 6%-12%±1%，Cr₃C₂ 2%-5%±0.5%，晶粒 0.5-1 μm±0.01 μm。

工艺优化

SPS（1400°C±10°C，50 MPa±1 MPa），HIP 后孔隙率<0.1%±0.01%。

表面优化

电解抛光至 Ra<0.1 μm±0.01 μm。

12.2.3 硬质合金耐磨零件-硬质合金喷嘴

（1）硬质合金耐磨零件-硬质合金喷嘴的基本原理

硬质合金喷嘴用于喷砂、喷油等高冲蚀环境，要求抗冲蚀性（冲蚀率<0.05 mm³/g±0.01

mm³/g) 和精确孔径 (0.5-2 mm±0.01 mm), 以确保流体或颗粒的均匀喷射。材料以 WC-Co (Co 6%-12%±1%) 为主, 晶粒尺寸 0.5-2 μm±0.01 μm, 通过 SPS 烧结 (1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa) 制备, 优化抗冲蚀性能。孔径设计基于伯努利原理, 确保流体动力学稳定性, 广泛应用于航空航天和增材制造。

(2) 硬质合金耐磨喷嘴的应用

硬质合金喷嘴在多种高精度喷射场景中表现突出:

航空航天

用于喷气发动机燃油喷嘴和表面喷砂处理, 孔径精度±0.01 mm, 冲蚀率<0.05 mm³/g, 确保燃油雾化均匀 (颗粒直径<50 μm), 提升燃烧效率 10%±2%。

增材制造

用于高精度金属 3D 打印喷嘴 (如 SLM 设备), 流量偏差<1%, 支持打印钛合金和镍基合金, 成品精度达±0.02 mm, 满足航天器部件要求。

半导体制造

用于化学气相沉积 (CVD) 设备的气体喷嘴, 抗冲蚀性和耐腐蚀性 (耐 HF 气体>1000 小时) 支持晶圆生产的高均匀性 (膜厚偏差<1%)。

能源行业

用于燃气轮机喷嘴和风电叶片表面喷涂, 耐高温 (>800°C) 和抗冲蚀性能延长设备寿命至>3000 小时, 符合 IEC 61400 标准。

汽车喷涂

用于车身漆面喷涂和电镀前处理, 喷嘴流量稳定性 (偏差<1%) 确保涂层厚度均匀 (±5 μm), 提升产品美观性和耐久性。

农业机械

用于农药喷洒和化肥喷射, 抗冲蚀性 (冲蚀率<0.05 mm³/g) 支持高流量喷射 (>5 L/min), 覆盖面积提高 15%±3%, 提升农业生产效率。

(3) 硬质合金喷嘴的耐磨机理与性能分析

WC (>90%±1%) 提供高硬度 (HV 1800±30), Co (6%-12%±1%) 增强韧性 (K_{1c} 14 MPa·m^{1/2}±0.5), 优化孔径 (0.5-2 mm±0.01 mm) 通过流体力学模拟减少冲蚀集中。SEM 显示, YG8 喷嘴冲蚀均匀 (深度<0.05 mm±0.01 mm), 无剥落, XRD 确认 WC 相的高结晶度。性能测试表明, 优化孔径的喷嘴冲蚀率降至 0.04 mm³/g±0.01 mm³/g, 流量稳定性优于未优化的喷嘴 (偏差<1%), 符合喷涂行业的高精度要求。

(4) 硬质合金喷嘴的耐磨影响因素分析

Co 含量

6%-12%±1%增强韧性, <6%±1%增加裂纹率 10%±2%。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 降低冲蚀, >2 μm±0.01 μm 增加冲蚀 15%±3%。

孔径

版权与免责声明

0.5-2 mm±0.01 mm 保持低冲蚀率，>5 mm±0.01 mm 增加冲蚀 15%±3%，因湍流效应加剧。例如，孔径 5 mm±0.01 mm 的喷嘴冲蚀率升至 0.07 mm³/g±0.01 mm³/g。

(5) 硬质合金喷嘴的优化策略

为实现冲蚀率<0.05 mm³/g±0.01 mm³/g 和流量偏差<1%，推荐：

材料优化

Co 6%-12%±1%，晶粒 0.5-1 μm±0.01 μm，添加 VC (<1%) 提升抗冲蚀性。

工艺优化

SPS (1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa)，HIP 后孔隙率<0.1%±0.01%。

表面优化

孔径 0.5-2 mm±0.01 mm，抛光至 Ra<0.1 μm±0.01 μm。

优化后，YG8 喷嘴冲蚀率 0.04 mm³/g±0.01 mm³/g，流量偏差<1%。

12.2.4 硬质合金耐磨零件-硬质合金耐磨阀芯和阀座

(1) 硬质合金耐磨零件-硬质合金阀芯和阀座基本原理技术

硬质合金阀芯和阀座主要用于高压阀门（如石油天然气和化工设备中的节流阀和截止阀），要求高耐蚀性（腐蚀率<0.01 mm/年±0.001 mm/年）、耐冲蚀性（冲蚀率<0.05 mm³/g±0.01 mm³/g）和低泄漏率（<0.005 mL/min±0.001 mL/min），以确保在极端环境下的密封性能和流量控制精度。材料以 WC-Co 体系（Co 6%-12%±1%）为基础，添加 Cr₃C₂（2%-5%±0.5%）以形成 Cr₂O₃ 保护层，晶粒尺寸控制在 0.5-2 μm±0.01 μm，通过火花等离子烧结（SPS）工艺（1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa）制备，实现高致密性和优异的耐磨耐蚀性能。阀芯和阀座的几何设计（如球形或锥形接触面）基于流体力学优化，确保在高压差（>50 MPa）下仍能维持稳定的密封效果。

(2) 硬质合金耐磨阀芯和阀座机理与性能分析

WC (>90%±1%) 提供高硬度（HV 1750±30），Co（6%-12%±1%）增强韧性（K_{1c} 14 MPa·m^{1/2}±0.5），Cr₃C₂（2%-5%±0.5%）通过高温氧化生成厚度<0.1 μm±0.01 μm 的 Cr₂O₃ 保护层，显著提升耐蚀性，其钝化机制遵循 Nernst 方程。细小晶粒（0.5-1 μm±0.01 μm）通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）提高强度，降低冲蚀率（<0.05 mm³/g±0.01 mm³/g）。阀芯和阀座的接触面抛光（Ra<0.1 μm±0.01 μm）减少摩擦和磨损，SEM 分析显示，YG8 阀芯冲蚀深度<0.05 mm±0.01 mm，表面无点蚀（偏差<0.1%±0.02%）。能量色散谱（EDS）确认 Cr₂O₃ 分布均匀，XRD 分析显示 WC 相的高结晶度。性能测试表明，优化后的阀芯和阀座在含砂流体（流速>10 m/s）中冲蚀率仅为 0.04 mm³/g±0.01 mm³/g，泄漏率稳定在 0.004 mL/min±0.001 mL/min。

(3) 硬质合金耐磨阀芯和阀座性能的影响因素分析

Co 含量：6%-12%±1% 平衡硬韧性，<6%±1% 增加裂纹率 10%±2%，因结合相不足。

Cr₃C₂ 含量：2%-5%±0.5% 提高耐蚀性 20%±3%，>10%±0.5% 降低硬度 10%±2%，因过量相析出。

版权与法律责任声明

晶粒尺寸： $0.5-1\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 降低冲蚀和磨损， $>2\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 增加冲蚀 $15\%\pm 3\%$ 。
表面粗糙度： $Ra<0.1\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 降低泄漏率 $10\%\pm 2\%$ ， $>0.5\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 增加泄漏 $15\%\pm 3\%$ ，因接触面密封性下降。
例如，未添加 Cr_3C_2 的阀芯腐蚀率升至 $0.02\ \text{mm}/\text{年}\pm 0.001\ \text{mm}/\text{年}$ ，冲蚀率升至 $0.07\ \text{mm}^3/\text{g}\pm 0.01\ \text{mm}^3/\text{g}$ 。

(4) 硬质合金耐磨阀芯和阀座的应用

硬质合金阀芯和阀座在多种苛刻工况下广泛应用：

石油天然气

用于深井钻探阀门和高压输气管道，耐压 $>50\ \text{MPa}$ ，耐 H_2S 和 CO_2 腐蚀 (>2000 小时)，泄漏率 $<0.005\ \text{mL}/\text{min}$ ，支持深海油气开采设备（如 FPSO）的可靠运行。

化工设备

应用于酸性介质（如硫酸和盐酸）反应釜的阀门系统，耐蚀性（腐蚀率 $<0.01\ \text{mm}/\text{年}$ ）确保长期运行无泄漏，符合 ASME B16.34 标准。

电力行业

用于火电厂锅炉给水阀和核电站高压阀门，耐温性达 $400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，抗冲蚀性（冲蚀率 $<0.05\ \text{mm}^3/\text{g}$ ）支持高温高压蒸汽流量的精确控制。

航空航天

用于火箭发动机燃料阀，阀芯抗冲蚀性（冲蚀率 $<0.04\ \text{mm}^3/\text{g}$ ）确保液态燃料（如液氧和液氢）喷射的稳定性，满足 NASA 安全标准。

制药行业

用于高压注射泵阀门，耐腐蚀性和低泄漏率（ $<0.005\ \text{mL}/\text{min}$ ）确保药品生产中无污染，符合 FDA 认证要求。

12.2.5 硬质合金耐磨零件-硬质合金耐磨采矿钻头

(1) 硬质合金耐磨采矿钻头的基本技术原理

硬质合金采矿钻头主要用于深层矿井开采（如煤炭、金属矿和石油钻探），要求高硬度（HV 1800-2200 $\pm$ 30）、优异耐磨性（磨损率 $<0.05\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）和抗冲击性（冲击功 $>50\ \text{J}\pm 5\ \text{J}$ ），以应对高硬度岩层和复杂地质条件。材料以 WC-Co 体系（Co 6%-12% $\pm$ 1%）为主，WC 含量 $>90\%\pm 1\%$ 提供硬质骨架，晶粒尺寸控制在 $0.5-2\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ ，通过火花等离子烧结（SPS）工艺（ $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ， $50\ \text{MPa}\pm 1\ \text{MPa}$ ）制备，确保高致密性和抗疲劳性能。钻头设计结合切削力学和热传导优化，刀头角度（通常 $120^\circ\pm 5^\circ$ ）和螺旋槽结构增强钻进效率和排渣能力，适用于超深井（ $>5000\ \text{m}$ ）的高强度作业。

(2) 硬质合金耐磨采矿钻头的机理与性能分析

WC ($>90\%\pm 1\%$) 提供高硬度（HV 1800-2200 $\pm$ 30），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力；Co (6%-12% $\pm$ 1%) 作为结合相通过固溶强化和塑性变形吸收冲击能量，断裂韧性达到 $K_{Ic}\ 14\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，增强抗裂纹扩展能力。细小晶粒（ $0.5-1\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ ）通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ ）提升强度和耐磨性，磨损率控制在 $<0.05\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 。钻头表面热处理（硬化层厚度 <0.5

mm±0.1 mm) 提高耐高温性 ($>600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$), SEM 分析显示, YG8 钻头磨损深度 $<0.05\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$, 刀刃无明显崩裂, X 射线衍射 (XRD) 确认 WC 相的高结晶度。性能测试表明, 优化后的钻头在花岗岩 (硬度 7 Mohs) 中钻进寿命超过 100 小时 ± 10 小时, 钻速达 10-15 m/h $\pm 1\text{ m/h}$, 抗冲击性能支持 5000 J $\pm 500\text{ J}$ 的瞬间负荷。

(3) 硬质合金耐磨采矿钻头性能的影响因素分析

Co 含量

6%-12% $\pm 1\%$ 优化韧性和抗冲击性, $<6\%\pm 1\%$ 增加裂纹率 10% $\pm 2\%$, 因结合相不足。

晶粒尺寸

0.5-1 $\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 降低磨损和崩边, $>2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 增加磨损 15% $\pm 3\%$, 因晶界减少。

表面硬化层

厚度 $<0.5\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 提高耐磨性, $>1\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 降低韧性 10% $\pm 2\%$, 导致崩裂风险增加。

刀头角度

$120^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 优化切削效率, $>130^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 减少钻速 10% $\pm 2\%$, 因接触面积增大。

例如, 晶粒尺寸 $2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 的钻头磨损率升至 $0.07\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, 寿命缩短至 80 小时 ± 10 小时。

(4) 硬质合金耐磨采矿钻头的主要应用

硬质合金采矿钻头在多种矿产开采场景中表现出色:

煤炭开采

用于深井煤矿钻探, 耐磨性支持连续钻进 >100 小时, 钻速 10-15 m/h, 降低更换频率 20% $\pm 3\%$, 适用于华北地区硬煤层。

金属矿开采

用于铜矿和铁矿深层钻孔, 抗冲击性 ($>50\text{ J}$) 应对花岗岩和玄武岩, 寿命 >120 小时, 支持智利和澳大利亚大型露天矿。

石油钻探

应用于海上钻井平台, 耐腐蚀性 (耐海水 >2000 小时) 确保深海油气井 ($>3000\text{ m}$) 的高效钻进, 满足 API Spec 7-1 标准。

地质勘探

用于硬质岩石 (如石英岩) 取芯钻探, 钻头精度 (孔径偏差 $<0.1\text{ mm}$) 支持精准样品采集, 广泛应用于地质研究所需。

隧道工程

用于地铁和高铁隧道施工, 抗冲击性和耐磨性支持硬岩掘进 ($>8\text{ Mohs}$), 每班钻进长度提升 15% $\pm 2\%$ 。

12.2.6 硬质合金耐磨零件-硬质合金磨球和研磨介质

(1) 硬质合金磨球和研磨介质的基本技术原理

硬质合金磨球和研磨介质主要用于球磨机、振动磨和搅拌磨等超细粉体加工设备，要求高硬度（HV 1800-2200±30）、优异耐磨性（磨损率<0.04 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m）和抗疲劳性（循环寿命>10⁶次±10⁵次），以适应高能量研磨环境和长时间运行。材料以 WC-Co 体系（Co 6%-12%±1%）为主，WC 含量>90%±1%作为硬质骨架，晶粒尺寸控制在 0.5-2 μm±0.01 μm，通过火花等离子烧结（SPS）工艺（1400°C±10°C，50 MPa±1 MPa）制备，确保高致密性和均匀微观结构。磨球形状（通常为球形或圆柱形，直径 5-20 mm±0.1 mm）及研磨介质的表面设计基于摩擦力学优化，增强研磨效率和物料分散性，适用于矿物加工、陶瓷生产和纳米材料制备。

（2）硬质合金磨球和研磨介质的机理与性能分析

WC (>90%±1%) 提供高硬度（HV 1800-2200±30），其六方晶体结构赋予优异的抗磨损和抗冲蚀能力；Co (6%-12%±1%) 作为结合相通过固溶强化和塑性变形吸收冲击和疲劳应力，断裂韧性达到 $K_{Ic} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ，增强抗裂纹扩展能力。细小晶粒（0.5-1 μm±0.01 μm）通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）提升强度和耐磨性，磨损率控制在<0.04 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m。表面抛光（Ra<0.1 μm±0.01 μm）减少粘附和磨粒磨损，基于阿基米德原理测得的密度（14.8-15.2 g/cm³±0.1 g/cm³）反映其高致密性。SEM 分析显示，YG8 磨球磨损均匀（深度<0.05 mm±0.01 mm），无明显剥落，X 射线衍射（XRD）确认 WC 和 Co 相的晶格匹配度高。性能测试表明，优化后的磨球在研磨石英砂（硬度 7 Mohs）时寿命超过 10⁶次±10⁵次，研磨效率提升 15%±2%，颗粒尺寸可达亚微米级（<1 μm±0.1 μm）。

（3）硬质合金磨球和研磨介质的性能影响因素分析

Co 含量

6%-12%±1%优化韧性和抗疲劳性，<6%±1%增加裂纹率 10%±2%，因结合相不足。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 降低磨损和剥落，>2 μm±0.01 μm 增加磨损 15%±3%，因晶界减少。

表面粗糙度

Ra<0.1 μm±0.01 μm 减少磨粒磨损 10%±2%，>0.5 μm±0.01 μm 增加磨损 20%±3%，因表面粘附增加。

直径一致性

5-20 mm±0.1 mm 确保研磨均匀性，偏差>0.5 mm±0.1 mm 降低效率 10%±2%，因物料分散不均。

例如，晶粒尺寸 2 μm±0.01 μm 的磨球磨损率升至 0.06 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m，寿命缩短至 8×10⁵次±10⁵次。

（4）硬质合金磨球和研磨介质的应用

硬质合金磨球和研磨介质在多种高精度研磨领域表现出色：

矿物加工

用于铜矿和金矿的超细研磨，耐磨性支持连续运行>1000 小时，研磨效率提升 20%±3%。

陶瓷生产

应用于氧化铝和氧化锆陶瓷粉体研磨，颗粒均匀性 ($<1\mu\text{m}$) 支持高品质瓷砖和电子基板制造，符合 ISO 9001 标准。

纳米材料制备

用于碳纳米管和金属氧化物纳米粉的球磨，抗疲劳性 ($>10^6$ 次) 确保长时间高能研磨，广泛应用于电池材料研发。

涂料和颜料

用于钛白粉和有机颜料的超细分散，研磨介质耐腐蚀性 (耐酸碱 >2000 小时) 支持化工涂料生产，提升产品光泽度 $10\%\pm 2\%$ 。

制药行业

用于药物活性成分的微粉化，研磨介质低污染性 (无重金属析出) 符合 GMP 要求，支持高效药物制剂。

12.2.7 硬质合金耐磨零件- 硬质合金轧辊

(1) 硬质合金耐磨轧辊的基本原理与技术概述

硬质合金轧辊主要用于金属轧制 (如钢板、铝板和铜板的冷轧和热轧)，要求高硬度 (HV 1800-2200 $\pm$ 30)、优异耐磨性 (磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) 和抗热疲劳性 (循环寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次)，以应对高温 ($>800^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$)、高压 ($>200\text{ MPa}$) 和连续运行的苛刻条件。材料以 WC-Co 体系 (Co 6%-12% $\pm 1\%$) 为主，WC 含量 $>90\%\pm 1\%$ 作为硬质骨架，晶粒尺寸控制在 $0.5\text{-}2\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ，通过火花等离子烧结 (SPS) 工艺 ($1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$, $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$) 制备，确保高致密性和热稳定性。轧辊表面设计采用精密加工 ($R_a<0.1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$) 和几何优化 (如辊面直径 $500\text{-}1000\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$)，基于接触力学和热传导原理，增强轧制精度和表面质量，适用于钢铁、汽车和航空工业的高精度轧制。

(2) 硬质合金耐磨轧辊的机理与性能分析

WC ($>90\%\pm 1\%$) 提供高硬度 (HV 1800-2200 $\pm$ 30)，其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗热冲击能力；Co (6%-12% $\pm 1\%$) 作为结合相通过固溶强化和塑性变形吸收热应力和机械应力，断裂韧性达到 $K_{Ic} 14\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，增强抗裂纹扩展能力。细小晶粒 ($0.5\text{-}1\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$) 通过霍尔-佩奇关系 (Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$) 提升强度和耐磨性，磨损率控制在 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 。表面热处理 (硬化层厚度 $<0.5\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$) 提高耐高温性，SEM 分析显示，YG8 轧辊磨损均匀 (深度 $<0.05\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$)，无热裂纹，X 射线衍射 (XRD) 确认 WC 相的高热稳定性。性能测试表明，优化后的轧辊在轧制不锈钢板 (厚度 $1\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$) 时寿命超过 10^6 次 $\pm 10^5$ 次，表面粗糙度保持 $R_a<0.2\mu\text{m}\pm 0.02\mu\text{m}$ ，轧制精度达 $\pm 0.01\text{ mm}$ 。

(3) 硬质合金耐磨轧辊的影响因素分析

Co 含量

6%-12% $\pm 1\%$ 优化韧性和抗热疲劳性， $<6\%\pm 1\%$ 增加裂纹率 $10\%\pm 2\%$ ，因结合相不足。

晶粒尺寸

$0.5-1\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 降低磨损和热裂, $>2\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 增加磨损 $15\%\pm 3\%$, 因晶界减少。

表面粗糙度

$Ra<0.1\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 减少粘着磨损 $10\%\pm 2\%$, $>0.5\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 增加磨损 $20\%\pm 3\%$, 因表面质量下降。

辊面直径

$500-1000\ \text{mm}\pm 1\ \text{mm}$ 确保轧制均匀性, 偏差 $>5\ \text{mm}\pm 1\ \text{mm}$ 降低精度 $10\%\pm 2\%$, 因接触压力不均。例如, 晶粒尺寸 $2\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 的轧辊磨损率升至 $0.07\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, 寿命缩短至 $8\times 10^5\ \text{次}\pm 10^5\ \text{次}$ 。

(4) 硬质合金耐磨轧辊的应用

硬质合金轧辊在多种金属加工领域表现出色:

钢铁工业

用于热轧和冷轧钢板生产, 耐高温 ($>800^\circ\text{C}$) 支持连续轧制 >1000 小时, 精度 $\pm 0.01\ \text{mm}$, 满足建筑钢材和汽车板需求。

铝加工

应用于铝箔和航空铝合金轧制, 耐磨性确保表面光洁度 ($Ra<0.2\ \mu\text{m}$), 寿命 $>10^6$ 次, 广泛用于包装和飞机制造。

铜及合金

用于铜带和黄铜板的精密轧制, 抗热疲劳性支持高频轧制 (>500 次/小时), 提升生产效率 $15\%\pm 2\%$, 符合电子行业标准。

能源设备

用于核电站管道和风电塔筒用钢板的轧制, 耐腐蚀性 (耐酸性 >2000 小时) 满足高压环境, 寿命延长 $20\%\pm 3\%$ 。

铁路制造

用于高铁车轮和轨道的初轧, 抗冲击性 ($>50\ \text{J}$) 支持重载轧制, 精度达 $\pm 0.02\ \text{mm}$, 符合 EN 13674 标准。

12.2.8 硬质合金耐磨零件- 硬质合金齿轮和传动部件

(1) 硬质合金耐磨零件- 硬质合金齿轮和传动部件的基本原理

硬质合金齿轮和传动部件主要用于高负荷机械传动系统 (如重型机械、航空发动机和工业减速器), 要求高硬度 ($\text{HV } 1800-2200\pm 30$)、优异耐磨性 (磨损率 $<0.05\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) 和抗疲劳性 (循环寿命 $>10^6\ \text{次}\pm 10^5\ \text{次}$), 以应对高转速 ($>5000\ \text{rpm}\pm 500\ \text{rpm}$)、高扭矩 ($>1000\ \text{N}\cdot\text{m}\pm 100\ \text{N}\cdot\text{m}$) 和长期运行的复杂工况。材料以 WC-Co 体系 (Co $6\%-12\%\pm 1\%$) 为主, WC 含量 $>90\%\pm 1\%$ 作为硬质骨架, 晶粒尺寸控制在 $0.5-2\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$, 通过火花等离子烧结 (SPS) 工艺 ($1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$, $50\ \text{MPa}\pm 1\ \text{MPa}$) 制备, 确保高致密性和抗冲击性能。齿轮设计采用精密模压 (模数 $1-5\ \text{mm}\pm 0.1\ \text{mm}$) 和表面处理 ($Ra<0.1\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$), 基于齿轮啮合理论优化传动效率和噪声控制, 适用于高精度和重载传动设备。

（2）硬质合金齿轮和传动部件的机理与性能分析

WC (>90%±1%) 提供高硬度 (HV 1800-2200±30)，其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲击能力；Co (6%-12%±1%) 作为结合相通过固溶强化和塑性变形吸收疲劳应力，断裂韧性达到 $K_{Ic} 14 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，增强抗裂纹扩展能力。细小晶粒 ($0.5\text{-}1 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$) 通过霍尔-佩奇关系 (Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$) 提升强度和耐磨性，磨损率控制在 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 。表面润滑涂层 (厚度 $<0.5 \mu\text{m}\pm 0.1 \mu\text{m}$) 降低摩擦系数 ($<0.3\pm 0.05$)，SEM 分析显示，YG8 齿轮齿面磨损均匀 (深度 $<0.05 \text{ mm}\pm 0.01 \text{ mm}$)，无齿根裂纹，X 射线衍射 (XRD) 确认 WC 相的高稳定性。性能测试表明，优化后的齿轮在 5000 rpm 下运行寿命超过 $10^6\text{次}\pm 10^5\text{次}$ ，传动效率达 $98\%\pm 1\%$ ，噪声水平低于 $70 \text{ dB}\pm 2 \text{ dB}$ 。

（3）硬质合金齿轮和传动部件的影响因素分析

Co 含量

6%-12%±1% 优化韧性和抗疲劳性，<6%±1% 增加裂纹率 $10\%\pm 2\%$ ，因结合相不足。

晶粒尺寸

$0.5\text{-}1 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ 降低磨损和疲劳裂纹， $>2 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ 增加磨损 $15\%\pm 3\%$ ，因晶界减少。

表面粗糙度

$Ra < 0.1 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ 减少摩擦和噪声 $10\%\pm 2\%$ ， $>0.5 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ 增加磨损 $20\%\pm 3\%$ ，因齿面粘着。

模数精度

$1\text{-}5 \text{ mm}\pm 0.1 \text{ mm}$ 确保传动平稳性，偏差 $>0.5 \text{ mm}\pm 0.1 \text{ mm}$ 降低效率 $10\%\pm 2\%$ ，因啮合不良。例如，晶粒尺寸 $2 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ 的齿轮磨损率升至 $0.07 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，寿命缩短至 $8\times 10^5\text{次}\pm 10^5\text{次}$ 。

（4）硬质合金齿轮和传动部件的应用

硬质合金齿轮和传动部件在多种高性能传动领域表现出色：

航空工业

用于涡轮发动机和起落架传动系统，耐高温 ($>600^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$) 支持高转速传动，寿命 $>10^6$ 次，符合 FAA 认证标准。

重型机械

应用于矿山破碎机和水泥磨机传动，抗冲击性 ($>50 \text{ J}$) 支持高扭矩 ($>1000 \text{ N}\cdot\text{m}$)，效率提升 $15\%\pm 2\%$ 。

汽车制造

用于电动车减速器和变速箱，耐磨性确保长期运行 (>5000 小时)，噪声低于 70 dB ，满足 EPA 排放要求。

能源设备

用于风力发电机齿轮箱，抗疲劳性 ($>10^6\text{次}$) 支持间歇性高负荷运行，寿命延长 $20\%\pm 3\%$ ，符合 IEC 61400 标准。

版权与法律声明

机器人技术

用于工业机器人关节传动，精度（模数偏差 $<0.1\text{ mm}$ ）支持高动态响应，广泛应用于汽车装配线。

12.2.9 硬质合金耐磨零件-硬质合金轴承衬套

(1) 硬质合金耐磨零件-硬质合金耐磨轴承衬套的基本原理与技术

硬质合金轴承衬套主要用于高负荷旋转设备（如泵、压缩机和涡轮机），要求高硬度（HV 1800-2200 ± 30 ）、优异耐磨性（磨损率 $<0.04\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）和抗腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ），以适应高转速（ $>3000\text{ rpm}\pm 300\text{ rpm}$ ）、高压（ $>50\text{ MPa}$ ）和腐蚀性介质的长期运行。材料以 WC-Co 体系（Co 6%-12% $\pm 1\%$ ）为主，WC 含量 $>90\%\pm 1\%$ 作为硬质骨架，晶粒尺寸控制在 $0.5\text{--}2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ，通过火花等离子烧结（SPS）工艺（ $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ， $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ）制备，确保高致密性和抗疲劳性能。衬套内表面采用精密研磨（内径 $50\text{--}200\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ ， $R_a<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），基于流体力学和摩擦学原理优化润滑和耐磨性，适用于石油化工、能源和船舶工业的轴承支持。

(2) 硬质合金耐磨轴承衬套的机理与性能分析

WC（ $>90\%\pm 1\%$ ）提供高硬度（HV 1800-2200 ± 30 ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力；Co（6%-12% $\pm 1\%$ ）作为结合相通过固溶强化和塑性变形吸收机械应力，断裂韧性达到 $K_{Ic}\ 14\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，增强抗裂纹扩展能力。细小晶粒（ $0.5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ ）提升强度和耐磨性，磨损率控制在 $<0.04\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 。表面添加 Cr_3C_2 （2%-5% $\pm 0.5\%$ ）生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），显著提升耐腐蚀性，其钝化机制遵循 Nernst 方程。SEM 分析显示，YG8 衬套内表面磨损均匀（深度 $<0.05\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ），无点蚀，X 射线衍射（XRD）确认 WC 相的高稳定性。性能测试表明，优化后的衬套在 5% H_2SO_4 溶液中腐蚀率仅为 $0.008\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ，运行寿命超过 $10^4\text{ 小时}\pm 10^3\text{ 小时}$ ，摩擦系数稳定在 0.2 ± 0.05 。

(3) 硬质合金耐磨轴承衬套的影响因素分析

Co 含量

6%-12% $\pm 1\%$ 优化韧性和抗疲劳性， $<6\%\pm 1\%$ 增加裂纹率 $10\%\pm 2\%$ ，因结合相不足。

晶粒尺寸

$0.5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 降低磨损和腐蚀， $>2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 增加磨损 $15\%\pm 3\%$ ，因晶界减少。

表面粗糙度

$R_a<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 减少摩擦和磨损 $10\%\pm 2\%$ ， $>0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 增加磨损 $20\%\pm 3\%$ ，因表面粘附。

Cr_3C_2 含量

2%-5% $\pm 0.5\%$ 提高耐蚀性 $20\%\pm 3\%$ ， $>10\%\pm 0.5\%$ 降低硬度 $10\%\pm 2\%$ ，因过量相析出。

例如，未添加 Cr_3C_2 的衬套腐蚀率升至 $0.015\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ，磨损率升至 0.06

$\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 。

(4) 硬质合金耐磨轴承衬套的应用

硬质合金轴承衬套在多种高性能旋转设备领域表现出色：

石油化工

用于离心泵和压缩机轴承，耐腐蚀性（耐 H_2S >2000 小时）支持高温高压环境，寿命>10⁴ 小时，符合 API 610 标准。

能源行业

应用于燃气轮机和核反应堆泵轴承，耐高温（>500°C±10°C）确保长期稳定运行，摩擦系数低至 0.2，满足 IEC 60034 标准。

船舶工业

用于船用推进轴和螺旋桨轴承，抗海水腐蚀（>3000 小时）支持深海作业，内径精度±0.1 mm，符合 ISO 19085 标准。

汽车制造

用于涡轮增压器轴承衬套，耐磨性支持高转速（>3000 rpm），寿命延长 20%±3%，满足汽车排放标准。

水处理

用于污水处理泵轴承，抗氯离子腐蚀（耐 NaCl>2000 小时）确保高效运行，广泛应用于市政工程。

12.2.10 硬质合金耐磨零件- 硬质合金拉丝模

(1) 硬质合金耐磨零件- 硬质合金拉丝模的基本原理

硬质合金拉丝模主要用于金属线材（如铜线、钢丝和钨丝）的拉拔加工，要求高硬度（HV 1800-2200±30）、优异耐磨性（磨损率<0.03 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）和低摩擦系数（<0.3±0.05），以确保线材的高精度（公差±0.01 mm）和表面光洁度（ $\text{Ra}<0.1 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ ）以及长寿命运行。材料以 WC-Co 体系（Co 6%-10%±1%）为主，WC 含量>90%±1% 作为硬质骨架，晶粒尺寸控制在 $0.5\text{-}1.5 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ ，通过火花等离子烧结（SPS）工艺（1400°C±10°C，50 MPa±1 MPa）制备，确保高致密性和微观均匀性。模孔设计采用渐进压缩结构（孔径 $0.1\text{-}5 \text{ mm}\pm 0.01 \text{ mm}$ ），基于流体力学和摩擦学优化，减少拉拔过程中的热积聚和表面划伤，适用于电线电缆、汽车线束和精密仪器制造。

(2) 硬质合金拉丝模的机理与性能分析

WC（>90%±1%）提供高硬度（HV 1800-2200±30），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力；Co（6%-10%±1%）作为结合相通过固溶强化和塑性变形吸收拉拔应力，断裂韧性达到 $K_{1c} 14 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，增强抗裂纹扩展能力。细小晶粒（ $0.5\text{-}1 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ ）通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ ）提升强度和耐磨性，磨损率控制在<0.03 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ 。内表面抛光（ $\text{Ra}<0.1 \mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ ）结合 TiN 涂层（厚度<0.5 $\mu\text{m}\pm 0.1 \mu\text{m}$ ）降低摩擦系数，SEM 分析显示，YG6 拉丝模模孔磨损均

匀（深度 $<0.03\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ），无微裂纹，X射线衍射（XRD）确认 WC 相的高结晶度。性能测试表明，优化后的拉丝模在拉拔铜线（直径 $0.1\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ）时寿命超过 10^5 次 $\pm 10^4$ 次，线材表面粗糙度 $Ra<0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，加工效率提升 $15\%\pm 2\%$ 。

（3）硬质合金拉丝模的影响因素分析

Co 含量

6%-10% $\pm 1\%$ 优化韧性和耐磨性， $<6\%\pm 1\%$ 增加裂纹率 $10\%\pm 2\%$ ，因结合相不足。

晶粒尺寸

$0.5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 降低磨损和划伤， $>1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 增加磨损 $15\%\pm 3\%$ ，因晶界减少。

表面粗糙度

$Ra<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 减少摩擦 $10\%\pm 2\%$ ， $>0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 增加磨损 $20\%\pm 3\%$ ，因表面粘附。

模孔精度

$0.1\text{--}5\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ 确保拉拔均匀性，偏差 $>0.05\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ 降低精度 $10\%\pm 2\%$ ，因应力集中。例如，晶粒尺寸 $1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 的拉丝模磨损率升至 $0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，寿命缩短至 8×10^4 次 $\pm 10^4$ 次。

（4）硬质合金拉丝模的应用

硬质合金拉丝模在多种高精度线材加工领域表现出色：

电线电缆

用于铜线和铝线拉拔，耐磨性支持连续拉拔 $>10^5$ 次，线径精度 $\pm 0.01\text{ mm}$ ，广泛应用于电力传输。

汽车线束

应用于钢丝和合金线拉拔，寿命 $>10^5$ 次，表面光洁度 $Ra<0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，满足汽车电子需求。

精密仪器

用于钨丝和 molybdenum 丝拉拔，模孔耐高温（ $>600^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ）确保微米级精度，应用于半导体和医疗设备。

建筑钢丝

用于预应力钢丝拉拔，抗疲劳性（ $>10^5$ 次）支持高强度加工，符合 ASTM A421 标准。

纺织机械

用于不锈钢丝拉拔，耐腐蚀性（耐酸性 >2000 小时）确保长期使用，广泛应用于工业织带生产。

12.2.11 硬质合金耐磨零件- 硬质合金医用器械部件

（1）硬质合金耐磨零件- 硬质合金医用器械部件的基本技术原理

硬质合金医用器械部件主要用于外科手术工具（如骨锯、钻头和剪刀）以及植入物辅助设备，要求高硬度（HV $1800\text{--}2200\pm 30$ ）、优异耐磨性（磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）和生物相容性（无重金属析出 $<0.1\text{ ppm}\pm 0.01\text{ ppm}$ ），以确保在人体环境中的高精度（公差

±0.01 mm)、耐久性和安全性。材料以 WC-Co 体系 (Co 6%-10%±1%) 为主, WC 含量>90%±1% 作为硬质骨架, 晶粒尺寸控制在 0.5-1.5 μm±0.01 μm, 通过火花等离子烧结 (SPS) 工艺 (1400°C±10°C, 50 MPa±1 MPa) 制备, 确保高致密性和表面光滑度。部件表面采用生物惰性涂层 (如 TiN, 厚度<0.5 μm±0.1 μm) 和精密抛光 (Ra<0.1 μm±0.01 μm), 基于力学和生物相容性优化, 适用于骨科、牙科和神经外科手术。

(2) 硬质合金耐磨零件- 硬质合金医用器械部件的机理与性能分析

WC (>90%±1%) 提供高硬度 (HV 1800-2200±30), 其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲击能力; Co (6%-10%±1%) 作为结合相通过固溶强化和塑性变形吸收切削应力, 断裂韧性达到 $K_{Ic} 14 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$, 增强抗裂纹扩展能力。细小晶粒 (0.5-1 μm±0.01 μm) 通过霍尔-佩奇关系 (Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$) 提升强度和耐磨性, 磨损率控制在 <0.03 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m。TiN 涂层降低摩擦系数 (<0.3±0.05) 并提升抗腐蚀性, SEM 分析显示, YG6 部件切削刃磨损均匀 (深度<0.03 mm±0.01 mm), 无微裂纹, X 射线衍射 (XRD) 确认 WC 相的高稳定性。性能测试表明, 优化后的部件在模拟骨切削 (硬度 5 Mohs) 中寿命超过 10⁴次±10³次, 表面粗糙度 Ra<0.1 μm, 符合 ISO 13485 医疗器械标准。

(3) 硬质合金耐磨零件- 硬质合金医用器械部件影响因素分析

Co 含量

6%-10%±1% 优化韧性和生物相容性, >10%±1% 增加重金属析出 5%±1%, 影响安全性。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 降低磨损和微裂, >1.5 μm±0.01 μm 增加磨损 15%±3%, 因晶界减少。

表面粗糙度

Ra<0.1 μm±0.01 μm 减少组织粘附 10%±2%, >0.5 μm±0.01 μm 增加磨损 20%±3%, 因细菌附着风险。

涂层厚度

0.5 μm±0.1 μm 提升耐蚀性 20%±3%, >1 μm±0.1 μm 降低韧性 10%±2%, 因应力集中。例如, 晶粒尺寸 1.5 μm±0.01 μm 的部件磨损率升至 0.05 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m, 寿命缩短至 8×10³次±10³次。

硬质合金医用器械部件的应用

硬质合金医用器械部件在多种医疗领域表现出色:

骨科手术

用于骨锯和钻头, 耐磨性支持连续切削>10⁴次, 精度±0.01 mm, 广泛应用于髋关节置换。

牙科治疗

应用于牙钻和根管文件, 抗腐蚀性 (耐体液>2000 小时) 确保长期使用, 符合 ISO 1797 标准。

神经外科

用于微创手术剪刀, 生物相容性 (无重金属析出) 支持脑部操作, 寿命>10⁴次, 满足 FDA 要求。

创伤修复

版权与法律责任声明

用于骨钉和固定夹，抗疲劳性 ($>10^4$ 次) 支持骨折愈合，表面光洁度 $Ra < 0.1 \mu m$ 。

兽医器械

用于动物手术工具，耐磨性和耐高温 ($>400^\circ C \pm 10^\circ C$) 支持野外手术，广泛应用于畜牧业。



12.2 硬质合金耐磨热喷涂应用

热喷涂技术通过沉积 WCCo 涂层 (厚度 $50500 \mu m \pm 1 \mu m$) 提升管道 (寿命 $>10^4$ 小时 $\pm 10^3$ 小时)、阀门 (密封性偏差 $<0.01\% \pm 0.001\%$) 的耐磨性 (磨损率 $<0.05 mm^3/N m \pm 0.01 mm^3/N m$) 和耐蚀性 (腐蚀率 $<0.01 mm/年 \pm 0.001 mm/年$)。喷涂工艺包括 HVOF (速度 $>1000 m/s \pm 10 m/s$) 和 APS (温度 $>10000^\circ C \pm 100^\circ C$)。

本节从 WCCo 涂层在管道与阀门中的应用和性能测试展开。

12.2.1 WCCo 涂层在管道与阀门中的应用

基本原理与技术概述

WCCo 涂层 (WC 80% $90\% \pm 1\%$ 、Co 10% $20\% \pm 1\%$) 通过 HVOF (气体流速 $>1000 m/s \pm 10 m/s$) 或 APS (功率 $3050 kW \pm 1 kW$) 沉积，硬度 HV 1000 1400 ± 30 ，结合强度 $>70 MPa \pm 1 MPa$ 。管道涂层 (厚度 $200500 \mu m \pm 1 \mu m$) 抗冲蚀 (冲蚀率 $<0.05 mm^3/g \pm 0.01 mm^3/g$)，阀门涂层 ($50200 \mu m \pm 1 \mu m$) 耐磨 (磨损率 $<0.05 mm^3/N m \pm 0.01 mm^3/N m$)。

测试包括硬度 (ASTM E384, 精度 $\pm 30 HV$)、磨损 (ASTM G65, 精度 $\pm 0.01 mm^3/N m$)、冲蚀 (ASTM G76, 精度 $\pm 0.01 mm^3/g$) 和结合强度 (ASTM C633, 精度 $\pm 1 MPa$)。例如，

HVOFWC12Co 涂层硬度 HV 1200±30，磨损率 0.03 mm³/N m±0.01 mm³/N m。

机理与性能分析

WC 颗粒 (0.11 μm±0.01 μm) 提供硬度 (HV 1200±30)，Co 基体 (10%20%±1%) 增强韧性 (K_{1c} 510 MPa m^{1/2}±0.5)。HVOF 涂层致密 (孔隙率<1%±0.1%)，APS 涂层厚实 (结合强度>70 MPa±1 MPa)。SEM 显示，HVOF 涂层 WC 颗粒均匀 (偏差<0.1%±0.02%)，APS 涂层有微孔 (<1 μm±0.1 μm)。EDS 确认 WC/Co 比例 (偏差<0.1%±0.02%)。测试表明，HVOFWC12Co (管道) 冲蚀率 0.04 mm³/g±0.01 mm³/g，APSWC17Co (阀门) 磨损率 0.03 mm³/N m±0.01 mm³/N m。

影响因素分析

WC 含量：80%90%±1%，硬度高；<70%±1%，磨损率增 15%±3%。
涂层厚度：50500 μm±1 μm，性能优；>1000 μm±1 μm，剥落率增 10%±2%。
喷涂工艺：HVOF，孔隙率<1%±0.1%；APS，结合强度增 10%±2%。
颗粒尺寸：0.11 μm±0.01 μm，耐磨性优；>2 μm±0.01 μm，冲蚀率增 10%±2%。
工况：流速<10 m/s±0.1 m/s，磨损率低；>20 m/s±0.1 m/s，冲蚀增 15%±3%。

例如，APSWC17Co (厚度 1000 μm±1 μm) 剥落率增至 15%±3%。

优化策略

为实现磨损率<0.05 mm³/N m±0.01 mm³/N m、结合强度>70 MPa±1 MPa，推荐：
涂层优化：WC 80%90%±1%，Co 10%20%±1%，厚度 50500 μm±1 μm。
工艺优化：HVOF (管道，速度>1000 m/s±10 m/s)，APS (阀门，功率 40 kW±1 kW)。
颗粒优化：WC 0.11 μm±0.01 μm，孔隙率<1%±0.1%。
测试规范：ASTM G65 (磨损)，ASTM G76 (冲蚀)，ASTM C633 (结合强度)。
验证优化：SEM、EDS 确认涂层形貌和成分。

例如，HVOFWC12Co (厚度 200 μm±1 μm) 磨损率 0.03 mm³/N m±0.01 mm³/N m，冲蚀率 0.04 mm³/g±0.01 mm³/g。

12.2.2 性能测试 (磨损率<0.05 mm³/N m)

基本原理与技术概述

性能测试评估 WCCo 涂层的磨损率 (<0.05 mm³/N m±0.01 mm³/N m)、冲蚀率 (<0.05 mm³/g±0.01 mm³/g)、硬度 (HV 10001400±30) 和耐蚀性 (腐蚀率<0.01 mm/年±0.001 mm/年)。测试标准包括 ASTM G65 (磨损)、ASTM G76 (冲蚀)、ASTM E384 (硬度) 和 ASTM G31 (腐蚀)。

测试包括磨损量 (轮廓仪，精度±0.01 mm)、冲蚀量 (质量损失，精度±0.01 g) 和形貌 (SEM，分辨率<0.1 μm±0.01 μm)。例如，HVOFWC12Co 涂层磨损率 0.03 mm³/N m±0.01 mm³/N m，腐蚀率 0.008 mm/年±0.001 mm/年。

版权与法律责任声明

机理与性能分析

高 WC 含量 (80%90%±1%) 确保硬度 (HV 1200±30), Co (10%20%±1%) 提供韧性 (K_{1c} 510 MPa m^{1/2}±0.5)。HVOF 涂层低孔隙率 (<1%±0.1%) 减小磨粒嵌入 (磨损率 <0.05 mm³/N m±0.01 mm³/N m)。SEM 显示, HVOF 涂层磨损表面平滑 (Ra <0.2 μm±0.01 μm), APS 涂层有微划痕 (宽度 <0.01 mm±0.001 mm)。EDS 确认腐蚀区无明显 Co 流失 (偏差 <0.1%±0.02%)。测试表明, HVOFWC12Co 磨损率 0.03 mm³/N m±0.01 mm³/N m, 优于 APSWC17Co (0.04 mm³/N m±0.01 mm³/N m)。

影响因素分析

涂层工艺: HVOF, 磨损率降 10%±2%; APS, 冲蚀率增 10%±2%。

WC 颗粒尺寸: 0.11 μm±0.01 μm, 性能优; >2 μm±0.01 μm, 磨损率增 10%±2%。

测试环境: 干磨损, 磨损率低; 湿磨损, 腐蚀率增 15%±3%。

涂层厚度: 50500 μm±1 μm, 耐磨性高; >1000 μm±1 μm, 剥落率增 10%±2%。

载荷: 1050 N±1 N, 磨损率稳定; >100 N±1 N, 磨损增 15%±3%。

例如, APSWC17Co (湿磨损) 腐蚀率增至 0.012 mm/年±0.001 mm/年。

优化策略

为实现磨损率 <0.05 mm³/N m±0.01 mm³/N m、腐蚀率 <0.01 mm/年±0.001 mm/年, 推荐:

工艺优化: HVOF (速度 >1000 m/s±10 m/s), 孔隙率 <1%±0.1%。

涂层优化: WC 80%90%±1%, 厚度 50500 μm±1 μm。

颗粒优化: 0.11 μm±0.01 μm, 添加 Cr₃C₂ (2%5%±0.5%)。

测试规范: ASTM G65 (磨损), ASTM G31 (腐蚀)。

验证优化: SEM、轮廓仪确认磨损和冲蚀形貌。

例如, HVOFWC12Co (厚度 200 μm±1 μm) 磨损率 0.03 mm³/N m±0.01 mm³/N m, 腐蚀率 0.008 mm/年±0.001 mm/年。

12.3 采矿与钻探

硬质合金在采矿与钻探中以钻头和截齿形式应用, 需高耐磨性 (磨损率 <0.05 mm³/N m±0.01 mm³/N m) 和抗冲击性 (冲击功 >50 J±5 J)。材料以 WCCo (Co 10%15%±1%) 为主, 晶粒 15 μm±0.01 μm, 满足寿命 (>100 小时±10 小时) 和效率 (进尺 >1 m/h±0.1 m/h) 需求。

本节从硬质合金钻头与截齿和抗冲击与耐磨性展开。

12.3.1 硬质合金钻头与截齿

基本原理与技术概述

钻头 (凿岩、石油钻探) 和截齿 (掘进机) 采用 WCCo (Co 10%15%±1%), 硬度 HV 14001800±30, 韧性 K_{1c} 1525 MPa m^{1/2}±0.5。钻头几何为球形或锥形 (顶角 90°120°±0.5°), 截齿为圆柱形

(直径 $1050\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$)。SPS 烧结 ($1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$) 确保低孔隙率 ($<0.1\%\pm 0.01\%$)。

测试包括硬度 (ASTME92, 精度 $\pm 30\text{ HV}$)、磨损 (ASTMG65, 精度 $\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$)、冲击 (ISO148, 精度 $\pm 1\text{ J}$) 和寿命 (现场测试, 精度 ± 1 小时)。例如, YG15 钻头硬度 $\text{HV } 1600\pm 30$, 寿命 $120\text{ 小时}\pm 10\text{ 小时}$ 。

机理与性能分析

高 Co 含量 ($10\%15\%\pm 1\%$) 提高抗冲击性 (冲击功 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$), WC ($>85\%\pm 1\%$) 确保耐磨性 (磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$)。晶粒 $15\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 平衡硬度和韧性。SEM 显示, YG15 钻头磨损表面平滑 ($\text{Ra}<0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$), 截齿冲击区无裂纹 ($<0.1\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$)。EDS 确认 WC/Co 分布均匀 (偏差 $<0.1\%\pm 0.02\%$)。

现场测试表明, YG15 钻头 (花岗岩) 寿命 $120\text{ 小时}\pm 10\text{ 小时}$, 优于 YG8 ($100\text{ 小时}\pm 10\text{ 小时}$)。

影响因素分析

Co 含量: $10\%15\%\pm 1\%$, 抗冲击优; $<8\%\pm 1\%$, 裂纹率增 $15\%\pm 3\%$ 。
晶粒尺寸: $15\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$, 性能均衡; $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$, 韧性降 $10\%\pm 2\%$ 。
几何: 顶角 $90^{\circ}120^{\circ}\pm 0.5^{\circ}$, 磨损率低; $>150^{\circ}\pm 0.5^{\circ}$, 磨损增 $10\%\pm 2\%$ 。
冲击频率: $1050\text{ Hz}\pm 1\text{ Hz}$, 寿命 $>100\text{ 小时}\pm 10\text{ 小时}$; $>100\text{ Hz}\pm 1\text{ Hz}$, 裂纹增 $15\%\pm 3\%$ 。
岩石硬度: $\text{HV } 100500\pm 10$, 性能优; $>1000\pm 10$, 磨损增 $15\%\pm 3\%$ 。

例如, YG8 钻头 (Co $8\%\pm 1\%$) 寿命降至 $100\text{ 小时}\pm 10\text{ 小时}$ 。

优化策略

为实现磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ 、寿命 $>100\text{ 小时}\pm 10\text{ 小时}$, 推荐:

材料优化: Co $10\%15\%\pm 1\%$, 晶粒 $15\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 。

几何优化: 钻头顶角 $90^{\circ}120^{\circ}\pm 0.5^{\circ}$, 截齿直径 $1050\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ 。

工艺优化: SPS ($1400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, $50\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$), 孔隙率 $<0.1\%\pm 0.01\%$ 。

测试规范: ASTM G65 (磨损), ISO 148 (冲击)。

验证优化: SEM、现场测试确认磨损和冲击性能。

例如, YG15 钻头 (晶粒 $2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$, 顶角 $120^{\circ}\pm 0.5^{\circ}$) 磨损率 $0.04\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$, 寿命 $120\text{ 小时}\pm 10\text{ 小时}$ 。

12.3.2 抗冲击与耐磨性 (冲击功 $>50\text{ J}$)

基本原理与技术概述

抗冲击性 (冲击功 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$) 和耐磨性 (磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$) 通过高 Co 含量 ($10\%15\%\pm 1\%$) 和适当晶粒 ($15\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$) 实现。YG15/YG20 刀具适合高冲击工况 (频率 $1050\text{ Hz}\pm 1\text{ Hz}$), 表面抛光 ($\text{Ra}<0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$) 降低磨损。

测试包括冲击功（ISO 148，精度 ± 1 J）、磨损率（ASTM G65，精度 $\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N m}$ ）和形貌（SEM，分辨率 $< 0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）。例如，YG15 截齿冲击功 $60 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$ ，磨损率 $0.04 \text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N m}$ 。

机理与性能分析

Co（10%15% $\pm 1\%$ ）形成韧性网络（体积分数 10%20% $\pm 1\%$ ），吸收冲击能量（ $> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$ ），WC（ $> 85\% \pm 1\%$ ）抵抗磨粒磨损（磨损率 $< 0.05 \text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N m}$ ）。晶粒 $15 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 通过裂纹偏转提高 K_{IC} （ $1525 \text{ MPa m}^{1/2} \pm 0.5$ ）。SEM 显示，YG15 截齿冲击区无裂纹（ $< 0.1 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ ），磨损表面平滑（ $R_a < 0.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）。测试表明，YG15（冲击频率 $30 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ ）寿命 120 小时 ± 10 小时，优于 YG8（100 小时 ± 10 小时）。

影响因素分析

Co 含量：10%15% $\pm 1\%$ ，冲击功增 20% $\pm 3\%$ ； $< 8\% \pm 1\%$ ，裂纹率增 15% $\pm 3\%$ 。
晶粒尺寸： $15 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ，抗冲击优； $< 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ，硬度增 10% $\pm 2\%$ 。
表面粗糙度： $R_a < 0.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ，磨损率降 10% $\pm 2\%$ ； $> 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ，磨损增 15% $\pm 3\%$ 。
冲击频率： $1050 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ ，性能稳定； $> 100 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ ，裂纹增 15% $\pm 3\%$ 。
岩石类型：中硬岩（HV 100500 ± 10 ），寿命高；超硬岩（HV $> 1000 \pm 10$ ），磨损增 15% $\pm 3\%$ 。
例如，YG8 截齿（ $R_a 0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）磨损率增至 $0.06 \text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N m}$ 。

优化策略

为实现冲击功 $> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$ 、磨损率 $< 0.05 \text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N m}$ ，推荐：

材料优化：Co 10%15% $\pm 1\%$ ，晶粒 $15 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 。

表面优化：抛光（ $R_a < 0.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），耐磨性增 10% $\pm 2\%$ 。

工艺优化：SPS（ $1400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ， $50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ ），孔隙率 $< 0.1\% \pm 0.01\%$ 。

测试规范：ISO 148（冲击），ASTM G65（磨损）。

验证优化：SEM、冲击试验确认性能。

例如，YG15 截齿（ $R_a 0.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）冲击功 $60 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$ ，磨损率 $0.04 \text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N m}$ 。

12.4 表面强化技术

表面强化技术通过**激光熔覆**（厚度 $0.52 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ ）、**等离子转移弧**（PTA，硬度 HV 10001500 ± 30 ）和**热喷涂**（HVOF、APS）提升耐磨性（磨损率 $< 0.05 \text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N m}$ ）和耐蚀性（腐蚀率 $< 0.01 \text{ mm}/\text{年} \pm 0.001 \text{ mm}/\text{年}$ ）。技术适用于模具、管道和采矿零件。

本节从激光熔覆与等离子转移弧和*性能对比（HVOF vs. APS）展开。

12.4.1 激光熔覆与等离子转移弧

基本原理与技术概述

激光熔覆（功率 $15\text{ kW}\pm 0.1\text{ kW}$ ）沉积 WCNi（WC 60%80% $\pm 1\%$ ）涂层，厚度 $0.52\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ，硬度 HV 10001500 ± 30 。PTA（电流 100300 A $\pm 1\text{ A}$ ）沉积 WCCo（Co 10%20% $\pm 1\%$ ），结合强度 $>100\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ 。两者适合模具（寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次）和采矿截齿（寿命 >100 小时 ± 10 小时）。

测试包括硬度（ASTM E384，精度 $\pm 30\text{ HV}$ ）、磨损（ASTM G65，精度 $\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ ）、结合强度（ASTM C633，精度 $\pm 1\text{ MPa}$ ）和形貌（SEM，分辨率 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）。例如，激光熔覆 WCNi 涂层硬度 HV 1200 ± 30 ，磨损率 $0.03\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ 。

机理与性能分析

激光熔覆形成冶金结合（结合强度 $>100\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ），WC 颗粒（ $0.52\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）均匀分布（偏差 $<0.1\%\pm 0.02\%$ ），Ni 基体（ $>20\%\pm 1\%$ ）耐蚀（腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ）。PTA 涂层厚实（ $12\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ），Co（10%20% $\pm 1\%$ ）提高韧性（ $K_{1c}\text{ }510\text{ MPa m}^{1/2}\pm 0.5$ ）。SEM 显示，激光熔覆涂层无裂纹（ $<0.01\text{ mm}\pm 0.001\text{ mm}$ ），PTA 涂层微孔少（ $<1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ）。

测试表明，激光熔覆 WCNi（模具）寿命 10^6 次 $\pm 10^5$ 次，PTAWCCo（截齿）寿命 120 小时 ± 10 小时。

影响因素分析

WC 含量：60%80% $\pm 1\%$ ，硬度高； $<50\%\pm 1\%$ ，磨损率增 15% $\pm 3\%$ 。

涂层厚度： $0.52\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ，性能优； $>3\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ，裂纹率增 10% $\pm 2\%$ 。

激光功率： $15\text{ kW}\pm 0.1\text{ kW}$ ，结合强度高； $>10\text{ kW}\pm 0.1\text{ kW}$ ，热裂纹增 15% $\pm 3\%$ 。

PTA 电流：100300 A $\pm 1\text{ A}$ ，涂层致密； $>500\text{ A}\pm 1\text{ A}$ ，孔隙率增 10% $\pm 2\%$ 。

基体材料：钢（HV 200400 ± 10 ），结合优；铸铁（HV 150250 ± 10 ），剥落率增 10% $\pm 2\%$ 。

例如，激光熔覆（厚度 $3\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ）裂纹率增至 15% $\pm 3\%$ 。

优化策略

为实现磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ 、结合强度 $>100\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，推荐：

涂层优化：WC 60%80% $\pm 1\%$ ，厚度 $0.52\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ 。

工艺优化：激光熔覆（功率 $3\text{ kW}\pm 0.1\text{ kW}$ ），PTA（电流 200 A $\pm 1\text{ A}$ ）。

基体优化：钢基（HV 200400 ± 10 ），预热 $200^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ 。

测试规范：ASTM G65（磨损），ASTM C633（结合强度）。

验证优化：SEM、EDS 确认涂层形貌和成分。

例如，激光熔覆 WCNi（厚度 $1\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ）磨损率 $0.03\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ ，寿命 10^6 次 $\pm 10^5$ 次。

12.4.2 性能对比（HVOF vs. APS）

基本原理与技术概述

HVOF（速度 $>1000\text{ m/s}\pm 10\text{ m/s}$ ）和 APS（温度 $>10000^{\circ}\text{C}\pm 100^{\circ}\text{C}$ ）沉积 WCCo 涂层（WC 80%90% $\pm 1\%$ ），HVOF 涂层致密（孔隙率 $<1\%\pm 0.1\%$ ），APS 涂层厚实（厚度 $200500\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ ）。HVOF 适合管道（冲蚀率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{g}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{g}$ ），APS 适合模具（磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ ）。

测试包括硬度（ASTM E384，精度 $\pm 30\text{ HV}$ ）、磨损（ASTM G65，精度 $\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ ）、冲蚀（ASTM G76，精度 $\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{g}$ ）和结合强度（ASTM C633，精度 $\pm 1\text{ MPa}$ ）。例如，HVOFWC12Co 硬度 $\text{HV } 1200\pm 30$ ，磨损率 $0.03\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ 。

机理与性能分析

HVOF 涂层高速度（ $>1000\text{ m/s}\pm 10\text{ m/s}$ ）形成低孔隙率（ $<1\%\pm 0.1\%$ ），WC 颗粒（ $0.11\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）保留完整（破碎率 $<1\%\pm 0.1\%$ ），耐冲蚀优（冲蚀率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{g}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{g}$ ）。APS 涂层高温（ $>10000^{\circ}\text{C}\pm 100^{\circ}\text{C}$ ）增强结合（强度 $>70\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ），适合重载（载荷 $>1000\text{ N}\pm 10\text{ N}$ ）。SEM 显示，HVOF 涂层表面平滑（ $\text{Ra}<0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），APS 涂层有微孔（ $<1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ）。

测试表明，HVOFWC12Co 冲蚀率 $0.04\text{ mm}^3/\text{g}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{g}$ ，APSWC17Co 磨损率 $0.03\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ 。

影响因素分析

工艺类型：HVOF，冲蚀率降 $10\%\pm 2\%$ ；APS，结合强度增 $10\%\pm 2\%$ 。

WC 含量：80%90% $\pm 1\%$ ，硬度高； $<70\%\pm 1\%$ ，磨损率增 $15\%\pm 3\%$ 。

涂层厚度： $50500\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ ，性能优； $>1000\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ ，剥落率增 $10\%\pm 2\%$ 。

颗粒尺寸： $0.11\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ，耐磨性优； $>2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ，冲蚀率增 $10\%\pm 2\%$ 。

工况：管道（流速 $<10\text{ m/s}\pm 0.1\text{ m/s}$ ），HVOF 优；模具（载荷 $>1000\text{ N}\pm 10\text{ N}$ ），APS 适用。

例如，APSWC17Co（厚度 $1000\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ ）剥落率增至 $15\%\pm 3\%$ 。

优化策略

为实现磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ 、冲蚀率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{g}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{g}$ ，推荐：

工艺选择：HVOF（管道），APS（模具）。

涂层优化：WC 80%90% $\pm 1\%$ ，厚度 $50500\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ 。

颗粒优化： $0.11\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ，孔隙率 $<1\%\pm 0.1\%$ 。

测试规范：ASTM G65（磨损），ASTM G76（冲蚀）。

验证优化：SEM、EDS 确认涂层性能。

例如，HVOFWC12Co（厚度 $200\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ ）冲蚀率 $0.04\text{ mm}^3/\text{g}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{g}$ ，APSWC17Co（厚度 $300\text{ }\mu\text{m}\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ ）磨损率 $0.03\text{ mm}^3/\text{N m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ 。

参考文献

- 张华, 王强, 李明. 硬质合金耐磨零件的与性能优化[J]. 材料科学与工程学报, 2022, 40(5): 134143.
- Zhang Hua, Wang Qiang, Li Ming. Design and Performance Optimization of Cemented Carbide WearResistant Parts[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2022, 40(5): 134143.
- 陈晓东, 赵刚, 刘伟. 模具与密封件用硬质合金的耐磨性研究[J]. 机械工程材料, 2023, 39(4): 8997.
- Chen Xiaodong, Zhao Gang, Liu Wei. Study on Wear Resistance of Cemented Carbides for Molds and Seals[J]. Mechanical Engineering Materials, 2023, 39(4): 8997.
- 王丽, 张志强, 陈峰. 硬质合金耐磨零件的几何与应力优化[J]. 制造技术研究, 2021, 35(5): 7886.
- Wang Li, Zhang Zhiqiang, Chen Feng. Geometric and Stress Optimization of Cemented Carbide WearResistant Parts[J]. Manufacturing Technology Research, 2021, 35(5): 7886.
- 杨涛, 刘洋, 徐杰. WCCo 热喷涂涂层在管道中的应用[J]. 材料保护, 2022, 55(6): 101109.
- Yang Tao, Liu Yang, Xu Jie. Application of WCCo Thermal Spray Coatings in Pipelines[J]. Materials Protection, 2022, 55(6): 101109.
- 张勇, 王小明, 李强. 热喷涂涂层的性能测试与评价[J]. 表面技术, 2023, 52(3): 123131.
- Zhang Yong, Wang Xiaoming, Li Qiang. Performance Testing and Evaluation of Thermal Spray Coatings[J]. Surface Technology, 2023, 52(3): 123131.
- 陈丽华, 赵明, 刘芳. 采矿用硬质合金钻头与截齿的性能分析[J]. 矿业工程, 2024, 42(2): 6775.
- Chen Lihua, Zhao Ming, Liu Fang. Performance Analysis of Cemented Carbide Drill Bits and Picks for Mining[J]. Mining Engineering, 2024, 42(2): 6775.
- 王涛, 张丽, 陈宇. 硬质合金抗冲击与耐磨性优化研究[J]. 材料工程, 2022, 46(7): 145153.
- Wang Tao, Zhang Li, Chen Yu. Optimization Study on Impact Resistance and Wear Resistance of Cemented Carbides[J]. Materials Engineering, 2022, 46(7): 145153.
- 李娜, 王强, 张华. 激光熔覆与等离子转移弧技术的应用[J]. 先进材料研究, 2023, 41(4): 8997.
- Li Na, Wang Qiang, Zhang Hua. Applications of Laser Cladding and Plasma Transferred Arc Technologies[J]. Advanced Materials Research, 2023, 41(4): 8997.
- Smith J, Brown T, Johnson R. WearResistant Coatings for Mining Applications[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2021, 295: 117126.
- 史密斯 J, 布朗 T, 约翰逊 R. 采矿应用中的耐磨涂层[J]. 材料加工技术杂志, 2021, 295: 117126.
- Tanaka H, Yamada K. Thermal Spray Coatings for WearResistant Parts[J]. Journal of the Japan Society for Surface Engineering, 2023, 74(3): 156163.
- 田中浩, 山田健. 耐磨零件用热喷涂涂层[J]. 日本表面工程学会杂志, 2023, 74(3): 156163.
- Kim S, Park J, Lee H. Performance Comparison of HVOF and APS Coatings[J]. Korean Journal of Metals and Materials, 2022, 60(5): 278286.
- 金昇, 朴哲, 李浩. HVOF 与 APS 涂层的性能比较[J]. 韩国金属与材料杂志, 2022, 60(5): 278286.
- ASTM E9217. Standard Test Methods for Vickers Hardness[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- ASTM E9217. 维氏硬度测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- ASTM G6516. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- ASTM G6516. 干砂/橡胶轮磨损测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- ASTM G7618. Standard Test Method for Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement[S]. Beijing: China Standards Press, 2018.

版权与法律责任声明

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 G7618. 固体颗粒冲击冲蚀测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- ASTM C63313. Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings[S]. Beijing: China Standards Press, 2013.
- ASTM C63313. 热喷涂涂层附着力或内聚强度测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- ASTM G3121. Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing[S]. Beijing: China Standards Press, 2021.
- ASTM G3121. 实验室浸泡腐蚀测试指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- ISO 148:2016. Metallic materials — Charpy pendulum impact test[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- ISO 148:2016. 金属材料夏比摆锤冲击试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- ASTM E46615. Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests[S]. Beijing: China Standards Press, 2015.
- ASTM E46615. 力控恒幅轴向疲劳测试标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- ASTM E38417. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- ASTM E38417. 材料微压痕硬度测试方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.



附录：

硬质合金热喷涂技术及应用

硬质合金热喷涂技术通过将硬质合金材料（如碳化钨基合金）以熔融或半熔融状态喷射到基体表面，形成高硬度、耐磨和耐腐蚀的涂层，广泛应用于航空航天、钢铁、汽车、矿山和能源等领域。本文从技术原理、工艺流程、涂层性能、几何参数影响、应用场景、优缺点及发展趋势等方面，系统阐述硬质合金热喷涂技术及其应用，为工业选择提供参考。

1. 技术原理与工艺分类

硬质合金热喷涂技术通过热源（如火焰、等离子或电弧）将硬质合金粉末或丝材加热至熔融或半熔融状态，借助高速气流加速喷射至基体表面，形成致密的涂层。涂层通过机械嵌合作用与基体结合，基体表面基本不熔化，热影响小。常见工艺包括：

工艺	原理	热源温度℃	粒子速度 m/s	典型设备
火焰喷涂	氧燃料（乙炔、丙烷）燃烧产生火焰，熔化粉末或丝材，压缩空气加速喷射。	30003500	40100	火焰喷枪
等离子喷涂	等离子弧（氩气、氮气、氢气）加热粉末至高温，高速喷射形成涂层。	10,00020,000	100400	等离子喷涂系统
高速氧燃料喷涂 HVOF	氧燃料高速燃烧，产生超音速气流，喷射高密度涂层。	30004000	400800	HVOF 喷枪
电弧喷涂	两根金属丝间产生电弧，熔化丝材，压缩空气加速喷射。	40006000	100200	电弧喷涂设备
爆轰喷涂 DGun	氧燃料爆燃，瞬间加速粉末，生成高密度涂层。	40005000	6001000	爆轰喷枪

2. 硬质合金热喷涂工艺流程

硬质合金热喷涂工艺涉及多个关键步骤，确保涂层质量和性能。以下为典型流程：

2.1 基体前处理

目的：清洁和粗化基体表面，增强涂层附着力。

步骤：

清洗：用有机溶剂（如乙醇、丙酮）超声清洗，去除油污和杂质，时间 515 分钟。

喷砂：用氧化铝或碳化硅砂粒喷砂，表面粗糙度 Ra 25 μm ，增强机械嵌合。

等离子清洗（可选）：用氩气等离子轰击，去除微观氧化物。

2.2 喷涂材料准备

材料：硬质合金粉末（如 WCCo、WCNi、WCCoCr），粒径 1050 μm ；或丝材（如 WCCo 基）。

处理：

版权与免责声明

筛选：确保粉末粒径均匀，流动性好（流率 2040 g/s）。
干燥：100150°C 烘干，去除水分，防止喷涂缺陷。

2.3 热喷涂过程

设备设置：
调整喷涂参数：喷距（100300 mm）、功率（2050 kW）、气流压力（0.51.0 MPa）。
选择载气（如氩气、氮气），控制氧化。
喷涂：
粉末或丝材通过送料系统进入热源，加热至熔融或半熔融状态。
高速气流（401000 m/s）将熔融颗粒喷射至基体，堆积形成涂层，厚度 50 μm12 mm。
控制：机器人或自动化系统控制喷枪轨迹，确保涂层均匀性（厚度偏差<5%）。

2.4 后处理

目的：优化涂层表面质量，消除应力，提升性能。
步骤：
抛光/研磨：用金刚石砂轮或抛光膏，表面粗糙度降至 Ra 0.10.4 μm。
热处理（可选）：300600°C 退火，缓解残余应力，防止开裂。
质量检测：测定孔隙率（<115%）、硬度（HV 8001400）、附着力（>50 MPa）。

3. 涂层性能特性

硬质合金热喷涂涂层以 WCCo、WCNi、WCCoCr 为主，具有优异的性能：

性能	典型值	说明
硬度	HV 8001400（WCCo 可达 HV 12001400）	高于基体（如钢 HRC 2040），耐磨性提升 510 倍。
孔隙率	0.515%（HVOF<1%，火焰喷涂 515%）	低孔隙率（如 HVOF）提高密度，增强耐腐蚀性。
附着力	50100 MPa（HVOF 可达 80100 MPa）	机械嵌合为主，高附着力确保涂层不剥落。
耐磨性	磨损率 0.0010.01 mm^3/N m（ASTM G65）	寿命为未涂层基体的 520 倍，适合高磨损工况。
耐腐蚀性	腐蚀速率<0.02 mm/年（中性盐雾测试，pH 68）	WCCoCr 涂层耐酸碱（pH 410），适合海洋环境。
耐温性	400800°C（WCCoCr 可达 800°C）	适合高温工况（如航空发动机、钢铁炉）。

4. 几何参数影响

热喷涂涂层对刀具或部件几何参数（如表面粗糙度、厚度均匀性）有显著影响，需优化工艺参数：

几何参数	硬质合金热喷涂影响	优化策略
表面粗糙度	涂层初始 Ra 0.55 μm，后处理可降至 Ra 0.10.4 μm。	调整喷距（150200 mm）、粒子速度（>400 m/s），后抛光。
涂层厚度	50 μm12 mm，厚涂层（如 HVOF）耐磨，薄涂层（如等离子）	控制送粉速率（2050 g/min）、喷涂层数，均匀性偏

版权与免责声明

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

	适合精密件。	差<5%。
刃口半径	涂层增加刃口半径 0.010.05 mm，影响切削锋利度。	HVOF 或等离子喷涂薄层(<100 μm)，后珩磨刃口。
复杂几何	复杂曲面（如涡轮叶片）涂层均匀性挑战大。	采用机器人喷涂，优化喷枪轨迹，角度偏差<2°。

5. 应用场景

硬质合金热喷涂涂层因其高硬度和耐磨性，在多种行业中应用广泛：

行业	应用场景	典型涂层	性能提升
航空 航天	涡轮叶片、燃烧室、起落架涂层，抗高温氧化和磨损。	WCCo、WCCoCr	寿命延长 35 倍，耐温 800°C，表面质量 Ra 0.2 μm。
钢铁	轧辊、模具、喷嘴涂层，抗高温、磨损和腐蚀。	WCNi、WCCoCr	耐磨性提升 510 倍，减少停机时间 2030%。
汽车	发动机活塞、曲轴、刹车盘涂层，增强耐磨和耐腐蚀性。	WCCo、Cr3C2NiCr	寿命延长 24 倍，摩擦系数降至 0.20.4。
矿山	钻头、截齿、掘进机刀具涂层，抗冲击和磨损。	WCCo、WCNi	使用寿命 5002000 小时，效率提升 1525%。
能源	锅炉管道、泵阀、叶轮涂层，抗高温腐蚀和冲蚀。	WCCoCr、NiCrBSi	耐腐蚀性提升 10 倍，维护成本降低 30%。

6. 优缺点比较

类别	优点	缺点
硬质合金热喷涂	高硬度（HV 8001400），耐磨性提升 520 倍。 耐腐蚀、耐高温（400800°C）。 适用多种基体（钢、铜、铝）。 厚涂层（50 μm12 mm），适合修复和强化。	孔隙率（0.515%）可能影响密封性。 复杂几何件涂层均匀性难控制。 设备投资高（如 HVOF、等离子喷涂）。 后处理（如抛光）增加成本。

7. 发展趋势

趋势	技术方向	预期效果
新型材料	纳米结构 WCCo 涂层（晶粒<100 nm），硬度提升至 HV 1500，韧性提高 20%。	耐磨性提升 30%，寿命延长 2 倍。
工艺改进	高速空气燃料喷涂（HVOF），温度 19002500°C，孔隙率<0.5%。	涂层密度提高 20%，成本降低 15%。
智能化	机器人喷涂+AI 优化喷涂参数（喷距、速度误差<1%），提高均匀性。	涂层质量一致性提升 25%，生产效率提高 20%。
环保技术	低温等离子喷涂（<500°C），减少能源消耗；无毒粉末，降低环境污染。	能耗降低 20%，符合绿色制造标准。
复合涂层	WCCo+陶瓷（如 Al2O3、ZrO2）复合涂层，耐温 1000°C，耐磨性提升 40%。	适应更苛刻工况，应用范围扩大 30%。

硬质合金热喷涂技术通过火焰喷涂、等离子喷涂、HVOF 等工艺，将 WCCo、WCNi 等材料形成高硬度（HV 8001400）、耐磨（寿命提升 520 倍）和耐腐蚀的涂层，广泛应用于航

版权与免责声明

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

空航天、钢铁、汽车、矿山和能源行业。工艺流程包括基体前处理、材料准备、喷涂和后处理，优化几何参数（如表面粗糙度 $Ra\ 0.10.4\ \mu m$ 、涂层厚度 $50\ \mu m12\ mm$ ）可提升性能。未来，纳米材料、HVOF、低温工艺和智能化技术将推动硬质合金热喷涂在高性能、绿色制造领域的突破，为工业提供更高效、耐用的表面解决方案。



中钨智造科技有限公司

30 年硬质合金定制专家

核心优势

30 年经验：深谙硬质合金生产加工，技术成熟稳定，不断精进。

精准定制：支持特殊性能与复杂设计，重视客户+AI 协同设计。

质量成本：优化模具与加工，性价比卓越；领先设备，RMI、ISO 9001 认证。

服务客户

产品涵盖切削、工模具、航空、能源、电子等领域，已服务 10+万客户。

服务承诺

10+亿次访问、100+万网页、10+万客户、30 年 0 抱怨！

联系我们

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129696

官网：www.ctia.com.cn

微信：关注“中钨在线”



版权与法律声明

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

附录：

硬质合金激光熔覆技术及应用综述

硬质合金激光熔覆技术利用高能激光束将硬质合金材料（如碳化钨基合金）熔融并沉积于基体表面，形成高硬度、耐磨、耐腐蚀的涂层，广泛应用于航空航天、汽车、能源、矿山和模具制造等领域。

本文从技术原理、工艺流程、涂层性能、几何参数影响、应用场景、优缺点及发展趋势等方面，系统阐述硬质合金激光熔覆技术及其应用，为工业选择提供参考。

1. 技术原理与工艺分类

激光熔覆 (Laser Cladding) 是一种表面改性技术，通过激光束将硬质合金粉末或丝材熔化，与基体表面微熔区形成冶金结合的涂层。涂层具有低稀释率 (<510%)、高密度 (孔隙率<1%) 和优异性能。硬质合金 (如 WCCo、WCNi) 因其高硬度和耐磨性，是激光熔覆的常见材料。工艺分类包括：

工艺类型	原理	激光类型	送料方式	特点
粉末同步送料	激光束熔化同步送入的粉末，与基体表面形成熔池，快速冷却形成涂层。	CO2、纤维激光、半导体激光	气流或机械送粉	自动化程度高，无孔隙，适合复杂几何。
预置粉末熔覆	预先将粉末涂覆于基体，激光束扫描熔化形成涂层。	Nd:YAG、纤维激光	预置粉末层	工艺简单，但涂层均匀性稍差。
极高速激光熔覆 (EHLA)	超高扫描速度 (>20 m/min)，粉末在气流中预热，薄涂层快速沉积。	半导体激光	高速气流送粉	涂层薄 (20100 μm)，效率高。
线材熔覆	激光束熔化硬质合金线材，与基体表面结合。	纤维激光、盘式激光	线材送丝	材料利用率高，适合大面积涂层。

2. 硬质合金激光熔覆工艺流程

激光熔覆工艺涉及多步骤，确保涂层质量和性能。以下为典型流程：

2.1 基体前处理

目的：清洁和粗化基体表面，增强涂层附着力。

步骤：

清洗：用乙醇或丙酮超声清洗 515 分钟，去除油污和氧化物。

喷砂：用氧化铝砂粒喷砂，表面粗糙度 Ra 25 μm，提升机械嵌合。

激光清洗（可选）：用脉冲激光去除微观杂质，减少孔隙率。

2.2 喷涂材料准备

材料：硬质合金粉末（如 WCCo、WCCoCr、WCNi），粒径 1050 μm ，WC 含量 7090 wt%。

处理：

筛选：确保粉末粒径均匀，流动性好（流率 2040 g/s）。

干燥：120150°C 烘干 2 小时，去除水分，防止喷涂缺陷。

2.3 激光熔覆过程

设备设置

激光器：CO₂ 激光（110 kW）、纤维激光（120 kW）或半导体激光（210 kW）。

参数：激光功率 15 kW，扫描速度 0.53.5 m/min，送粉速率 1050 g/min，喷距 1020 mm。

气氛：氩气或氮气保护，防止氧化。

熔覆

激光束形成熔池（温度 10,00020,000°C），粉末或线材同步送入熔池。

熔池快速冷却（ 10^{510^6} K/s），形成冶金结合涂层，厚度 0.022 mm。

自动化系统（如六轴机器人）控制激光轨迹，均匀性偏差 <3%。

工艺优化：调整激光功率、扫描速度和送粉速率，控制稀释率（<10%）和孔隙率（<1%）。

2.4 后处理

目的：优化涂层表面质量，消除应力。

步骤：

抛光/研磨：用金刚石砂轮，表面粗糙度降至 Ra 0.050.2 μm 。

热处理（可选）：400600°C 退火，缓解残余应力，防止开裂。

质量检测：显微镜检查孔隙率、划痕测试附着力（>50 MPa）、硬度测试（HV 8001400）。

3. 涂层性能特性

硬质合金激光熔覆涂层以 WCCo、WCNi 为主，具有优异性能：

性能	典型值	说明
硬度	HV 8001400（WCCo 可达 HV 12001400）	高于基体（如钢 HRC 2040），耐磨性提升 515 倍。
孔隙率	<1%（EHLA 可达 0.30.5%）	低孔隙率提高涂层密度和耐腐蚀性。
附着力	50100 MPa（冶金结合）	优于热喷涂（机械嵌合），抗剥落性能强。
耐磨性	磨损率 0.0010.005 mm ³ /N·m（ASTM G65）	寿命为基体的 515 倍，适合高磨损工况。
耐腐蚀性	腐蚀速率 <0.01 mm/年（中性盐雾测试，pH 68）	WCCoCr 涂层耐酸碱（pH 410），适合海洋环境。
耐高温性	500900°C（WCCoCr 可达 900°C）	适合高温工况（如航空发动机、模具）。

4. 几何参数影响

激光熔覆涂层对刀具或部件几何参数（如表面粗糙度、涂层厚度）有显著影响，需优化工艺

参数：

几何参数	激光熔覆影响	优化策略
表面粗糙度	初始 Ra 0.52 μm ，后处理可降至 Ra 0.050.2 μm 。	提高扫描速度 ($>1.5\text{ m/min}$)、优化激光功率 ($<3\text{ kW}$)，后抛光。
涂层厚度	0.022 mm，薄涂层 (EHLA) 适合精密件，厚涂层适合耐磨件。	控制送粉速率 (1030 g/min)、层数，厚度偏差 $<3\%$ 。
刃口半径	涂层增加刃口半径 0.0050.03 mm，影响切削锋利度。	采用 EHLA 或薄层熔覆 ($<50\text{ }\mu\text{m}$)，后珩磨刃口。
复杂几何	复杂曲面（如涡轮叶片）涂层均匀性挑战大。	使用同轴送粉、机器人控制轨迹，角度偏差 $<1^\circ$ 。

5. 应用场景

硬质合金激光熔覆涂层因其高性能，在多个行业中应用广泛：

行业	应用场景	典型涂层	性能提升
航空航天	涡轮叶片、燃烧室、起落架修复，抗高温磨损和腐蚀。	WCCo、WCCoCr	寿命延长 36 倍，耐温 900°C ，表面质量 Ra 0.1 μm 。
汽车	刹车盘、曲轴、模具涂层，减少磨损和细尘排放。	WCCo、WCNi	耐磨性提升 510 倍，细尘排放降低 3050%。
能源	锅炉管道、泵阀、钻井工具涂层，抗冲蚀和腐蚀。	WCCoCr、NiCrBSi	耐腐蚀性提升 10 倍，维护成本降低 2030%。
矿山	钻头、截齿、掘进机刀具涂层，抗冲击和磨损。	WCCo、WCNi	使用寿命 5002000 小时，效率提升 20%。
模具制造	冲压模、注塑模表面强化，延长使用寿命。	WCCo、Stellite 6	模具寿命延长 25 倍，表面硬度 HV 10001200。

案例：

刹车盘涂层：WCCo 涂层通过 EHLA 工艺，厚度 50100 μm ，细尘排放降低 40%，耐磨性提升 5 倍，优于传统镀铬（Web ID 3）。

涡轮叶片修复：WCCoCr 涂层，硬度 HV 1200，耐温 900°C ，寿命延长 3 倍，修复成本降低 50%（Web ID 4, 5）。

6. 优缺点比较

类别	优点	缺点
硬质合金激光熔覆	高硬度 (HV 8001400)，耐磨性提升 515 倍。 冶金结合，附着力强 (50100 MPa)。 低稀释率 ($<10\%$)，基体性能不变。 适合复杂几何和修复，自动化程度高。	设备成本高（激光器投资 100500 万元）。 对操作精度要求高，需专业人员。 涂层厚度受限 ($<2\text{ mm}$)，不适合超厚涂层。 可能存在微裂纹，需优化参数。

7. 发展趋势

趋势	技术方向	预期效果
新型材料	纳米 WCCo 涂层（晶粒 $<50\text{ nm}$ ），硬度 HV 1500，韧性提高 30%。	耐磨性提升 40%，寿命延长 2 倍。

工 艺 改 进	EHLA 工艺，扫描速度 50100 m/min，涂层厚度 20100 μm。	效率提高 50%，成本降低 20%。
智能化	AI 优化熔覆参数（功率、速度误差<1%），实时监控熔池动态。	涂层质量一致性提升 30%，缺陷率降低 50%。
环 保 技 术	绿色激光器（能耗降低 20%），无毒粉末，减少废气排放。	符合绿色制造标准，环境污染降低 30%。
复 合 涂 层	WCCo+高熵合金（CoCrFeMnNi），耐温 1000°C，耐腐蚀性提升 50%。	适应极端工况，应用范围扩大 40%。

8. 结论

硬质合金激光熔覆技术通过粉末同步送料、预置粉末、EHLA 等工艺，将 WCCo、WCNi 等材料形成高硬度（HV 8001400）、耐磨（寿命提升 515 倍）和耐腐蚀的涂层，广泛应用于航空航天、汽车、能源、矿山和模具制造。工艺流程包括基体前处理、材料准备、熔覆和后处理，优化几何参数（如表面粗糙度 Ra 0.050.2 μm、厚度 0.022 mm）可提升性能。与热喷涂相比，激光熔覆具有冶金结合、低稀释率和精密控制优势，但设备成本较高。未来，纳米材料、EHLA、智能化和绿色技术将推动硬质合金激光熔覆在高性能、环保制造领域的突破，为工业提供高效、可靠的表面解决方案。



附录：



什么是硬质合金球齿？

硬质合金球齿是一种高性能耐磨组件，以碳化钨（WC）为核心材料，通过先进粉末冶金工艺制造，专为高磨损、高冲击和腐蚀的工业环境设计。凭借卓越的硬度、耐磨性、耐高温性和抗腐蚀性，硬质合金球齿广泛应用于矿山开采、隧道掘进、建筑工程、能源勘探、道路施工等领域。它能够在极端工况下有效抵抗磨料磨损和冲击载荷，显著延长设备部件的使用寿命，降低维护频率。本文从材料特性、种类与技术指标、制造工艺、用途与应用场景、产品优势、技术挑战与改进方向等方面，全面介绍硬质合金球齿的性能与价值。

1. 硬质合金球齿材料组成与特性

1.1 硬质合金球齿材料组成

硬质合金球齿的配方经过精密设计，以实现硬度、韧性和耐腐蚀性的最佳平衡：

硬质相

碳化钨（WC，80-95%），提供超高硬度和耐磨性。部分配方掺杂碳化钛（TiC，15%）或碳化钽（TaC，0.5-2%），提升高温稳定性和抗氧化性能。

粘结相

钴（Co，5-15%），增强韧性和抗冲击能力；镍（Ni，5-10%）用于耐腐蚀配方，适合酸性或潮湿环境。

添加剂

微量铬（Cr，0.1-1%）、钒（V，0.05-0.5%）、钼（Mo，0.1-0.8%），用于细化晶粒、抑制晶粒生长并提高抗腐蚀和抗高温氧化能力。

版权与法律责任声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024 版
www.ctia.com.cn

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

1.2 硬质合金球齿关键特性

硬质合金球齿的性能源于其优化的微观结构和材料配方：

硬度

HRA 86-92 (HV 1200-1700)，远超高锰钢 (HRC 20-50) 或高铬铸铁 (HRC 50-60)，适合抵抗高磨料磨损。

断裂韧性

6.5-10 MPa m^{1/2}，优于普通硬质合金 (57 MPa m^{1/2})，抗冲击断裂能力提升 30%。

耐磨性

磨损率 0.01-0.02 mm³/N m (ASTM G65)，比高铬铸铁低 1.52 倍，使用寿命延长 310 倍。

压缩强度

4000-6000 MPa，耐受高冲击载荷（最大冲击力可达 5000 N）。

密度

13.8-15.2 g/cm³，重量适中，适合镶嵌或钎焊。

耐腐蚀性

在中性或弱酸性环境 (pH 4-9) 下，腐蚀速率 < 0.07 mm/年；镍基配方或涂层可耐 pH 2-10，腐蚀速率 < 0.05 mm/年。

耐高温性

工作温度 20°C 至 800°C，涂层配方可耐瞬时 1000°C，适合高温磨损场景。

1.3 硬质合金球齿微观结构优势

硬质合金球齿采用细晶 (0.52 微米) 或超细晶 (0.20.5 微米) 结构，带来以下优势：

高硬度与强度：细小晶粒增加晶界密度，遵循霍尔佩奇效应，提升抗磨损能力。

优异韧性：晶粒细化分散应力，降低裂纹扩展风险，抗冲击性能提高 20-30%。

耐磨稳定性：减少磨损剥落，保持表面完整，延长使用寿命。

2. 硬质合金球齿种类与技术指标

硬质合金球齿的种类丰富，涵盖多种几何形状和用途，以下为全面分类、技术指标及用途表列（参考 ISO 标准、ASTM 规范及制造商数据）。

2.1 硬质合金球齿种类及用途表

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格
----	----	-----------	------

版权与法律责任声明

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

球形齿	标准球形设计，接触面积大，适合高磨损工况。	掘进机（盾构刀盘）、旋挖钻机（桩基）、采煤机（截齿），用于岩石、煤层、砂砾挖掘。	直径 830 mm，高度 1040 mm，HRA 8689，寿命 20006000 小时。
锥形齿	锥形尖端，穿透力强，适合硬岩破碎。	凿岩机（硬岩钻进）、掘进机（坚硬地层）、旋挖钻机（岩层桩基），用于花岗岩、玄武岩挖掘。	直径 625 mm，高度 1550 mm，HRA 8992，寿命 10004000 小时。
楔形齿	楔形切削刃，适合高冲击和剪切工况。	采煤机（煤层截割）、掘进机（软岩）、路面铣刨机（沥青层），用于煤层、软岩、沥青铣刨。	直径 1030 mm，高度 1540 mm，HRA 8689，寿命 15005000 小时。
扁平齿	平顶设计，耐磨性强，适合连续磨损环境。	掘进机（黏土、砂层）、旋挖钻机（软土桩基）、采煤机（薄煤层），用于黏土、砂砾、软土挖掘。	直径 1035 mm，高度 1035 mm，HRA 8689，寿命 20006000 小时。
柱形齿	圆柱形结构，平衡耐磨与韧性，适合中等硬度地层。	掘进机（中硬岩）、旋挖钻机（混合地层）、采煤机（中等煤层），用于砂岩、页岩挖掘。	直径 825 mm，高度 1540 mm，HRA 8790，寿命 20005000 小时。
蘑菇齿	半球形顶部，抗冲击性强，适合高频冲击。	凿岩机（硬岩冲击）、掘进机（断裂带）、采煤机（硬夹矸），用于硬岩、夹矸煤层挖掘。	直径 620 mm，高度 1535 mm，HRA 8992，寿命 10004000 小时。
截齿用球齿	专为截齿设计，优化切削效率和耐磨性。	采煤机（综合采煤）、掘进机（煤岩混合层）、掘锚机（巷道掘进），用于煤层、煤岩混合地层挖掘。	直径 1030 mm，高度 1540 mm，HRA 8689，寿命 20006000 小时。
旋挖齿	专为旋挖钻机设计，适合多种地层。	旋挖钻机（桩基施工）、基础工程（桥梁、地铁），用于黏土、砂砾、软岩、硬岩桩基施工。	直径 1035 mm，高度 2050 mm，HRA 8790，寿命 15005000 小时。
铣刨齿	优化铣刨效率，适合路面修复。	路面铣刨机（沥青、混凝土路面）、冷再生机（路面翻新），用于沥青、混凝土铣刨。	直径 825 mm，高度 1535 mm，HRA 8689，寿命 10004000 小时。
潜孔钻齿	高强度设计，适合深孔冲击钻进。	潜孔钻机（矿山爆破）、地质勘探（岩芯采样）、隧道施工（硬岩），用于花岗岩、玄武岩钻进。	直径 620 mm，高度 1540 mm，HRA 8992，寿命 10003000 小时。
牙轮钻齿	专为牙轮钻头设计，耐受极端冲击和磨损。	石油钻井（深井钻进）、天然气勘探（硬地层）、矿山开采（硬岩），用于硬岩、页岩钻进。	直径 825 mm，高度 1035 mm，HRA 8992，寿命 10004000 小时。
盾构刀齿	专为盾构机设计，适合复杂地层。	盾构机（地铁、隧道）、掘进机（城市地下工程），用于黏土、砂砾、软岩、硬岩掘进。	直径 1030 mm，高度 1540 mm，HRA 8790，寿命 20006000 小时。

2.2 硬质合金球齿技术指标

尺寸

直径：6-35 mm（常用 8-30 mm）。
高度：10-50 mm（常用 15-40 mm）。
公差：±0.05 mm（高精度加工）。

重量

单件 0.05-0.5 kg，适于镶嵌或钎焊。

表面粗糙度：

Ra 0.4-1.2 μm，减少物料粘附和摩擦。

硬度等级：

版权与免责声明

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

标准：HRA 86-89（通用掘进、采煤）。
高硬度：HRA 89-92（硬岩、石油钻井）。

材料配方：

WCCo（通用型）：钴含量 6-12%，HRA 87-91，韧性高。

WCNi（耐腐蚀型）：镍含量 5-10%，耐酸碱环境。

WCTiCTaC（高温型）：耐温 800-1000°C。

冲击频率：

50-150 Hz（凿岩、潜孔钻）。

10-50 Hz（掘进、采煤）。

安装方式：

钎焊：高温钎焊（900-1100°C），结合强度>200 MPa。

机械镶嵌：冷压或热压，安装时间<10 分钟。

螺栓固定：用于可拆卸部件。

表面处理：

抛光：Ra 0.20.8 μm ，增强抗疲劳性能。

涂层：

TiN：硬度 HV 2000-2500，耐磨性提升 2 倍。

TiAlN：耐温 900°C，适合高温掘进。

AlCrSi/TiN：耐温 1000°C，寿命延长 3 倍。

DLC：摩擦系数 0.10.2，适合砂砾地层。

工作参数：

工作压力：10-100 MPa（掘进、钻井）。

旋转速度：50-300 rpm（掘进机、旋挖钻机）。

冲击能量：100-500 J（凿岩、潜孔钻）。

标准符合性：

ISO 9001 质量管理体系。

ASTM B771（磨损测试）、ISO 3878（硬度测试）。

3. 制造工艺

硬质合金球齿的制造采用先进的粉末冶金技术，确保材料性能、几何精度和表面质量达到顶级标准。

3.1 原料准备

选用高纯度碳化钨（WC，纯度>99.95%）、钴（Co，纯度>99.9%）及添加剂（如 TiC、TaC、

版权与免责声明

Cr)。通过湿磨工艺（介质为酒精或去离子水，球磨 2472 小时）混合粉末，平均粒径控制在 0.21 微米。添加 VC 或 Cr₃C₂ (0.10.5%) 作为晶粒抑制剂，防止高温烧结中晶粒长大。

3.2 成型

喷雾干燥：制备流动性颗粒，提高生坯均匀性和强度。

冷等静压（CIP）：粉末在 200-400 MPa 下压制成生坯，密度 5060%理论值。

精密模压：高精度模具（公差±0.1 mm）用于成型球形、锥形或其他几何形状。

3.3 烧结

预烧结

900-1100°C，去除有机添加剂。

热等静压烧结（HIP）

1350-1500°C，100-200 MPa，氩气环境，烧结 24 小时，致密度 99.8-100%。

冷却控制

渐进式冷却（1020°C/分钟），避免热应力导致微裂纹。

3.4 后处理

精密磨削

使用金刚石砂轮或 CBN 工具，加工至公差±0.05 mm，表面粗糙度 Ra 0.41.2 μm。

表面强化

喷砂、抛光或涂层（TiN、TiAlN、AlCrSi/TiN、DLC）提升耐磨性和耐热性。

质量检测

硬度测试：HRA/HV，误差±0.5。

显微结构分析：扫描电镜（SEM）检查晶粒尺寸（0.22 μm）。

尺寸测量：三次元测量仪，精度±0.005 mm。

无损探伤：超声检测，排查内部缺陷。

4. 用途与应用场景

硬质合金球齿凭借其卓越的耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性，在以下领域和场景中广泛应用：

4.1 矿山与采石

硬质合金掘进机截齿

用于掘进机刀盘，钻削砂岩、页岩、花岗岩，寿命 2000-6000 小时，维护周期 1224 个月，应用于露天矿、地下矿。

硬质合金采煤机截齿

用于综合采煤，切削煤层、夹矸，寿命 2000-6000 小时，适合长壁采煤、薄煤层开采。

硬质合金凿岩与潜孔钻进

用于凿岩机、潜孔钻机，钻削硬岩、玄武岩，寿命 1000-4000 小时，应用于矿山爆破、地质勘探。

硬质合金牙轮钻头

用于石油、天然气钻井，钻削硬岩、页岩，寿命 1000-4000 小时，适合深井钻进。

4.2 隧道与基础工程

硬质合金盾构机刀具

用于地铁、隧道掘进，切削黏土、砂砾、软岩、硬岩，寿命 2000-6000 小时，应用于城市地下工程。

硬质合金旋挖钻机桩基球齿

用于桥梁、地铁桩基施工，挖掘黏土、砂砾、岩层，寿命 1500-5000 小时，适合复杂地层。

硬质合金掘锚机巷道掘进球齿

用于煤矿巷道、隧道掘进，切削煤岩混合层，寿命 2000-5000 小时。

4.3 建筑与道路施工

路面铣刨机

用于沥青、混凝土路面铣刨，寿命 1000-4000 小时，应用于高速公路、机场跑道修复。

冷再生机

用于路面翻新，切削旧路面材料，寿命 1500-4000 小时，适合道路养护。

混凝土破碎

用于拆除钢筋混凝土结构，寿命 1000-3000 小时，应用于建筑拆除。

4.4 能源与地质勘探

石油天然气钻井

用于牙轮钻头，钻削硬岩、页岩，寿命 1000-4000 小时，应用于深井、水平井。

地质勘探

用于岩芯采样，钻削花岗岩、玄武岩，寿命 1000-3000 小时，适合矿产勘查。

地热钻井

版权与法律责任声明

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

用于地热井钻进，切削高温地层，寿命 1000-4000 小时，耐温 800°C。

4.5 其他特殊用途

港口与海洋工程

用于疏浚设备，切削海底砂砾、黏土，寿命 2000-5000 小时，抗海水腐蚀（pH 68），应用于航道疏浚。

林业与农业

用于木材破碎机、土壤翻耕设备，切削硬木、砂砾，寿命 1500-4000 小时，适合林业采伐、土地开垦。

铁路施工

用于道碴破碎机，切削道碴、岩石，寿命 2000-5000 小时，应用于高铁建设。

5. 产品优势

硬质合金球齿以其卓越性能在耐磨组件市场中占据领先地位：

超长寿命

耐磨性和硬度使寿命延长 310 倍，单次使用成本降低 3060%。

高效切削

支持高冲击（100-500 J）和旋转速度（50-300 rpm），挖掘效率提升 2050%。

高可靠性

压缩强度 4000-6000 MPa，耐受极端冲击和磨损，减少设备停机。

灵活定制

多样化种类（球形、锥形、楔形等）、尺寸（直径 635 mm）和涂层（TiN、TiAlN），适配不同工况。

环境适应性

耐高温（800-1000°C）、耐腐蚀（pH 210），适应硬岩、黏土、潮湿环境。

绿色制造

高耐用性减少部件更换和废弃物，符合可持续发展目标。

6. 技术挑战与改进方向

6.1 技术挑战

加工难度

版权与免责声明

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

硬质合金硬度高（HRA 8692），对加工设备和工具要求极高，金刚石砂轮或 CBN 工具磨损快，加工精度难以稳定（公差 $\leq \pm 0.05\text{ mm}$ ）。

脆性风险

高硬度材料在高冲击（ $>500\text{ J}$ ）或不当安装下可能产生微裂纹或崩裂，影响寿命。

热管理问题

高温掘进（ $>800^\circ\text{C}$ ）可能导致粘结相软化或涂层剥落，特别是在硬岩地层中。

复杂地层适应性

混合地层（黏土、硬岩、砂砾）对球齿几何和材料要求高，易出现快速磨损或断裂。

极端工况局限

超高温（ $>1000^\circ\text{C}$ ）或强酸环境（ $\text{pH}<2$ ）下，传统涂层和粘结相性能下降，寿命缩短 5070%。

6.2 技术改进方向

先进加工技术

开发激光微加工和电火花加工，精度提升至 $\pm 0.03\text{ mm}$ ，工具磨损降低 30%，适合复杂几何（如锥形、楔形齿）。

韧性增强设计

采用梯度结构（表面高硬 HRA 90-92，内部高韧断裂韧性 $>10\text{ MPa m}^{1/2}$ ）或 CoNi 复合粘结相，抗冲击性提高 20-30%，减少崩裂风险。

高效热管理

研发自适应涂层（如 TiAlN/AlCrSi，耐温 1100°C ，厚度 $25\text{ }\mu\text{m}$ ），减少热软化；优化齿体散热设计，降低工作温度 $100\text{-}150^\circ\text{C}$ 。

复杂地层优化

设计多功能几何（如球锥复合齿，切削角优化至 $15^\circ\text{-}30^\circ$ ），提高砂砾硬岩切换适应性；开发 PCD（多晶金刚石）镶嵌齿，硬度提升至 HV 8000，寿命延长 20 倍。

极端工况适配

研发纳米多层涂层（如 AlCrSi/TiN，硬度 HV 3500）或陶瓷基复合材料（WCSiC），耐温提升至 1200°C ，耐强酸（ $\text{pH } 12$ ）腐蚀速率 $<0.03\text{ mm/年}$ 。

智能化设计

利用 AI 模拟冲击力（误差 $<5\%$ ）和磨损行为，优化齿形（球形半径误差 $<0.05\text{ mm}$ ）和安装角度（偏差 $<1^\circ$ ），提高切削稳定性；开发自诊断球齿，实时监测磨损和温度，延长寿命 10-20%。

7. 结论

硬质合金球齿以其高硬度(HRA 8692)、优异韧性($6.510 \text{ MPa m}^{1/2}$)和超长寿命(10006000小时)成为矿山开采、隧道掘进、建筑工程、能源勘探、道路施工等领域的关键耐磨组件。其丰富种类(球形齿、锥形齿、楔形齿、旋挖齿等)和精确规格(直径 635 mm , 公差 $\pm 0.05 \text{ mm}$)满足从软土挖掘到硬岩钻进的多样化需求。技术指标显示,其寿命为传统材料的310倍,切削效率提升2050%,耐受极端冲击和磨损。通过先进粉末冶金工艺和涂层技术(如TiAlN、DLC),球齿在高温(8001000°C)、腐蚀($\text{pH}210$)等苛刻环境中表现出色。未来,通过激光加工、PCD 镶嵌、纳米涂层、AI 优化和智能化设计,硬质合金球齿将进一步提升性能,拓展应用场景,为全球工业的高效、可靠和可持续发展提供坚实支持。



附件:



硬质合金截齿详细介绍

硬质合金截齿是一种高性能切削工具，广泛应用于矿山开采、隧道掘进、道路建设、煤炭采掘和地质勘探等领域。它以碳化钨（WC）等硬质合金材料为核心，通过精密制造工艺制成，具有超高硬度、优异耐磨性和抗冲击能力，能够高效切削岩石、煤层、混凝土等硬质材料。硬质合金截齿以其长寿命和高效性能显著提升掘进设备和采掘机械的运行效率，降低维护成本。以下从材料特性、基本规格、制造工艺、用途与应用场景、优势、挑战与解决方案以及未来发展等方面，全面介绍硬质合金截齿。

1. 材料组成与特性

1.1 组成

硬质合金截齿的材料配方经过优化，以平衡硬度、韧性和耐腐蚀性：

硬质相

碳化钨（WC，80-95%），提供卓越的硬度和耐磨性。部分配方加入碳化钛（TiC，15%）或碳化钽（TaC，0.5-2%），增强高温稳定性和抗氧化性。

粘结相

版权与法律责任声明

钴（Co，5-15%）是主要粘结剂，提升韧性和抗冲击能力。镍（Ni，5-10%）在特定配方中用于提高耐腐蚀性，适合潮湿或酸性环境。

添加剂

微量铬（Cr，0.1-1%）、钒（V，0.05-0.5%）或钼（Mo，0.1-0.8%），用于细化晶粒、抑制晶粒生长并增强抗腐蚀和抗高温氧化能力。

1.2 关键特性

硬质合金截齿的性能得益于其优化的微观结构：

硬度

HRA 8591（HV 1100-1600），远超高锰钢（HRC 20-50）或高铬铸铁（HRC 50-60），适合切削高硬度岩石和煤层。

断裂韧性

610 MPa m^{1/2}，优于普通硬质合金（57 MPa m^{1/2}），在高冲击下不易断裂。

耐磨性

磨损率 0.015-0.025 mm³/N m（ASTM G65），比高铬铸铁低 1.52 倍。

压缩强度

3500-5500 MPa，耐受高负载切削力。

密度

13.5-15.0 g/cm³，平衡强度与重量。

耐腐蚀性

在中性或弱酸性环境（pH 4-9）下，腐蚀速率 < 0.08 mm/年；镍基配方可耐 pH 11-12。

耐温性

工作温度 20°C 至 700°C，部分配方可短暂耐 900°C，适合高温掘进环境。

1.3 微观结构优势

硬质合金截齿通常采用细晶（0.52 微米）或超细晶（0.2-0.5 微米）结构，相较于传统硬质合金（25 微米），其优势包括：

增强硬度：细小晶粒增加晶界面积，提升抗变形和耐磨性。

提高韧性：晶粒细化分散应力，减少裂纹扩展风险。

切削稳定性：细晶结构减少磨损剥落，保持切削刃锋利，延长寿命。

2. 基本规格

版权与法律责任声明

硬质合金截齿的规格多样，以下为常见规格及参数（参考行业标准和制造商数据）：

几何形状：

圆锥形：最常见，适合掘进机和采煤机，切削效率高。

子弹头形：用于高硬度岩层，增强穿透力。

平顶形：用于煤层或软岩，减少切削阻力。

刀形或凿形：用于特殊掘进或破碎需求。

尺寸：

直径（齿头）：8-50 mm（常见 20-35 mm）。

长度（整体）：50-150 mm（常见 80-120 mm）。

公差： ± 0.05 mm（高精度加工）。

重量：

单件 0.1-1.5 kg，适于镶嵌或机械固定。

表面粗糙度：

Ra 0.4-1.0 μ m，减少摩擦和物料粘附。

硬度等级：

标准：HRA 85-88（煤层、软岩）。

高硬度：HRA 88-91（硬岩、花岗岩）。

材料配方：

WCCo（通用型）：钴含量 6-12%，HRA 86-90，韧性高。

WCNi（耐腐蚀型）：镍含量 5-10%，适合潮湿环境。

WCTiCTaC（高温型）：耐温 700-900°C。

安装方式：

镶嵌固定：嵌入齿座，结合强度 >150 MPa。

钎焊：高温钎焊（900-1100°C），结合强度 >200 MPa。

机械夹紧：快速更换，适合高频维护场景。

表面处理：

抛光：Ra 0.2-0.4 μ m，增强抗疲劳性能。

涂层：TiN（硬度 HV 2000-2500）、TiAlN（耐温 900°C）、DLC（摩擦系数 0.1-0.2）。

标准符合性：

ISO 9001 质量管理体系。

ASTM B771（磨损测试）、ISO 3878（硬度测试）。

典型产品示例：

版权与免责声明

采煤机截齿：直径 25-35 mm，长度 90-120 mm，HRA 86-89，寿命 3000-6000 小时。

掘进机截齿：直径 20-40 mm，长度 80-100 mm，HRA 88-91，适合硬岩。

旋挖机截齿：直径 15-30 mm，长度 70-100 mm，HRA 85-88，耐冲击。

3. 制造工艺

硬质合金截齿的制造依赖粉末冶金技术，确保性能、精度和表面质量。

3.1 原料准备

采用高纯度碳化钨（WC，纯度>99.95%）、钴（Co，纯度>99.9%）及其他添加剂（如 TiC、TaC）。粉末通过湿磨工艺（酒精或去离子水，球磨 2472 小时）混合，平均粒径控制在 0.21 微米。添加 VC 或 Cr3C2（0.10.5%）作为晶粒抑制剂。

3.2 成型

冷等静压（CIP）

粉末在 200-400 MPa 下压制生坯，密度 50-60% 理论值。

精密模压

高精度模具（公差±0.1 mm）用于复杂形状，如圆锥或子弹头。

喷雾干燥

制备流动性颗粒，提高生坯均匀性。

3.3 烧结

预烧结

900-1100°C，去除有机添加剂。

热等静压烧结（HIP）

1350-1500°C，100-200 MPa，氩气环境，烧结 24 小时，致密度 99.8-100%。

冷却控制

渐进式冷却（10-20°C/分钟），避免热应力裂纹。

3.4 后处理

精密磨削

金刚石砂轮加工，公差±0.05 mm，粗糙度 Ra 0.4-1.0 μm。

表面强化

喷砂、抛光或涂层（TiN、TiAlN、DLC）提升耐磨性和耐热性。

质量检测

硬度测试（HRA/HV）、显微结构分析（SEM）、尺寸测量（三次元测量仪）、无损探伤（超声）。

4. 用途与应用场景

硬质合金截齿因其卓越的耐磨性、抗冲击性和切削效率，在以下领域和场景中广泛应用：

4.1 矿山与煤炭采掘

综合采煤

用于采煤机的滚筒截齿，切削煤层和夹矸（硬度 $<100\text{ MPa}$ ），寿命 3000-6000 小时，适用于长壁采煤和综采工作面。

掘进机截齿

在隧道掘进机（TBM）或掘进机上，切削砂岩、花岗岩（硬度 $100\text{-}200\text{ MPa}$ ），寿命 2000-4000 小时，应用于矿山巷道和隧道施工。

露天采矿

用于旋挖机或连续采矿机，切削铁矿、铜矿等硬质矿石，耐受高冲击和磨损。

4.2 隧道与地下工程

盾构机截齿

在盾构机刀盘上，切削土层、岩层或混合地层，耐受高扭矩和磨损，应用于地铁、铁路隧道和 underwater 隧道。

硬岩掘进

用于硬岩掘进机（HRM），切削花岗岩、玄武岩，寿命比钢制截齿长 46 倍。

锚杆钻机

辅助钻孔和支护，耐受岩石磨损，适用于地下工程稳定。

4.3 道路建设与基础工程

旋挖钻机

用于桩基施工，切削混凝土、碎石或软岩，寿命 4000-7000 小时，应用于桥梁、高层建筑基础。

路面铣刨

在铣刨机上，切削沥青或混凝土路面，耐受高温和磨损，适用于道路修复。

连续墙施工

用于抓斗或液压铣槽机，切削土层和岩层，应用于深基坑和防渗墙。

4.4 地质勘探与能源开发

地质钻探

用于岩芯钻机，切削硬岩层获取地质样本，耐受高扭矩和磨损。

石油天然气

在钻井机或牙轮钻头上，切削深层岩石，耐受高温高压和腐蚀性环境。

地热开发

用于地热井钻探，切削高温岩层，耐温 700°C 。

4.5 其他特殊用途

港口与海洋工程

在疏浚设备上，切削海底砂石或珊瑚礁，耐受海水腐蚀和磨损。

林业与农业

用于林业开垦机或土地平整设备，切削硬土和树根。

军工与特殊工程

在军事工程机械或特殊掘进设备中，切削高强度材料，满足高可靠性要求。

5. 优势

硬质合金截齿以其独特性能在工业应用中占据重要地位：

超长寿命

耐磨性和硬度使寿命延长 36 倍，减少更换频率。

高效切削

高硬度和韧性支持高速切削，掘进效率提升 20-40%。

高性价比

初始成本高，但投资回报期 6-18 个月，综合成本降低 30-50%。

灵活定制

多样化形状、尺寸和配方，满足不同地质和工况需求。

环境适应性

耐磨、耐腐蚀、耐高温，适应从潮湿煤层到高温岩层的复杂环境。

绿色制造

高耐用性减少材料消耗，符合可持续发展趋势。

6. 挑战与解决方案

6.1 挑战

高制造成本：高纯度原料和精密工艺导致成本较高。

加工难度：超高硬度增加加工复杂性，金刚石工具磨损快。

冲击断裂风险：高硬度材料在极端冲击下可能崩裂。

极端工况局限：超高温（>900°C）或强酸（pH<2）下性能下降。

6.2 解决方案

成本优化：优化配比和烧结参数，降低消耗 10-20%；采用自动化生产减少人工成本。

加工改进：引入激光加工或电火花加工，提升效率 30%，延长工具寿命 2 倍。

韧性增强：通过梯度结构或新型粘结相（如 CoNi 合金），提高抗冲击性 20-30%。

性能提升：开发新型涂层（如 AlCrSi/TiN，耐温 1000°C）或复合材料，适应苛刻工况。

7. 未来发展

版权与法律责任声明

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

硬质合金截齿以其高硬度（HRA 85-91）、优异韧性（ $610 \text{ MPa m}^{1/2}$ ）和超长寿命（2000-7000 小时）成为矿山、隧道、道路建设、地质勘探和能源开发领域的理想切削工具。其多样化规格（直径 8-50 mm，长度 50-150 mm）和精密制造工艺满足从软煤层到硬岩层的广泛需求。技术数据表明，其寿命为传统钢制截齿的 36 倍，综合成本降低 30-50%。

展望未来，硬质合金截齿的发展将聚焦以下方向：

智能化制造

引入 AI 和大数据优化配方和工艺，性能预测精度 >99%，生产效率提升 20%。

新型材料

探索石墨烯涂层（摩擦系数 0.05）、多晶金刚石（PCD，寿命提升 15 倍）或陶瓷复合材料，增强耐磨性和耐高温性。

绿色生产

开发回收技术，提高废旧截齿回收率至 85%，减少资源消耗。

模块化设计

推出快速更换截齿模块，缩短维护时间 50%，提升掘进效率。

随着材料科学和制造技术的进步，硬质合金截齿将在智能掘进、绿色采矿和高效工程中发挥更大作用，为全球工业的可持续发展提供强劲动力。



附录：

什么是硬质合金钻头？

硬质合金钻头是一种高性能切削工具，以碳化钨（WC）为核心材料，通过先进粉末冶金工艺制造，专为高硬度、高强度材料的钻孔需求设计。凭借卓越的硬度、耐磨性、耐高温性和抗腐蚀性，硬质合金钻头广泛应用于金属加工、矿山开采、建筑工程、能源工业、航空航天、汽车制造、电子精密制造等领域。它能够高效钻削硬质钢、不锈钢、钛合金、铸铁、陶瓷、复合材料等，显著提升加工效率、精度和工具寿命。本文从材料特性、种类与技术指标、制造工艺、用途与应用场景、产品优势、技术挑战与改进方向等方面，全面介绍硬质合金钻头的性能与价值。

1. 硬质合金钻头材料组成与特性

1.1 硬质合金钻头材料组成

硬质合金钻头的配方经过精密设计，以实现硬度、韧性和耐腐蚀性的最佳平衡：

硬质相

碳化钨（WC，80-95%），提供超高硬度和耐磨性。部分配方掺杂碳化钛（TiC，1-5%）或碳化钽（TaC，0.5-2%），提升高温稳定性和抗氧化性能。

粘结相

钴（Co，5-15%），增强韧性和抗冲击能力；镍（Ni，5-10%）用于耐腐蚀配方，适合酸性或潮湿环境。

添加剂

微量铬（Cr，0.1-1%）、钒（V，0.05-0.5%）、钼（Mo，0.1-0.8%），用于细化晶粒、抑制晶粒生长并提高抗腐蚀和抗高温氧化能力。

1.2 硬质合金钻头关键特性

硬质合金钻头的性能源于其优化的微观结构和材料配方：

硬度

HRA 86-92（HV 1200-1700），相比高速钢（HSS，HRC 60-65）高出 23 倍，适合钻削硬度高达 HRC 60 的材料。

断裂韧性

6.510 MPa·m^{1/2}，优于普通硬质合金（5.7 MPa·m^{1/2}），抗冲击断裂能力提升 30%。

耐磨性

磨损率 0.01-0.02 mm³/N·m（ASTM G65），比高铬铸铁低 1.52 倍，切削寿命延长 310 倍。

压缩强度

4000-6000 MPa，耐受高负载切削力（最大切削力可达 5000 N）。

密度

13.8-15.2 g/cm³，重量适中，适合高速旋转。

耐腐蚀性

在中性或弱酸性环境（pH 4-9）下，腐蚀速率 < 0.07 mm/年；镍基配方或涂层可耐 pH 2-10，

版权与免责声明

腐蚀速率<0.05 mm/ 年。

耐温性

工作温度 20℃ 至 800℃，涂层配方可耐瞬时 1000℃，适合干式或高温加工。

1.3 硬质合金钻头微观结构优势

硬质合金钻头采用细晶（0.52 微米）或超细晶（0.2-0.5 微米）结构，带来以下优势：

高硬度与强度：细小晶粒增加晶界密度，遵循霍尔佩奇效应，提升抗磨损能力。

优异韧性：晶粒细化分散应力，降低裂纹扩展风险，抗冲击性能提高 20-30%。

切削稳定性：减少磨损剥落，保持切削刃锋利，延长加工精度和寿命。

2. 硬质合金钻头种类与技术指标

硬质合金钻头的种类极为丰富，涵盖多种几何形状、用途和加工需求。以下为全面分类、技术指标及用途表列（参考 ISO 标准、ASTM 规范及制造商数据）。

2.1 硬质合金钻头种类及用途表

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格
直柄麻花钻 Twist Drill	标准螺旋槽设计，通用型切削工具，适合多种材料。	汽车制造（缸体、曲轴）、机械加工（齿轮、轴承）、模具制造（模具钢），钻削钢、铸铁、铝合金。	直径 1-30 mm，长度 50-150 mm，点角 118°/135°，HRA 8790，寿命 2000-5000 孔。
锥形钻 Taper Drill	锥形刀体，优化深孔切削屑排出，适合高深度钻孔。	航空航天（钛合金部件）、石油钻具（套管）、模具制造（深孔模具），钻削钛合金、不锈钢、合金钢。	直径 5-30 mm，长度 100-300 mm，点角 135°，HRA 89-92，寿命 1000-3000 孔。
阶梯钻 Step Drill	多级直径设计，一次完成多尺寸孔加工，减少工序。	汽车制造（薄板螺栓孔）、管道安装（法兰）、建筑（钢板），钻削薄板钢、铝、不锈钢。	直径 4-40 mm，长度 50-120 mm，点角 118°，HRA 86-89，寿命 1500-4000 孔。
中心钻 Center Drill	短而刚性，加工定位孔，确保后续钻孔精度。	机械加工（CNC 定位）、模具制造（精确定位）、航空航天（高精度零件），钻削钢、不锈钢、合金钢。	直径 1-10 mm，长度 30-60 mm，点角 60°/90°，HRA 87-90，寿命 3000-6000 孔。
微型钻 Micro Drill	超小直径，专为高精度微孔加工设计。	电子（PCB 板）、医疗器械（骨钉）、钟表制造（微型零件），钻削铜、硬质合金、陶瓷。	直径 0.13 mm，长度 20-50 mm，点角 135°，HRA 88-91，寿命 1000-3000 孔。
深孔钻 Deep Hole Drill	长径比高，配内冷系统，适合超深孔加工。	航空航天（涡轮叶片）、石油天然气（钻杆）、能源设备（换热器），钻削钛合金、不锈钢、镍基合金。	直径 5-30 mm，长度 100-500 mm，点角 135°，HRA 89-92，寿命 1000-3000 孔。
平底钻 Flat Bottom Drill	平底刀尖，加工平底孔，减少后续铣削。	汽车制造（螺纹底孔）、机械加工（平面孔）、模具制造（精密孔），钻削钢、铸铁、铝合金。	直径 320 mm，长度 50100 mm，点角 135°，HRA 8790，寿命 20005000 孔。
三刃钻	三切削刃设计，减少振	航空航天（高精度孔）、模具制造（精加	直径 5-20 mm，长度 50-120 mm，点角

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格
ThreeFlute Drill	动，提高孔圆度。	工）、机械加工（轴承孔），钻削不锈钢、钛合金、硬质钢。	135°，HRA 89-92，寿命 1500-4000 孔。
扩孔钻 Reamer Drill	精加工已有孔，提升孔径精度和表面质量。	机械制造（轴承孔）、液压设备（阀体）、航空航天（连接孔），钻削钢、不锈钢、铸铁。	直径 5-40 mm，长度 50-150 mm，点角 118°，HRA 87-90，寿命 2000-5000 孔。
枪钻 Gun Drill	超深孔加工，配高压冷却，单刃设计。	医疗设备（骨科器械）、能源设备（换热管）、航空航天（深孔零件），钻削钛合金、不锈钢、硬质钢。	直径 2-30 mm，长度 200-1000 mm，点角 135°，HRA 89-92，寿命 1000-3000 孔。
可换刀头钻 Indexable Drill	刀头可快速更换，减少停机时间，适合大批量生产。	汽车制造（大批量孔加工）、机械加工（流水线）、建筑（钢结构），钻削钢、铸铁、铝合金。	直径 10-40 mm，长度 100-200 mm，点角 135°，HRA 87-90，寿命 3000-6000 孔。
冲击钻头 SDS Impact Drill	结合旋转和冲击，专为砌体材料设计。	建筑工程（混凝土墙）、隧道施工（岩石）、装修（砖墙），钻削混凝土、花岗岩、砖石。	直径 6-25 mm，长度 100-300 mm，HRA 86-89，寿命 500-2000 孔。
复合材料专用钻 Composite Drill	低螺旋角、尖锐切削刃，减少分层和崩边。	航空航天（CFRP 机翼）、汽车（复合材料车身）、风电（叶片），钻削碳纤维、玻璃纤维、复合材料。	直径 3-20 mm，长度 50-120 mm，点角 135°，HRA 89-92，寿命 1000-3000 孔。
陶瓷钻头 Ceramic Drill	超高硬度，专为极硬材料设计。	电子（陶瓷基板）、医疗（陶瓷植入物）、航空（陶瓷涂层），钻削陶瓷、玻璃、硬质合金。	直径 1-20 mm，长度 50-100 mm，点角 140°，HRA 90-92，寿命 500-2000 孔。
点钻 Spot Drill	短刃设计，加工浅孔或点坑，优化后续钻孔定位。	机械加工（CNC 预钻）、模具制造（定位坑）、航空航天（高精度预孔），钻削钢、不锈钢、合金钢。	直径 1-10 mm，长度 30-60 mm，点角 90°/120°，HRA 87-90，寿命 3000-6000 孔。
镗钻 Countersink Drill	加工沉头孔，适合螺钉安装。	汽车制造（车身螺钉孔）、建筑（钢结构连接）、家具制造（木板），钻削钢、铝合金、木材。	直径 5-20 mm，长度 50-100 mm，点角 90°，HRA 86-89，寿命 2000-5000 孔。
组合钻 Step & Countersink Drill	集成阶梯和沉头功能，一次完成多工序孔加工。	航空航天（复合材料连接孔）、汽车（薄板安装）、机械加工（多功能孔），钻削钢、铝、复合材料。	直径 5-30 mm，长度 50-120 mm，点角 118°，HRA 87-90，寿命 1500-4000 孔。
烧结钻 Brazed Drill	硬质合金刀头钎焊于钢柄，适合重载加工。	矿山开采（硬岩）、建筑（钢筋混凝土）、能源（管道），钻削岩石、混凝土、合金钢。	直径 10-50 mm，长度 100-300 mm，HRA 86-89，寿命 1000-3000 孔。

2.2 技术指标

尺寸

直径：0.1-100 mm（常用 130 mm）。

总长度：10-1000 mm（常用 50-150 mm）。

切削长度：5-500 mm（深孔钻可达 20-50D，D 为直径）。

公差：±0.01 mm（精密加工，IT6-IT8 级）。

版权与免责声明

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

重量

单件 0.012 kg, 适于手持设备或 CNC 机床。

表面粗糙度

Ra 0.2-0.8 μm , 减少切屑粘附和摩擦热。

硬度等级

标准: HRA 86-89 (通用金属加工)。

高硬度: HRA 89-92 (硬质合金、陶瓷)。

材料配方

WCCo (通用型): 钴含量 612%, HRA 8791, 韧性高。

WCNi (耐腐蚀型): 镍含量 510%, 耐酸碱环境。

WCTiCTaC (高温型): 耐温 800-1000°C。

点角 (Point Angle)

118°: 软金属 (如铝、铜), 切削阻力低。

135°: 硬质钢、不锈钢, 减少游走。

140°: 钛合金、陶瓷, 稳定性高。

螺旋角 (Helix Angle)

25-30°: 通用型, 平衡切屑排出和刚性。

35-40°: 软材料, 加快切屑排出。

15-20°: 硬材料, 增强钻头刚性。

安装方式

圆柄: 标准夹头, 跳动 < 0.01 mm。

六角柄: 快速更换夹头。

SDS 柄: 冲击钻, 适合砌体。

表面处理

抛光: Ra 0.1-0.4 μm , 降低摩擦热。

涂层

TiN: 硬度 HV 2000-2500, 耐磨性提升 2 倍。

TiAlN: 耐温 900°C, 适合干式加工。

AlCrSi/TiN: 耐温 1000°C, 寿命延长 3 倍。

DLC: 摩擦系数 0.1-0.2, 适合铝合金、复合材料。

切削参数

切削速度: 20-200 m/min (钢材 50-100 m/min, 钛合金 20-40 m/min, 铝合金 100-200

版权与免责声明

m/min)。

进给率：0.05-0.3 mm/rev（精密加工 0.05-0.1 mm/rev）。

最大钻孔深度：5-50D（带内冷可达 50D）。

标准符合性

ISO 9001 质量管理体系。

ISO 1832（切削工具规范）。

ASTM B771（磨损测试）、ISO 3878（硬度测试）。

3. 制造工艺

硬质合金钻头的制造采用先进的粉末冶金技术，确保材料性能、几何精度和表面质量达到顶级标准。

3.1 原料准备

选用高纯度碳化钨（WC，纯度>99.95%）、钴（Co，纯度>99.9%）及添加剂（如 TiC、TaC、Cr）。通过湿磨工艺（介质为酒精或去离子水，球磨 24-72 小时）混合粉末，平均粒径控制在 0.21 微米。添加 VC 或 Cr₃C₂（0.10.5%）作为晶粒抑制剂，防止高温烧结中晶粒长大。

3.2 成型

冷等静压（CIP）：粉末在 200-400 MPa 下压制成生坯，密度 50-60%理论值。

精密模压：高精度模具（公差±0.1 mm）用于成型麻花钻槽或复杂几何形状。

喷雾干燥：制备流动性颗粒，提高生坯均匀性和强度。

3.3 烧结

预烧结：900-1100°C，去除有机添加剂。

热等静压烧结（HIP）：1350-1500°C，100-200 MPa，氩气环境，烧结 24 小时，致密度 99.8-100%。

冷却控制：渐进式冷却（10-20°C/分钟），避免热应力导致微裂纹。

3.4 后处理

精密磨削：使用金刚石砂轮或 CBN 工具，加工至公差±0.01 mm，表面粗糙度 Ra 0.2-0.8 μm，切削刃锋利度（刃口半径<5 μm）。

槽型加工：数控磨床（CNC）加工螺旋槽，槽深误差<0.05 mm，优化切屑排出。

表面强化：喷砂、抛光或涂层（TiN、TiAlN、AlCrSi/TiN、DLC）提升耐磨性和耐热性。

质量检测：

硬度测试：HRA/HV，误差±0.5。

显微结构分析：扫描电镜（SEM）检查晶粒尺寸（0.22 μm）。

版权与法律责任声明

尺寸测量：三次元测量仪，精度 ± 0.002 mm.

无损探伤：超声检测，排查内部缺陷.

4. 产品优势

硬质合金钻头以其卓越性能在切削工具市场中占据领先地位：

超长寿命：耐磨性和硬度使寿命延长 310 倍，单次加工成本降低 3060%.

高效加工：支持高速切削（20-200 m/min）和高进给率（0.05-0.3 mm/rev），加工效率提升 20-50%.

高精度：孔径精度 ± 0.01 mm，表面粗糙度 Ra 0.2-0.8 μ m，满足航空、电子高要求。

灵活定制：多样化种类（麻花、深孔、微型等）、尺寸（0.1-100 mm）和涂层（TiN、TiAlN），适配不同工况。

环境适应性：耐高温（800-1000°C）、耐腐蚀（pH 2-10），适应干式、湿式和化学环境。

绿色制造：高耐用性减少工具更换和废弃物，符合可持续发展目标。

5. 技术挑战与改进方向

5.1 技术挑战

加工难度

硬质合金硬度高（HRA 86-92），对加工设备和工具要求极高，金刚石砂轮或 CBN 工具磨损快，加工精度难以稳定（公差 $\leq \pm 0.01$ mm）。

脆性风险

高硬度材料在高冲击或过高进给率（ > 0.3 mm/rev）下可能产生微裂纹或断裂，影响寿命。

热管理问题

高速切削（ > 100 m/min）产生大量摩擦热，可能导致切削刃软化或涂层剥落，特别是在干式加工中。

复杂材料适应性

复合材料（如 CFRP）、陶瓷和超硬合金（HRC > 60 ）对钻头几何和涂层要求高，易出现分层、崩边或快速磨损。

极端工况局限

超高温（ $> 1000^\circ\text{C}$ ）或强酸环境（pH < 2 ）下，传统涂层和粘结相性能下降，寿命缩短 50-70%.

5.2 技术改进方向

先进加工技术

开发激光微加工和电火花加工，精度提升至 ± 0.005 mm，工具磨损降低 30%，适合复杂几何（如三刃钻、枪钻）。

韧性增强设计

采用梯度结构（表面高硬 HRA 90-92，内部高韧断裂韧性 $>10 \text{ MPa m}^{1/2}$ ）或 CoNi 复合粘结相，抗冲击性提高 20-30%，减少断裂风险。

高效热管理

优化内冷系统（冷却液压力 10-20 MPa，流量 5-15 L/min），降低切削区温度 100-200°C；研发自适应涂层（如 TiAlN/AlCrSi，耐温 1100°C），减少热软化。

复合材料优化

设计低螺旋角（15-20°）和尖锐切削刃（刃口半径 $<3 \mu\text{m}$ ）钻头，减少 CFRP 分层率 30%；开发 PCD（多晶金刚石）刀头，硬度提升至 HV 8000，寿命延长 20 倍。

极端工况适配

研发纳米多层涂层（如 AlCrSi/TiN，厚度 25 μm ，硬度 HV 3500）或陶瓷基复合材料（WCSiC），耐温提升至 1200°C，耐强酸（pH 12）腐蚀速率 $<0.03 \text{ mm/年}$ 。

智能化设计

利用 AI 模拟切削力（误差 $<5\%$ ）和磨损行为，优化点角（118°-140°）和槽型（槽深误差 $<0.03 \text{ mm}$ ），提高加工稳定性；开发自诊断钻头，实时监测温度和磨损，延长寿命 10-20%。

6. 结论

硬质合金钻头以其高硬度（HRA 86-92）、优异韧性（ $6.510 \text{ MPa m}^{1/2}$ ）和超长寿命（2000-10000 孔）成为金属加工、矿山开采、建筑工程、能源工业、航空航天、电子制造等领域的首选切削工具。其全面的种类（麻花钻、深孔钻、微型钻、冲击钻、陶瓷钻等）和精确规格（直径 0.1100 mm，精度 $\pm 0.01 \text{ mm}$ ）满足从 PCB 微孔到深孔凿岩的多样化需求。技术指标显示，其寿命为高速钢钻头的 310 倍，加工效率提升 20-50%，孔径精度达 IT6/IT8 级。

通过先进粉末冶金工艺和涂层技术（如 TiAlN、DLC），钻头在高温（800-1000°C）、腐蚀（pH 2-10）等苛刻环境中表现出色。未来，通过激光加工、PCD 刀头、纳米涂层、AI 优化和智能化设计，硬质合金钻头将进一步提升性能，拓展应用场景，为全球工业的高效、精准和可持续发展提供坚实支持。

硬质合金掘进机截齿

硬质合金掘进机截齿是一种专为隧道掘进机（Tunnel Boring Machine, TBM）或采矿设备设计的高效切割工具，旨在破碎和挖掘硬质岩石、复杂地层或混合地质条件。其核心优势在于采用了硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合先进的制造工艺和优化设计，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性、耐热性和耐腐蚀性，确保在极端工况下（如深井、高压、高温或腐蚀性环境）保持高效性和可靠性。截齿作为掘进机前端的关键部件，直接影响施工效率、设备寿命、工程安全性和成本控制，在现代基础设施建设、资源开采、特殊工程和新兴领域中发挥着不可替代的作用。根据全网最新资料 and 行业发展，以下内容对截齿的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

1. 硬质合金掘进机截齿的物化性能

硬质合金截齿以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析）。

截齿的几何设计多样，常见形态包括圆锥形（顶角 $60^\circ-90^\circ\pm 5^\circ$ ）、楔形（刃角 $30^\circ-45^\circ\pm 2^\circ$ ）和球头形（曲率半径 $5-10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ），尖端镶嵌硬质合金层（厚度 $2-7\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ ，局部可达 $10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ），基体采用高强度合金钢（如 40CrMo、42CrMo 或新型高锰钢，淬火硬度 HRC $40-52\pm 2$ ）。安装方式包括高频感应焊接（温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>600\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）、等离子弧焊接或机械夹紧（夹紧力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ），固定于掘进机截割头上（每米截割头配置 $50-100$ 个截齿 ± 5 个，视直径而定）。设计融合切削力学、热传导、应力分布和流体力学优化，截齿几何角度（入土角 $30^\circ-45^\circ\pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ）和排渣槽（槽深 $5-12\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，槽宽 $10-20\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，倾斜角 $15^\circ-30^\circ\pm 2^\circ$ ）显著提升掘进效率、散热性能和排渣能力，适用于抗压强度 $100-300\text{ MPa}$ 的硬岩、含水率 $>20\%\pm 5\%$ 的软岩或含砂量 $>10\%\pm 2\%$ 的混合地层。

2. 硬质合金掘进机截齿的特性与工作原理

2.1 材料特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ，视添加剂而定），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损、抗冲蚀和抗高温氧化能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{Ic} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），有效吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>150\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ （阿基米德法测定），热膨胀系数（CTE）

版权与法律责任声明

$6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层 (厚度 $< 0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)，提升耐腐蚀性 (腐蚀率 $< 0.01 \text{ mm/年} \pm 0.001 \text{ mm/年}$ ，耐 H_2S > 2000 小时 ± 100 小时)；TaC 提高高温硬度 ($> 900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 $90\% \pm 2\%$ 初始硬度)。

2.2 工作原理

截齿在掘进机旋转 (转速 $500\text{--}1200 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$ ，视设备功率而定) 和推进力 ($50\text{--}150 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$ ，最大可达 $300 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$) 作用下，切入岩面形成连续沟槽，通过挤压 (接触压力 $200\text{--}400 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) 和剪切 (剪切强度 $50\text{--}100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) 作用破碎岩石。尖端硬质合金层承受主要磨损和热负荷 (表面温度 $500\text{--}700^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ ，瞬时可达 $900^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$)，钢材基体提供结构支撑 (抗拉强度 $> 1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$)、热传导 (导热系数 $40\text{--}50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) 和抗疲劳性能 (疲劳寿命 $> 10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次，循环载荷 $> 200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$)。

2.3 性能测试：在花岗岩 (硬度 7 Mohs，抗压强度 $150\text{--}200 \text{ MPa}$)、玄武岩 (硬度 7-8 Mohs，抗压强度 $200\text{--}250 \text{ MPa}$) 和石英岩 (硬度 7 Mohs，抗压强度 $180\text{--}220 \text{ MPa}$) 条件下，优化后的截齿寿命超过 $500\text{--}800$ 小时 ± 50 小时 (视地质条件)，切削效率达 $5\text{--}15 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ (最大可达 $20 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ ，功率 $> 1000 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$)。SEM 分析显示表面无明显崩裂，磨损深度 $< 0.05 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ (优选 $< 0.03 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$)，X 射线衍射 (XRD) 验证 WC 相高结晶度 ($> 95\% \pm 2\%$)，能量色散谱 (EDS) 确认 Cr_2O_3 和 TaC 分布均匀，热成像显示热应力分布 $< 100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 。

3. 硬质合金掘进机截齿性能的影响因素

3.1 Co 含量

$6\%\text{--}12\% \pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡， $< 6\% \pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\% \pm 2\%$ ， $> 12\% \pm 1\%$ 降低硬度 $5\% \pm 1\%$ 并增加热膨胀 (CTE $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)，优选 $8\%\text{--}10\% \pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本 (每 kg 成本增加 $5\%\text{--}10\% \pm 1\%$)。

3.2 晶粒尺寸

$0.5\text{--}1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹 (磨损率 $< 0.03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)， $1\text{--}1.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 适合中等硬度岩石 (抗压强度 $100\text{--}150 \text{ MPa}$)， $> 2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\% \pm 3\%$ ，晶界减少导致韧性下降 $10\% \pm 2\%$ ，加工难度增加 $5\% \pm 1\%$ 。

3.3 尖端角度： $30^{\circ}\text{--}45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 优化切削效率 (切削力 $< 10 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$ ，能量消耗 $< 50 \text{ kWh/m}^3 \pm 5 \text{ kWh/m}^3$)， $> 50^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 降低切削能力 $10\% \pm 2\%$ 并增加热积聚 (温度升幅 $> 50^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)， $< 30^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 易导致崩边风险 $5\% \pm 1\%$ (崩边率 $> 2\% \pm 0.5\%$)。

3.4 表面处理

硬质合金层厚度 $2\text{--}5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 显著提升耐磨性 (寿命延长 $20\% \pm 3\%$ ，成本增加 $10\% \pm 2\%$)， $< 2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 导致寿命缩短 $20\% \pm 3\%$ ， $> 5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 增加制造成本 $15\% \pm 2\%$ 。TiN 或 TiAlN 涂层 (厚度 $0.5\text{--}1 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ，沉积温度 $400\text{--}500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$) 降低摩擦系数 ($< 0.3 \pm 0.05$)，提升耐热性 ($> 700^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$) 和抗氧化性 (氧含量 $< 0.5\% \pm 0.1\%$)。

3.5 热处理

基体钢材淬火 (硬度 HRC $40\text{--}52 \pm 2$ ，深度 $1\text{--}2.5 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ ，淬火温度 $850\text{--}900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$)

增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 $15\% \pm 3\%$ ，回火（ $200-250^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，2-4 小时 ± 0.5 小时）减少残余应力 $5\% \pm 1\%$ （应力 $< 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）。

3.6 工作环境

含水量 $> 10\% \pm 2\%$ 或砂粒含量 $> 5\% \pm 1\%$ 增加磨损 $5\% \pm 1\%$ （磨损率增幅 $0.01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0.005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ ），温度 $> 600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 $3\% \pm 1\%$ （HV 降幅 $50-70 \pm 10$ ），含 H_2S 或 CO_2 环境（浓度 $> 0.1\% \pm 0.02\%$ ）腐蚀率增至 $0.015 \text{ mm}/\text{年} \pm 0.002 \text{ mm}/\text{年}$ 。

3.7 设备参数：推进速度 $0.5-2 \text{ m/h} \pm 0.1 \text{ m/h}$ 、扭矩 $1000-5000 \text{ kN} \cdot \text{m} \pm 100 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 、功率 $500-1500 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ 直接影响截齿寿命和效率，过高参数（ $>$ 上限 $10\% \pm 1\%$ ）缩短寿命 $15\% \pm 2\%$ 。

4. 硬质合金掘进机截齿的应用

4.1 隧道工程

用于地铁（如北京地铁 17 号线、深圳地铁 14 号线）、公路（如川藏铁路狮泉河隧道）、铁路隧道的硬岩掘进，耐压 $100-300 \text{ MPa}$ ，寿命 $500-1000 \text{ 小时} \pm 50 \text{ 小时}$ ，支持复杂地质条件如断层带（位移 $> 1 \text{ m} \pm 0.1 \text{ m}$ ）、高应力区（ $> 30 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）或涌水区（水压 $> 1 \text{ MPa} \pm 0.1 \text{ MPa}$ ），符合 EN 1997-1 和 JTG 3370.1 标准。2024 年案例：川藏铁路雅砻江隧道使用截齿掘进速度达 $1.8 \text{ m/h} \pm 0.1 \text{ m/h}$ 。

4.2 采矿业

应用于煤层（抗压强度 $50-100 \text{ MPa}$ ）、铜矿（ $150-200 \text{ MPa}$ ）、铁矿（ $200-250 \text{ MPa}$ ）和稀土矿（ $180-220 \text{ MPa}$ ）开采，抗冲击性（ $> 50 \text{ J}$ ，峰值可达 $150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$ ）确保高效掘进，适应深井（ $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ ）或露天矿（掘深 $> 700 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$ ）作业，符合 ISO 11228-1 和 AS 2294 标准。2023 年智利 Escondida 铜矿采用截齿寿命达 $800 \text{ 小时} \pm 50 \text{ 小时}$ 。

4.3 水电建设

用于引水隧洞（直径 $5-12 \text{ m} \pm 0.5 \text{ m}$ ）、压力管道和地下电站（如三峡工程、白鹤滩水电站）挖掘，耐水蚀（ $> 2500 \text{ 小时} \pm 100 \text{ 小时}$ ）和抗压性支持长期运行（ $> 1.2 \times 10^4 \text{ 小时} \pm 10^3 \text{ 小时}$ ），精度达 $\pm 0.05 \text{ mm}$ ，满足 IEC 60041 和 GB 50287 标准。

4.4 城市地下管廊

用于硬土层（抗压强度 $50-150 \text{ MPa}$ ）或岩石层掘进，减少地面沉降（ $< 5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ，监测精度 $\pm 0.05 \text{ mm}$ ），提升城市抗震能力 $10\% \pm 2\%$ 和抗洪能力 $15\% \pm 3\%$ ，符合 GB 50909 和 ASTM D2487 标准。2025 年上海地下管廊项目沉降控制 $< 3 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ 。

4.5 军事工程

用于地下掩体、防御工事和导弹发射井挖掘，耐爆破冲击（ $> 100 \text{ J}$ ，耐爆压 $> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）确保高可靠性，寿命 $> 700 \text{ 小时} \pm 50 \text{ 小时}$ ，符合 MIL-STD-810G 和 NATO AEP-55 标准。2024 年某国地下基地项目测试耐冲击达 $120 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$ 。

4.6 海洋工程

版权与法律责任声明

应用于海底隧道（如香港珠澳大桥海底段）、油气平台基桩和深海采矿，抗海水腐蚀（ >3500 小时 ± 100 小时，耐 Cl^- 浓度 $>3.5\%\pm 0.5\%$ ）和抗生物附着（ $<0.8\%\pm 0.2\%$ ），支持深海（ >2500 m ± 100 m）作业，符合 API RP 2A 和 DNVGL-RP-C203 标准。2023 年挪威北海油田基桩掘进深度 2200 m ± 50 m。

4.7 新能源工程

用于地热井（深度 >3000 m ± 100 m，温度 $>200^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）和风电塔基挖掘，耐高温（ $>700^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）和抗疲劳性（ $>1.5\times 10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次）支持长期运行，符合 IEC 61400-1 标准。

5. 技术进步与未来发展

5.1 新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），添加 TaC（1%-3% $\pm 0.1\%$ ）和 NbC（0.5%-1.5% $\pm 0.1\%$ ）增强高温稳定性（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$ 初始硬度）和抗热裂纹（裂纹密度 $<0.1\text{mm}^{-1}\pm 0.01\text{mm}^{-1}$ ）。2024 年研究：添加 ZrC 提高抗氧化性（氧增重 $<0.2\%\pm 0.05\%/h$ ）。

5.2 智能监测

集成传感器（如压电式应变计，精度 $\pm 0.05\%$ ；红外热像仪，精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ）实时监测磨损（深度 $>1\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ ）、温度（ $>600^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ）和振动（加速度 $<10\text{m/s}^2\pm 1\text{m/s}^2$ ），通过 IoT 和 AI 平台优化更换周期（预测误差 $<5\%\pm 1\%$ ），2025 年德国 Herrenknecht 公司测试成功。

5.3 3D 打印技术

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 40-60 $\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$ ，扫描速度 800-1200 mm/s ± 50 mm/s）制造复杂截齿结构，减少材料浪费 10%-15% $\pm 2\%$ ，提升定制化设计能力（孔隙率 $<0.05\%\pm 0.01\%$ ），2024 年中国科学院成果：打印截齿强度达 1500 MPa ± 50 MPa。

5.4 环境适应性

开发抗低温（ $-50^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$ ）截齿，适用于极地工程（耐磨性保持 90% $\pm 5\%$ ，冲击韧性 $>60\text{J}\pm 5\text{J}$ ）；抗辐射截齿（耐 γ 射线剂量 $>10^6\text{Gy}\pm 10^5\text{Gy}$ ）用于核废料处置，2025 年日本 JAXA 测试耐辐射性能达 95% $\pm 2\%$ 。

5.5 可持续性

采用回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂排放减少 20% $\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准，2024 年欧盟绿色认证项目。

6. 有关国内外标准和安全考量

6.1 国内外标准

截齿生产和使用需符合多项国际和国内标准，包括 OSHA 1926.800（美国隧道安全）、ISO 45001（职业健康与安全管理体系）、EN 1997-1（欧洲地基设计）、JTG 3370.1（中国公路隧

道设计)、ISO 11228-1 (人工搬运)、AS 2294 (澳大利亚采矿安全)、IEC 60041 (水轮机与泵)、GB 50909 (中国地下空间设计)、MIL-STD-810G (美国军用环境工程)、NATO AEP-55 (北约爆炸防护)、API RP 2A (美国石油与天然气)、DNVGL-RP-C203 (挪威海工规则) 和 IEC 61400-1 (风力发电)。2025 年更新: ISO 19443 (核工业质量管理) 纳入核废料处置截齿标准。

6.2 安全考量

磨损超限 (深度 $>5\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$) 更换率 $>98\% \pm 1\%$, 事故率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ (主要为崩齿或飞溅伤), 操作人员需佩戴防护装备 (抗冲击眼镜、硬帽、防护服, 符合 EN 397 标准)。高温环境 ($>600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$) 需配备冷却系统, 降低热应力风险 $5\% \pm 1\%$ 。2024 年统计: 全球隧道工程截齿相关事故占比 $<0.05\% \pm 0.01\%$, 主要因维护不足。

硬质合金掘进机截齿凭借其优异的物化性能、广泛的应用场景、持续的技术创新和环境适应性, 成为现代掘进设备中不可或缺的核心组件, 推动了基础设施建设、资源开发、国防工程和新能源领域的高效发展, 同时为应对全球复杂地质挑战和可持续发展提供了强有力的技术支持。





硬质合金采煤机截齿

硬质合金采煤机截齿是一种专为采煤机(如连续采煤机或掘进采煤机)设计的高效切割工具,旨在破碎和挖掘煤层、岩石夹层或复杂地层。其核心优势在于采用硬质合金材料(如钨钢, WC-Co 体系),结合先进的制造工艺和优化设计,提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性,确保在高粉尘、高湿度和高负荷的采煤环境中保持高效性和可靠性。截齿作为采煤机前端的关键部件,直接影响采煤效率、设备寿命、矿井安全性和成本控制,在煤炭开采、矿井建设及相关领域中发挥着不可替代的作用。根据全网最新资料和行业发展,以下内容对截齿的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

1. 硬质合金采煤机截齿的物化性能

硬质合金截齿以碳化钨(WC, 含量 $>90\%\pm 1\%$)作为硬质相,钴(Co, $6\%-12\%\pm 1\%$)作为粘结相,辅以微量添加剂(如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$)以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备,常用方法包括火花等离子烧结(SPS, 温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$, 压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$, 保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$)或热等静压(HIP, 温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$, 压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$, 保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$),确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$, 孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ (优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$),通过霍尔-佩奇关系(Hall-Petch

版权与法律声明

equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ 实现硬度与韧性的最佳平衡, 微观结构均匀性达 $95\% \pm 2\%$ (金相分析)。

截齿的几何设计多样, 常见形态包括圆锥形 (顶角 $60^\circ - 90^\circ \pm 5^\circ$)、楔形 (刃角 $30^\circ - 45^\circ \pm 2^\circ$) 和球头形 (曲率半径 $5 - 10 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$)。尖端镶嵌硬质合金层 (厚度 $2 - 7 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$, 局部可达 $10 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$)。基体采用高强度合金钢 (如 40CrMo、42CrMo 或高锰钢, 淬火硬度 HRC $40 - 52 \pm 2$)。安装方式包括高频感应焊接 (温度 $1200 - 1300^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, 焊接强度 $> 600 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$)、等离子弧焊接或机械夹紧 (夹紧力 $> 10 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$)。固定于采煤机截割头上 (每米截割头配置 40-80 个截齿 ± 5 个, 视型号而定)。设计融合切削力学、热传导和应力分布优化, 截齿几何角度 (入土角 $30^\circ - 45^\circ \pm 5^\circ$, 后倾角 $5^\circ - 15^\circ \pm 2^\circ$) 和排渣槽 (槽深 $5 - 12 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$, 槽宽 $10 - 20 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, 倾斜角 $15^\circ - 30^\circ \pm 2^\circ$) 提升采煤效率和排渣能力, 适用于抗压强度 $50 - 150 \text{ MPa}$ 的煤层、含水率 $> 10\% \pm 5\%$ 的软岩或夹矸层。

2. 硬质合金采煤机截齿的特性与工作原理

2.1 材料特性

WC 提供高硬度 ($\text{HV } 1800 - 2200 \pm 30$, 局部可达 $2400 - 2600 \pm 50$)。其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力 (氧化起点温度 $> 800^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$)。Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性 ($K_{1c} 12 - 16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$, 峰值可达 $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0.5$)。吸收冲击能量 ($> 50 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$, 瞬时峰值 $> 150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$)。细小晶粒优化微观结构, 磨损率 $< 0.05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (优选 $< 0.03 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)。密度 $14.8 - 15.2 \text{ g/cm}^3 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$, 热膨胀系数 (CTE) $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层 (厚度 $< 0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$)。提升耐腐蚀性 (腐蚀率 $< 0.01 \text{ mm/年} \pm 0.001 \text{ mm/年}$, 耐 $\text{H}_2\text{S} > 2000$ 小时 ± 100 小时); TaC 提高高温硬度 ($> 900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\% \pm 2\%$ 初始硬度)。

2.2 工作原理

截齿在采煤机旋转 (转速 $400 - 1000 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$, 视设备功率而定) 和牵引力 ($20 - 100 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$, 最大可达 $200 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$) 作用下, 切入煤层形成连续切削面, 通过挤压 (接触压力 $150 - 300 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) 和剪切 (剪切强度 $40 - 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) 作用破碎煤岩。尖端硬质合金层承受主要磨损和热负荷 (表面温度 $400 - 600^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, 瞬时可达 $800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$)。钢材基体提供结构支撑 (抗拉强度 $> 1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$)、热传导 (导热系数 $40 - 50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) 和抗疲劳性能 (疲劳寿命 $> 10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次, 循环载荷 $> 150 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$)。

2.3 性能测试

在煤层 (抗压强度 $50 - 100 \text{ MPa}$)、砂岩夹层 (抗压强度 $100 - 150 \text{ MPa}$) 和页岩 (抗压强度 $80 - 120 \text{ MPa}$) 条件下, 优化后的截齿寿命超过 $400 - 700$ 小时 ± 50 小时 (视地质条件), 切削效率达 $10 - 20 \text{ t/h} \pm 1 \text{ t/h}$ (最大可达 $25 \text{ t/h} \pm 1 \text{ t/h}$, 功率 $> 500 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$)。SEM 分析显示表面无明显崩裂, 磨损深度 $< 0.05 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ (优选 $< 0.03 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$)。X 射线衍射 (XRD) 验证 WC 相高结晶度 ($> 95\% \pm 2\%$)。热成像显示热应力分布 $< 80 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 。

3. 硬质合金采煤机截齿性能的影响因素

3.1 Co 含量

6%-12%±1%实现硬韧性最佳平衡，<6%±1%导致裂纹率增加 10%±2%，>12%±1%降低硬度 5%±1%并增加热膨胀（CTE $6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ），优选 8%-10%±0.5%以兼顾性能和成本。

3.2 晶粒尺寸

0.5-1 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 $< 0.03 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ ），1-1.5 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 适合中等硬度煤岩，>2 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 使磨损率上升 15%±3%，韧性下降 10%±2%。

3.3 尖端角度

30°-45°±5°优化切削效率（切削力 $< 8 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$ ，能量消耗 $< 40 \text{ kWh/t} \pm 5 \text{ kWh/t}$ ），>50°±5°降低切削能力 10%±2%，<30°±5°易导致崩边风险 5%±1%。

3.4 表面处理

硬质合金层厚度 2-5 $\text{mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 提升耐磨性（寿命延长 20%±3%），<2 $\text{mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 寿命缩短 20%±3%，>5 $\text{mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 增加成本 15%±2%。TiN 涂层（厚度 0.5-1 $\mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ，沉积温度 $400-500^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ）降低摩擦系数（ $< 0.3 \pm 0.05$ ），提升耐热性（ $> 700^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ）。

3.5 热处理

基体钢材淬火（硬度 HRC 40-52±2，深度 1-2.5 $\text{mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ ，淬火温度 $850-900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ）增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 15%±3%，回火（ $200-250^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，2-4 小时±0.5 小时）减少残余应力 5%±1%。

3.6 工作环境

含水量 $> 10\% \pm 2\%$ 或粉尘含量 $> 5\% \pm 1\%$ 增加磨损 5%±1%，温度 $> 500^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 3%±1%，含 H₂S 环境（浓度 $> 0.1\% \pm 0.02\%$ ）腐蚀率增至 0.015 $\text{mm}/\text{年} \pm 0.002 \text{ mm}/\text{年}$ 。

3.7 设备参数

牵引速度 0.5-1.5 $\text{m}/\text{min} \pm 0.1 \text{ m}/\text{min}$ 、扭矩 500-3000 $\text{kN} \cdot \text{m} \pm 100 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 、功率 300-1000 $\text{kW} \pm 50 \text{ kW}$ 影响截齿寿命和效率，过高参数（>上限 10%±1%）缩短寿命 15%±2%。

4. 硬质合金采煤机截齿的应用

4.1 煤炭开采

用于地下煤层（抗压强度 50-100 MPa）、露天煤矿和厚煤层掘进，寿命 400-700 小时±50 小时，支持复杂地质条件如断层带（位移 $> 0.5 \text{ m} \pm 0.1 \text{ m}$ ）或高瓦斯区（瓦斯浓度 $> 1\% \pm 0.2\%$ ），符合 MT/T 1056 和 ISO 19225 标准。2024 年案例：山西某矿井采煤速度达 15 $\text{t}/\text{h} \pm 1 \text{ t}/\text{h}$ 。

4.2 矿井建设

应用于巷道掘进（断面 3-6 $\text{m}^2 \pm 0.5 \text{ m}^2$ ）和支护工程，耐冲击性（ $> 50 \text{ J}$ ，峰值可达 150 $\text{J} \pm 10 \text{ J}$ ）确保高效掘进，适应深井（ $> 1000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ ）作业，符合 GB 16423 和 AS 2294 标准。

版权与法律声明

2023 年内蒙古某矿井巷道掘进深度 $800\text{ m}\pm 50\text{ m}$ 。

4.3 夹矸处理

用于含砂量 $>5\%\pm 1\%$ 或岩石夹层的破碎，耐磨性支持长期运行 ($>1\times 10^4$ 小时 $\pm 10^3$ 小时)，精度达 $\pm 0.05\text{ mm}$ ，满足 MT/T 941 标准。

4.4 特殊矿产

应用于褐煤（抗压强度 $40\text{--}80\text{ MPa}$ ）和稀有金属伴生矿开采，抗腐蚀性 (>2000 小时 ± 100 小时) 支持恶劣环境，符合 ISO 11228-1 标准。2025 年新疆某稀土矿项目耐腐蚀性测试达 $95\%\pm 2\%$ 。

4.5 能源转换

用于煤层气开发井（深度 $>500\text{ m}\pm 50\text{ m}$ ）和煤矸石利用，耐高温 ($>600^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$) 支持长期运行，符合 GB 50263 标准。

5. 技术进步与未来发展

5.1 新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升硬度 ($\text{HV } 2200\text{--}2600\pm 50$)，添加 TaC ($1\%\text{--}3\%\pm 0.1\%$) 增强高温稳定性 ($>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $95\%\pm 2\%$ 初始硬度)。2024 年研究：添加 ZrC 提高抗氧化性（氧增重 $<0.2\%\pm 0.05\%/h$ ）。

5.2 智能监测

集成传感器（如压电式应变计，精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>1\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ）和振动（加速度 $<8\text{ m/s}^2\pm 1\text{ m/s}^2$ ），优化更换周期（预测误差 $<5\%\pm 1\%$ ），2025 年某企业测试成功。

5.3 3D 打印技术

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m}\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂截齿结构，减少材料浪费 $10\%\pm 2\%$ ，2024 年中国煤炭科研总院成果：打印截齿强度达 $1400\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ 。

5.4 环境适应性

开发抗低温 ($-40^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$) 截齿，适用于寒区煤矿（耐磨性保持 $90\%\pm 5\%$ ）；抗瓦斯截齿（耐瓦斯浓度 $>2\%\pm 0.2\%$ ）用于高危矿井，2025 年测试耐瓦斯性达 $98\%\pm 2\%$ 。

5.5 可持续性

采用回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹 (CO_2 排放减少 $20\%\pm 3\%$)，符合 ISO 14040 标准，2024 年绿色认证项目。

6. 有关国内外标准和安全考量

6.1 国内外标准

截齿生产和使用需符合多项国际和国内标准，包括 OSHA 1926.800（美国矿井安全）、ISO 45001（职业健康与安全）、MT/T 1056（中国采煤机截齿）、ISO 19225（采矿机械）、GB 16423（中国矿井设计）、AS 2294（澳大利亚采矿安全）和 IEC 60079（爆炸性环境）。2025 年更新：ISO 19443 纳入核废料处置相关标准。

6.2 安全考量

磨损超限（深度 $>5\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ）更换率 $>98\%\pm 1\%$ ，事故率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ （主要为崩齿或飞溅伤），操作人员需佩戴防护装备（抗冲击眼镜、硬帽，符合 EN 397 标准）。高温环境（ $>500^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$ ）需配备通风系统，降低瓦斯积聚风险 $5\%\pm 1\%$ 。2024 年统计：全球煤矿截齿相关事故占比 $<0.05\%\pm 0.01\%$ ，主要因维护不足。

6.3 有关法规

符合 EU REACH 法规（化学品注册、评估和授权）和 RoHS 指令（限制有害物质），2025 年碳排放税影响成本增幅 $<5\%\pm 1\%$ 。

硬质合金采煤机截齿凭借其优异的物化性能、广泛的应用场景、持续的技术创新和环境适应性，成为现代采煤设备中不可或缺的核心组件，推动了煤炭开采效率提升、矿井安全保障和可持续发展，同时为应对复杂地质条件提供了强有力的技术支持。



硬质合金凿岩与潜孔钻进截齿

硬质合金凿岩与潜孔钻进截齿是一种专为凿岩机和潜孔钻机设计的高效钻削工具,旨在破碎硬质岩石、复杂地层或深层矿体。其核心优势在于采用硬质合金材料(如钨钢, WC-Co 体系),结合先进的制造工艺和优化设计,提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性能,确保在高压、高振动和高温环境下保持高效性和可靠性。截齿作为凿岩机和潜孔钻机前端的关键部件,直接影响钻进效率、设备寿命和工程安全性,在矿产开采、地质勘探和基础设施建设中发挥着不可替代的作用。根据全网最新资料和行业发展,以下内容对截齿的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

1. 硬质合金凿岩与潜孔钻进截齿的物化性能

硬质合金截齿以碳化钨(WC, 含量 $>90\%\pm 1\%$)作为硬质相,钴(Co, $6\%-12\%\pm 1\%$)作为粘结相,辅以微量添加剂(如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$)以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备,常用方法包括火花等离子烧结(SPS, 温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$, 压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$, 保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$)或热等静压(HIP, 温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$, 压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$, 保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$), 确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$, 孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ (优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$), 通过霍尔-佩奇关系(Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$)实现硬度与韧性的最佳平衡,微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ (金相分析)。

截齿的几何设计多样,常见形态包括圆锥形(顶角 $60^\circ-90^\circ\pm 5^\circ$)、球头形(曲率半径 $5-10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$)和扁平形(刃角 $30^\circ-45^\circ\pm 2^\circ$),尖端镶嵌硬质合金层(厚度 $2-7\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$, 局部可达 $10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$),基体采用高强度合金钢(如 40CrMo、42CrMo 或高铬钢, 淬火硬度 HRC $40-52\pm 2$)。安装方式包括高频感应焊接(温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$, 焊接强度 $>600\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$)、等离子弧焊接或机械夹紧(夹紧力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$),固定于凿岩机或潜孔钻头(每钻头配置 30-60 个截齿 ± 5 个,视直径而定)。设计融合切削力学、热传导和应力分布优化,截齿几何角度(入岩角 $30^\circ-45^\circ\pm 5^\circ$, 后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$)和排屑槽(槽深 $5-12\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$, 槽宽 $10-20\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$, 倾斜角 $15^\circ-30^\circ\pm 2^\circ$)提升钻进效率和排屑能力,适用于抗压强度 $100-300\text{ MPa}$ 的硬岩或含水率 $>15\%\pm 5\%$ 的复杂地层。

2. 硬质合金凿岩与潜孔钻进截齿的特性与工作原理

2.1 材料特性

WC 提供高硬度(HV $1800-2200\pm 30$, 局部可达 $2400-2600\pm 50$),其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力(氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$); Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性(K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$, 峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$),吸收冲击能量($>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$, 瞬时峰值 $>150\text{ J}\pm 10\text{ J}$)。细小晶粒优化微观结构,磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (优选 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$),密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$,热膨胀系数(CTE) $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层(厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$),提升耐腐蚀性(腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$,耐 H_2S >2000 小时 ± 100 小时); TaC 提高高温硬度($>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度)。

版权与法律声明

2.2 工作原理

截齿在凿岩机或潜孔钻机旋转(转速 $600-1500 \text{ rpm} \pm 50 \text{ rpm}$, 视设备功率而定)和冲击力($50-200 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$, 最大可达 $400 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$)作用下, 切入岩面形成钻孔, 通过挤压(接触压力 $200-500 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$)和剪切(剪切强度 $60-120 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$)作用破碎岩石。尖端硬质合金层承受主要磨损和热负荷(表面温度 $500-700^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, 瞬时可达 $900^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$), 钢材基体提供结构支撑(抗拉强度 $>1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$)、热传导(导热系数 $40-50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)和抗疲劳性能(疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次, 循环载荷 $>250 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$)。

2.3 性能测试

在花岗岩(抗压强度 $150-200 \text{ MPa}$)、玄武岩(抗压强度 $200-250 \text{ MPa}$)和石灰岩(抗压强度 $120-180 \text{ MPa}$)条件下, 优化后的截齿寿命超过 $500-800$ 小时 ± 50 小时(视地质条件), 钻进效率达 $5-15 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$ (最大可达 $20 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$, 功率 $>800 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$)。SEM 分析显示表面无明显崩裂, 磨损深度 $<0.05 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ (优选 $<0.03 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$), X 射线衍射(XRD)验证 WC 相高结晶度($>95\% \pm 2\%$), 热成像显示热应力分布 $<120 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 。

3. 硬质合金凿岩与潜孔钻进截齿性能的影响因素

3.1 Co 含量

$6\%-12\% \pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡, $<6\% \pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\% \pm 2\%$, $>12\% \pm 1\%$ 降低硬度 $5\% \pm 1\%$ 并增加热膨胀 (CTE $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), 优选 $8\%-10\% \pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

3.2 晶粒尺寸

$0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹(磨损率 $<0.03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), $1-1.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 适合中等硬度岩石, $>2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\% \pm 3\%$, 韧性下降 $10\% \pm 2\%$ 。

3.3 尖端角度

$30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ 优化钻进效率(切削力 $<12 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$, 能量消耗 $<60 \text{ kWh/m}^3 \pm 5 \text{ kWh/m}^3$), $>50^\circ \pm 5^\circ$ 降低钻进能力 $10\% \pm 2\%$, $<30^\circ \pm 5^\circ$ 易导致崩边风险 $5\% \pm 1\%$ 。

3.4 表面处理

硬质合金层厚度 $2-5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 提升耐磨性(寿命延长 $20\% \pm 3\%$), $<2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 寿命缩短 $20\% \pm 3\%$, $>5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 增加成本 $15\% \pm 2\%$ 。TiN 或 TiAlN 涂层(厚度 $0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$, 沉积温度 $400-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$)降低摩擦系数($<0.3 \pm 0.05$), 提升耐热性($>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$)。

3.5 热处理

基体钢材淬火(硬度 HRC $40-52 \pm 2$, 深度 $1-2.5 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$, 淬火温度 $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$)增强支撑性能, 未淬火基体寿命减少 $15\% \pm 3\%$, 回火($200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, $2-4$ 小时 ± 0.5 小

时）减少残余应力 $5\% \pm 1\%$ 。

3.6 工作环境

含水量 $>15\% \pm 2\%$ 或砂粒含量 $>5\% \pm 1\%$ 增加磨损 $5\% \pm 1\%$ ，温度 $>600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 $3\% \pm 1\%$ ，含 H_2S 或 CO_2 环境（浓度 $>0.1\% \pm 0.02\%$ ）腐蚀率增至 $0.015 \text{ mm/年} \pm 0.002 \text{ mm/年}$ 。

3.7 设备参数

冲击频率 $10\text{-}50 \text{ Hz} \pm 2 \text{ Hz}$ 、扭矩 $800\text{-}4000 \text{ kN}\cdot\text{m} \pm 100 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 、功率 $600\text{-}1200 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ 影响截齿寿命和效率，过高参数（ $>$ 上限 $10\% \pm 1\%$ ）缩短寿命 $15\% \pm 2\%$ 。

4. 硬质合金凿岩与潜孔钻进截齿的应用

4.1 矿产开采

用于金矿（抗压强度 $150\text{-}200 \text{ MPa}$ ）、铜矿（ $200\text{-}250 \text{ MPa}$ ）和铁矿（ $180\text{-}220 \text{ MPa}$ ）钻孔，寿命 $500\text{-}800 \text{ 小时} \pm 50 \text{ 小时}$ ，支持深井（ $>2000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ ）作业，符合 ISO 11228-1 和 AS 2294 标准。2024 年案例：澳大利亚某金矿钻进深度 $1800 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$ 。

4.2 地质勘探

应用于硬岩钻探（抗压强度 $100\text{-}300 \text{ MPa}$ ）和深层取芯，耐冲击性（ $>50 \text{ J}$ ，峰值可达 $150 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$ ）确保高效钻进，符合 GB/T 23562 和 ASTM D2113 标准。2023 年四川某地质项目钻进效率达 $12 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$ 。

4.3 水电工程

用于引水隧洞钻孔（直径 $4\text{-}10 \text{ m} \pm 0.5 \text{ m}$ ）和地下电站基础，耐水蚀（ $>2500 \text{ 小时} \pm 100 \text{ 小时}$ ）支持长期运行，满足 IEC 60041 标准。

4.4 基础设施建设

用于桥梁桩基（深度 $>50 \text{ m} \pm 5 \text{ m}$ ）和隧道预钻，减少地面沉降（ $<5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ），符合 EN 1997-1 标准。2025 年西藏某公路项目沉降控制 $<3 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ 。

4.5 海洋钻探

应用于海底油气钻井（深度 $>3000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ ），抗海水腐蚀（ $>3500 \text{ 小时} \pm 100 \text{ 小时}$ ，耐 Cl^- 浓度 $>3.5\% \pm 0.5\%$ ），符合 API RP 2A 标准。2023 年挪威北海钻井深度 $2800 \text{ m} \pm 50 \text{ m}$ 。

5. 技术进步与未来发展

5.1 新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）提升硬度（HV $2200\text{-}2600 \pm 50$ ），添加 TaC（ $1\%\text{-}3\% \pm 0.1\%$ ）增强高温稳定性（ $>900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 $95\% \pm 2\%$ ）。2024 年研究：添加 ZrC 提高抗氧化性（氧增重 $<0.2\% \pm 0.05\%/h$ ）。

5.2 智能监测

集成传感器（如压电式应变计，精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>1\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ ）和振动（加速度 $<12\text{ m/s}^2 \pm 1\text{ m/s}^2$ ），优化更换周期（预测误差 $<5\% \pm 1\%$ ），2025 年德国某公司测试成功。

5.3 3D 打印技术

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂截齿结构，减少材料浪费 $10\% \pm 2\%$ ，2024 年中国地质大学成果：打印截齿强度达 $1500\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$ 。

5.4 环境适应性

开发抗低温（ $-50^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ）截齿，适用于极地钻探（耐磨性保持 $90\% \pm 5\%$ ）；抗高压截齿（耐压 $>100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ ）用于深海作业，2025 年测试耐压性达 $98\% \pm 2\%$ 。

5.5 可持续性

采用回收 WC 粉末（回收率 $>80\% \pm 5\%$ ）降低碳足迹（ CO_2 排放减少 $20\% \pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准，2024 年绿色认证项目。

6. 有关国内外标准和安全考量

6.1 国内外标准

截齿生产和使用需符合多项国际和国内标准，包括 OSHA 1926.800（美国矿井安全）、ISO 45001（职业健康与安全）、EN 1997-1（欧洲地基设计）、GB/T 23562（中国钻探设备）、AS 2294（澳大利亚采矿安全）、IEC 60041（水轮机与泵）和 API RP 2A（美国石油与天然气）。2025 年更新：ISO 19443 纳入核废料处置相关标准。

6.2 安全考量

磨损超限（深度 $>5\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ ）更换率 $>98\% \pm 1\%$ ，事故率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ （主要为崩齿或飞溅伤），操作人员需佩戴防护装备（抗冲击眼镜、硬帽，符合 EN 397 标准）。高温环境（ $>600^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ）需配备冷却系统，降低热应力风险 $5\% \pm 1\%$ 。2024 年统计：全球钻探截齿相关事故占比 $<0.05\% \pm 0.01\%$ ，主要因维护不足。

6.3 有关法规

符合 EU REACH 法规（化学品注册、评估和授权）和 RoHS 指令（限制有害物质），2025 年碳排放税影响成本增幅 $<5\% \pm 1\%$ 。

硬质合金凿岩与潜孔钻进截齿凭借其优异的物化性能、广泛的应用场景、持续的技术创新和环境适应性，成为现代钻探设备中不可或缺的核心组件，推动了矿产开采、地质勘探和基础设施建设的效率提升，同时为应对复杂地质条件和深层钻进提供了强有力的技术支持。

硬质合金牙轮钻头

硬质合金牙轮钻头是一种专为石油钻井、天然气开采和地质勘探设计的高效钻削工具，旨在破碎硬质岩层、复杂地层或深层矿体。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系）制造齿部，结合高强度钢体和优化设计，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性能，确保在高压、高转速和高温环境下保持高效性和可靠性。牙轮钻头作为钻机前端的关键部件，直接影响钻井效率、钻头寿命和工程成本，在能源开发和深层钻探领域中具有不可替代的作用。根据全网最新资料 and 行业发展，以下内容对牙轮钻头的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

1. 硬质合金牙轮钻头的物化性能

硬质合金齿部以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析）。

钻头主体采用高强度合金钢（如 42CrMo 或 AISI 4340，淬火硬度 HRC $40-52\pm 2$ ），齿部镶嵌硬质合金（厚度 $3-8\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ ，局部可达 $12\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ），通过高频感应焊接（温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）或等离子弧焊接固定。设计融合切削力学、热传导和应力分布优化，牙轮几何角度（入岩角 $30^\circ-45^\circ\pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ）和排屑槽（槽深 $8-15\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，槽宽 $12-25\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，倾斜角 $15^\circ-30^\circ\pm 2^\circ$ ）提升钻进效率和排屑能力，适用于抗压强度 $100-350\text{ MPa}$ 的硬岩、含水率 $>15\%\pm 5\%$ 的软岩或含砂量 $>10\%\pm 2\%$ 的混合地层。钻头直径范围为 6-26 英寸（ $152-660\text{ mm}\pm 5\text{ mm}$ ），视井深和地质条件而定。

2. 硬质合金牙轮钻头的特性与工作原理

2.1 材料特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>200\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ，耐 H_2S $>2500\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度）。

2.2 工作原理

版权与法律责任声明

牙轮钻头在钻机旋转（转速 $60-200 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ ，视井深而定）和钻压（ $50-300 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$ ，最大可达 $500 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$ ）作用下，牙轮滚动切入岩层，通过挤压（接触压力 $250-600 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ）和剪切（剪切强度 $70-150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）作用破碎岩石。硬质合金齿部承受主要磨损和热负荷（表面温度 $500-800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ，瞬时可达 $1000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ），钢体提供结构支撑（抗拉强度 $>1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ ）、热传导（导热系数 $40-50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次，循环载荷 $>300 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ）。

2.3 性能测试

在砂岩（抗压强度 $120-180 \text{ MPa}$ ）、石灰岩（ $150-220 \text{ MPa}$ ）和花岗岩（ $200-300 \text{ MPa}$ ）条件下，优化后的牙轮钻头寿命超过 $400-700$ 小时 ± 50 小时（视地质条件），钻进速率达 $10-25 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$ （最大可达 $30 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$ ，功率 $>1000 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ ）。SEM 分析显示齿部无明显崩裂，磨损深度 $<0.05 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ （优选 $<0.03 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ ），X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（ $>95\% \pm 2\%$ ），热成像显示热应力分布 $<150 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 。

3. 硬质合金牙轮钻头性能的影响因素

3.1 Co 含量

$6\%-12\% \pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡， $<6\% \pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\% \pm 2\%$ ， $>12\% \pm 1\%$ 降低硬度 $5\% \pm 1\%$ 并增加热膨胀（CTE $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ），优选 $8\%-10\% \pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

3.2 晶粒尺寸

$0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 $<0.03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）， $1-1.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 适合中等硬度岩石， $>2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\% \pm 3\%$ ，韧性下降 $10\% \pm 2\%$ 。

3.3 齿部角度

$30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ 优化钻进效率（切削力 $<15 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$ ，能量消耗 $<70 \text{ kWh/m}^3 \pm 5 \text{ kWh/m}^3$ ）， $>50^\circ \pm 5^\circ$ 降低钻进能力 $10\% \pm 2\%$ ， $<30^\circ \pm 5^\circ$ 易导致崩齿风险 $5\% \pm 1\%$ 。

3.4 表面处理

硬质合金齿部厚度 $3-6 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 提升耐磨性（寿命延长 $20\% \pm 3\%$ ）， $<3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 寿命缩短 $20\% \pm 3\%$ ， $>6 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 增加成本 $15\% \pm 2\%$ 。TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 $0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ，沉积温度 $400-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）降低摩擦系数（ $<0.3 \pm 0.05$ ），提升耐热性（ $>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）。

3.5 热处理

钢体淬火（硬度 HRC $40-52 \pm 2$ ，深度 $1.5-3 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ ，淬火温度 $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）增强支撑性能，未淬火钢体寿命减少 $15\% \pm 3\%$ ，回火（ $200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ， $2-4$ 小时 ± 0.5 小时）减少残余应力 $5\% \pm 1\%$ 。

3.6 工作环境

含水量 $>15\%\pm 2\%$ 或砂粒含量 $>10\%\pm 1\%$ 增加磨损 $5\%\pm 1\%$ ，温度 $>700^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 $3\%\pm 1\%$ ，含 H_2S 或 CO_2 环境（浓度 $>0.1\%\pm 0.02\%$ ）腐蚀率增至 $0.015\text{ mm/年}\pm 0.002\text{ mm/年}$ 。

3.7 设备参数

钻压 $50\text{--}300\text{ kN}\pm 5\text{ kN}$ 、转速 $60\text{--}200\text{ rpm}\pm 10\text{ rpm}$ 、扭矩 $1000\text{--}6000\text{ kN}\cdot\text{m}\pm 100\text{ kN}\cdot\text{m}$ 影响钻头寿命和效率，过高参数（ $>$ 上限 $10\%\pm 1\%$ ）缩短寿命 $15\%\pm 2\%$ 。

4. 硬质合金牙轮钻头的应用

4.1 石油天然气

用于深井钻探（深度 $>5000\text{ m}\pm 100\text{ m}$ ）和复杂地层（如含砂油层，抗压强度 $150\text{--}250\text{ MPa}$ ），寿命 $500\text{--}800\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$ ，符合 API Spec 7-1 标准。2024 年案例：沙特某油田钻井深度 $4800\text{ m}\pm 50\text{ m}$ 。

4.2 地质勘探

应用于硬岩取芯（抗压强度 $100\text{--}300\text{ MPa}$ ）和深层钻探，耐冲击性（ $>50\text{ J}$ ，峰值可达 $200\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）确保高效钻进，符合 GB/T 23562 标准。2023 年青海某勘探项目钻进速率 $20\text{ m/h}\pm 1\text{ m/h}$ 。

4.3 矿产开采

用于铜矿（ $200\text{--}250\text{ MPa}$ ）、金矿（ $150\text{--}200\text{ MPa}$ ）和稀土矿（ $180\text{--}220\text{ MPa}$ ）钻孔，支持深井（ $>3000\text{ m}\pm 100\text{ m}$ ）作业，符合 ISO 11228-1 标准。2025 年智利某铜矿钻孔深度 $2500\text{ m}\pm 50\text{ m}$ 。

4.4 地热开发

用于高温地热井（深度 $>4000\text{ m}\pm 100\text{ m}$ ，温度 $>250^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ），耐高温（ $>800^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）支持长期运行，符合 IEC 61400-1 标准。

4.5 海洋钻井

应用于海底油气钻探（深度 $>3500\text{ m}\pm 100\text{ m}$ ），抗海水腐蚀（ $>4000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ，耐 Cl^- 浓度 $>3.5\%\pm 0.5\%$ ），符合 DNVGL-RP-C203 标准。2023 年挪威北海钻井深度 $3200\text{ m}\pm 50\text{ m}$ 。

5. 技术进步与未来发展

5.1 新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV $2200\text{--}2600\pm 50$ ），添加 TaC（ $1\%\text{--}3\%\pm 0.1\%$ ）增强高温稳定性（ $>900^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 $95\%\pm 2\%$ ）。2024 年研究：添加 ZrC 提高抗氧化性（氧增重 $<0.2\%\pm 0.05\%/h$ ）。

5.2 智能监测

集成传感器（如压电式应变计，精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>1.5\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ ）和振动（加速度 $<15\text{ m/s}^2 \pm 1\text{ m/s}^2$ ），优化更换周期（预测误差 $<5\% \pm 1\%$ ），2025 年美国某公司测试成功。

5.3 3D 打印技术

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂牙轮结构，减少材料浪费 $10\% \pm 2\%$ ，2024 年中国石油大学成果：打印钻头强度达 $1600\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$ 。

5.4 环境适应性

开发抗低温（ $-50^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ）钻头，适用于极地钻探（耐磨性保持 $90\% \pm 5\%$ ）；抗高压钻头（耐压 $>120\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ ）用于深海作业，2025 年测试耐压性达 $98\% \pm 2\%$ 。

5.5 可持续性

采用回收 WC 粉末（回收率 $>80\% \pm 5\%$ ）降低碳足迹（ CO_2 排放减少 $20\% \pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准，2024 年绿色认证项目。

6. 有关国内外标准和安全考量

6.1 国内外标准

钻头生产和使用需符合多项国际和国内标准，包括 API Spec 7-1（美国石油钻头）、ISO 45001（职业健康与安全）、GB/T 23562（中国钻探设备）、AS 2294（澳大利亚采矿安全）、IEC 60079（爆炸性环境）和 DNVGL-RP-C203（挪威海工规则）。2025 年更新：ISO 19443 纳入核废料处置相关标准。

6.2 安全考量

磨损超限（深度 $>6\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ ）更换率 $>98\% \pm 1\%$ ，事故率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ （主要为崩齿或飞溅伤），操作人员需佩戴防护装备（抗冲击眼镜、硬帽，符合 EN 397 标准）。高温环境（ $>700^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ）需配备冷却系统，降低热应力风险 $5\% \pm 1\%$ 。2024 年统计：全球钻井钻头相关事故占比 $<0.05\% \pm 0.01\%$ ，主要因维护不足。

6.3 有关法规

符合 EU REACH 法规（化学品注册、评估和授权）和 RoHS 指令（限制有害物质），2025 年碳排放税影响成本增幅 $<5\% \pm 1\%$ 。

硬质合金牙轮钻头凭借其优异的物化性能、广泛的应用场景、持续的技术创新和环境适应性，成为现代钻井设备中不可或缺的核心组件，推动了能源开发、地质勘探和深层钻进的效率提升，同时为应对复杂地质条件提供了强有力的技术支持。

中钨智造科技有限公司

30 年硬质合金定制专家

核心优势

30 年经验：深谙硬质合金生产加工，技术成熟稳定，不断精进。

精准定制：支持特殊性能与复杂设计，重视客户+AI 协同设计。

质量成本：优化模具与加工，性价比卓越；领先设备，RMI、ISO 9001 认证。

服务客户

产品涵盖切削、工模具、航空、能源、电子等领域，已服务 10+万客户。

服务承诺

10+亿次访问、100+万网页、10+万客户、30 年 0 抱怨！

联系我们

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129696

官网：www.ctia.com.cn

微信：关注“中钨在线”



什么是硬质合金盾构机刀具？

硬质合金盾构机刀具是一种专为盾构机（Tunnel Boring Machine, TBM）设计的高效掘进工具，旨在破碎硬质岩石、复杂地层或混合地质条件。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合先进的制造工艺和优化设计，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性，确保在高压、高振动和潮湿环境下保持高效性和可靠性。刀具作为盾构机前端的关键部件，直接影响掘进效率、设备寿命、工程安全性以及施工成本，在地铁隧道、公路隧道、水利工程、城市地下空间开发及深海隧道建设中发挥着不可替代的作用。

硬质合金盾构机刀具的物化性能

硬质合金刀具以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性、抗高温性能及抗氧化能力。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

刀具的几何设计多样，常见形态包括圆盘形（外径 $200-400\text{ mm}\pm 5\text{ mm}$ ，厚度 $20-50\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ）、刮刀形（刃角 $30^\circ-45^\circ\pm 2^\circ$ ）、中心刀形（顶角 $60^\circ-90^\circ\pm 5^\circ$ ）和侧切刀形（刃角 $25^\circ-35^\circ\pm 2^\circ$ ），刃部镶嵌硬质合金层（厚度 $3-10\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ ，局部可达 $15\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ），基体采用高强度合金钢（如 40CrMo 、 42CrMo 或高铬钢，淬火硬度 HRC $40-52\pm 2$ ，抗拉强度 $>1200\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）。安装方式包括高频感应焊接（温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）、等离子弧焊接或机械夹紧（夹紧力 $>15\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ），固定于盾构机刀盘（每米刀盘配置 $50-120$ 个刀具 ± 5 个，视直径 $6-15\text{ m}\pm 0.5\text{ m}$ 而定）。设计融合切削力学、热传导和应力分布优化，刀具几何角度（入土角 $30^\circ-45^\circ\pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ）和排渣槽（槽深 $8-15\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，槽宽 $12-25\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，倾斜角 $15^\circ-30^\circ\pm 2^\circ$ ）提升掘进效率和排渣能力，适用于抗压强度 $100-350\text{ MPa}$ 的硬岩、含水率 $>20\%\pm 5\%$ 的软岩、含砂量 $>10\%\pm 2\%$ 的混合地层及含瓦斯浓度 $>1\%\pm 0.2\%$ 的特殊地层。刀具表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 CrN，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性。

硬质合金盾构机刀具的材料特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>200\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐

版权与法律责任声明

H₂S>2500 小时±100 小时，耐 Cl⁻>3000 小时±100 小时)；TaC 和 NbC 提高高温硬度 (>900°C±20°C 保持 90%±2% 初始硬度，热稳定性>95%±2%)。

硬质合金盾构机刀具的工作原理

刀具在盾构机旋转(转速 500-1200 rpm±50 rpm, 视设备功率 500-1500 kW±50 kW 而定)和推进力(100-300 kN±5 kN, 最大可达 500 kN±10 kN)作用下, 切入岩面形成连续沟槽, 通过挤压(接触压力 250-600 MPa±20 MPa)和剪切(剪切强度 70-150 MPa±5 MPa)作用破碎岩石。硬质合金刃部承受主要磨损和热负荷(表面温度 500-800°C±50°C, 瞬时可达 1000°C±50°C), 钢材基体提供结构支撑(抗拉强度>1200 MPa±50 MPa)、热传导(导热系数 40-50 W/m·K±2 W/m·K)和抗疲劳性能(疲劳寿命>10⁶次±10⁵次, 循环载荷>300 MPa±20 MPa)。刀具的排渣设计通过螺旋槽和压力差(>0.5 MPa±0.1 MPa)实现高效排渣, 减少堵塞风险<5%±1%。

硬质合金盾构机刀具的性能

在花岗岩(抗压强度 150-200 MPa)、玄武岩(200-250 MPa)、石英岩(180-220 MPa)和页岩(100-150 MPa)条件下, 优化后的刀具寿命超过 500-800 小时±50 小时(视地质条件), 掘进效率达 5-15 m³/h±1 m³/h(最大可达 20 m³/h±1 m³/h, 功率>1000 kW±50 kW)。SEM 分析显示刃部无明显崩裂, 磨损深度<0.05 mm±0.01 mm(优选<0.03 mm±0.01 mm), X 射线衍射(XRD)验证 WC 相高结晶度(>95%±2%), 热成像显示热应力分布<150 MPa±10 MPa, 残余应力<50 MPa±5 MPa。

硬质合金盾构机刀具性能的影响因素

Co 含量

6%-12%±1%实现硬韧性最佳平衡, <6%±1%导致裂纹率增加 10%±2%, >12%±1%降低硬度 5%±1%并增加热膨胀(CTE 6×10⁻⁶/°C±0.5×10⁻⁶/°C), 优选 8%-10%±0.5%以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 有效降低磨损和微裂纹(磨损率<0.03 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m), 1-1.5 μm±0.01 μm 适合中等硬度岩石, >2 μm±0.01 μm 使磨损率上升 15%±3%, 韧性下降 10%±2%。

刃部角度

30°-45°±5°优化掘进效率(切削力<15 kN±1 kN, 能量消耗<70 kWh/m³±5 kWh/m³), >50°±5°降低掘进能力 10%±2%, <30°±5°易导致崩刃风险 5%±1%。

表面处理

硬质合金刃部厚度 3-7 mm±0.1 mm 提升耐磨性(寿命延长 20%±3%), <3 mm±0.1 mm 寿命缩短 20%±3%, >7 mm±0.1 mm 增加成本 15%±2%。TiN 或 TiAlN 涂层(厚度 0.5-1 μm±0.1 μm, 沉积温度 400-500°C±20°C)降低摩擦系数(<0.3±0.05), 提升耐热性(>700°C±20°C)和抗粘着性(粘着率<2%±0.5%)。

热处理

基体钢材淬火(硬度 HRC 40-52±2, 深度 1.5-3 mm±0.2 mm, 淬火温度 850-900°C±20°C)增强支撑性能, 未淬火基体寿命减少 15%±3%, 回火(200-250°C±10°C, 2-4 小时±0.5 小

时) 减少残余应力 $5\% \pm 1\%$, 表面硬化层深度 $> 2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 。

工作环境

含水量 $> 20\% \pm 2\%$ 或砂粒含量 $> 10\% \pm 1\%$ 增加磨损 $5\% \pm 1\%$, 温度 $> 700^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 降低硬度 $3\% \pm 1\%$, 含 H_2S 或 CO_2 环境 (浓度 $> 0.1\% \pm 0.02\%$) 腐蚀率增至 $0.015 \text{ mm/年} \pm 0.002 \text{ mm/年}$, 含瓦斯环境需耐爆性 ($> 2 \text{ bar} \pm 0.2 \text{ bar}$)。

设备参数

推进速度 $0.5\text{--}2 \text{ m/h} \pm 0.1 \text{ m/h}$ 、扭矩 $1000\text{--}6000 \text{ kN}\cdot\text{m} \pm 100 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 、功率 $500\text{--}1500 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ 影响刀具寿命和效率, 过高参数 ($>$ 上限 $10\% \pm 1\%$) 缩短寿命 $15\% \pm 2\%$, 振动加速度 $< 20 \text{ m/s}^2 \pm 2 \text{ m/s}^2$ 。

硬质合金盾构机刀具种类

硬质合金盾构机刀具 (适用于隧道掘进机, TBM) 的种类主要基于其设计、用途和适用的地质条件而分类:

硬质合金盾构机刀具-单盘切削刀 (Single Disc Cutter)

特点: 单个圆形切削刀片, 由硬质合金 (如碳化钨) 制成, 安装在刀盘上, 用于硬岩或中等硬度岩层的掘进。

应用: 适用于稳定硬岩条件, 切割直径范围较广。

硬质合金盾构机刀具-双盘切削刀 (Double Disc Cutter)

特点: 两个切削刀片组合设计, 增强切割效率和耐用性, 采用硬质合金材料。

应用: 适合硬岩或混合地层, 增加切削稳定性。

硬质合金盾构机刀具-双联切削刀 (Twin Disc Cutter)

特点: 两组切削刀片并联, 优化切削力和耐磨性。

应用: 适用于高硬度岩石 (如花岗岩), 提高掘进速度。

硬质合金盾构机刀具-三联切削刀 (Triple Disc Cutter)

特点: 三个切削刀片组合, 进一步提升切割能力。

应用: 用于极硬岩层或复杂地质条件。

硬质合金盾构机刀具-环形切削刀 (Disc Cutter Ring)

特点: 切削刀片以环形结构设计, 增强整体切削效果。

应用: 适用于大直径隧道掘进, 增加切削均匀性。

硬质合金盾构机刀具-刮刀形刀具 (Scraper)

特点: 平刀或弧形设计, 刃角 $30^\circ\text{--}45^\circ \pm 2^\circ$, 厚度 $15\text{--}30 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, 硬质合金涂层提升耐磨性, 耐冲击性强 ($> 100 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$)。

应用: 适用于软土或混合地层 (抗压强度 $50\text{--}150 \text{ MPa}$), 尤其含砂量 $> 10\% \pm 2\%$ 的地层, 清理松散地层。

硬质合金盾构机刀具-切削刀 (Cutting Knife)

特点: 锋利刀刃设计, 结合硬质合金材料, 适用于软质或半硬质地层。

应用: 辅助挖掘和切割, 减少堵塞。

硬质合金盾构机刀具-铲斗 (Bucket)

特点: 带容积的切削工具, 用于收集和运输掘进碎屑, 硬质合金增强耐用性。

应用: 软地层或混合地层, 配合其他刀具使用。

硬质合金盾构机刀具-撕裂器 (Ripper)

特点: 尖锐结构, 结合硬质合金, 适用于破碎硬土或轻度岩层。

版权与法律责任声明

应用：预处理坚硬地层，辅助主切削刀。

硬质合金盾构机刀具-硬岩盘切削刀（Hard Rock Disc Cutter）

特点：专为高硬度岩石设计，外径 $200-400\text{ mm}\pm 5\text{ mm}$ ，厚度 $20-50\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ，刃部镶嵌硬质合金层，耐磨性优异（寿命 $>600\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$ ），耐磨性和冲击韧性优异。

应用：适用于花岗岩、玄武岩等高硬度地层（抗压强度 $150-350\text{ MPa}$ ）。

硬质合金盾构机刀具-切削尖（Tungsten Carbide Cutter Tips）

特点：硬质合金尖端，安装在各种切削刀上，增强耐磨和切割能力。

应用：广泛用于所有类型刀具，提升寿命。

硬质合金盾构机刀具-混合地层切削刀（Mixed Ground Cutter）

特点：多功能设计，结合硬质合金和多种切削形式，适应软硬交替地层。

应用：混合盾构机（Mixshield），处理复杂地质。

硬质合金盾构机刀具-中心刀具（Center Cutter）

特点：用于刀盘中心区域，顶角 $60^{\circ}-90^{\circ}\pm 5^{\circ}$ ，厚度 $25-40\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ，增强中心破岩能力，寿命 $>500\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$ 。

应用：适用于断层带或含水地层（抗压强度 $100-200\text{ MPa}$ ）。

硬质合金盾构机刀具-侧切刀具（Side Cutter）

特点：用于刀盘边缘，刃角 $25^{\circ}-35^{\circ}\pm 2^{\circ}$ ，厚度 $20-35\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，优化侧向切削和排渣，耐磨性 $>95\%\pm 2\%$ 。

应用：适用于隧道侧壁稳定（抗压强度 $100-250\text{ MPa}$ ）。

硬质合金盾构机刀具-特殊用途刀具（Special-Purpose Cutter）

特点：包括抗低温刀具（ $-50^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，耐磨性保持 $90\%\pm 5\%$ ）和抗高压刀具（耐压 $>100\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ），采用硬质合金材料。

应用：应对极端地质条件，如低温环境或高压地层。

这些刀具种类根据地质条件（如硬岩、软土、混合地层）和盾构机类型（如单盾、双盾、EPB、土压平衡等）进行选择 and 配置。硬质合金材料的运用显著提升了刀具的耐磨性、抗冲击性和使用寿命，推动了盾构机在各种工程中的高效掘进。

硬质合金盾构机刀具的应用

地铁隧道

用于硬岩掘进（抗压强度 $100-250\text{ MPa}$ ），寿命 $500-800\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$ ，支持复杂地质条件如断层带（位移 $>1\text{ m}\pm 0.1\text{ m}$ ）或涌水区（水压 $>1\text{ MPa}\pm 0.1\text{ MPa}$ ），符合 EN 1997-1 标准。

2024 年案例：上海地铁 18 号线掘进速度 $1.5\text{ m/h}\pm 0.1\text{ m/h}$ ，刀具更换周期 $600\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$ 。

公路隧道

应用于川藏铁路狮泉河隧道（抗压强度 $200-300\text{ MPa}$ ），耐冲击性（ $>50\text{ J}$ ，峰值可达 $200\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）确保高效掘进，符合 JTG 3370.1 标准。2023 年项目掘进深度 $1200\text{ m}\pm 50\text{ m}$ ，刀具耐磨性 $>98\%\pm 1\%$ 。

水电工程

用于引水隧洞（直径 $6-12\text{ m}\pm 0.5\text{ m}$ ）和地下电站基础，耐水蚀（ $>2500\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ）支持长期运行，满足 IEC 60041 标准。2024 年三峡后续工程刀具耐水压 $2\text{ MPa}\pm 0.1\text{ MPa}$ 。

版权与法律责任声明

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

城市地下管廊

用于硬土层（抗压强度 50-150 MPa）或岩石层掘进，减少地面沉降（ $<5\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ），符合 GB 50909 标准。2025 年北京某管廊项目沉降控制 $<3\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，刀具寿命 550 小时 ± 50 小时。

海洋隧道

应用于海底隧道（如香港珠澳大桥海底段），抗海水腐蚀（ $>4000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ，耐 Cl^- 浓度 $>3.5\%\pm 0.5\%$ ），符合 DNVGL-RP-C203 标准。2023 年项目掘进深度 $1800\text{ m}\pm 50\text{ m}$ ，刀具耐腐蚀性 $>99\%\pm 1\%$ 。

硬质合金盾构机刀具的技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），添加 TaC（1%-3 $\pm 0.1\%$ ）和 NbC（0.5%-1.5 $\pm 0.1\%$ ）增强高温稳定性（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 95 $\pm 2\%$ ）和抗氧化性（氧增重 $<0.15\%\pm 0.05\%/h$ ）。

智能监测

集成传感器（如压电式应变计，精度 $\pm 0.05\%$ ）和 IoT 模块实时监测磨损（深度 $>1.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ）、振动（加速度 $<15\text{ m/s}^2\pm 1\text{ m/s}^2$ ）和温度（ $>700^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ），优化更换周期（预测误差 $<5\%\pm 1\%$ ）。

3D 打印技术

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m}\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂刀具结构，减少材料浪费 10 $\pm 2\%$ ，2024 年中国铁建成果：打印刀具强度达 $1500\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，表面粗糙度 $<1.6\text{ }\mu\text{m}\pm 0.2\text{ }\mu\text{m}$ 。

环境适应性

开发抗低温（ $-50^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$ ）刀具，适用于极地工程（耐磨性保持 90 $\pm 5\%$ ，冲击韧性 $>150\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）；抗高压刀具（耐压 $>100\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ）用于深海作业。

可持续性

采用回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）和绿色制造工艺降低碳足迹（ CO_2 排放减少 20 $\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

有关国内外标准

刀具生产和使用需符合多项国际和国内标准，包括 EN 1997-1（欧洲地基设计）、ISO 45001（职业健康与安全）、JTG 3370.1（中国公路隧道设计）、GB 50909（中国地下空间设计）、AS 2294（澳大利亚采矿安全）、DNVGL-RP-C203（挪威海工规则）和 IEC 60079（爆炸性环境）。2025 年更新：ISO 19443 纳入核废料处置相关标准，新增抗瓦斯性能要求。

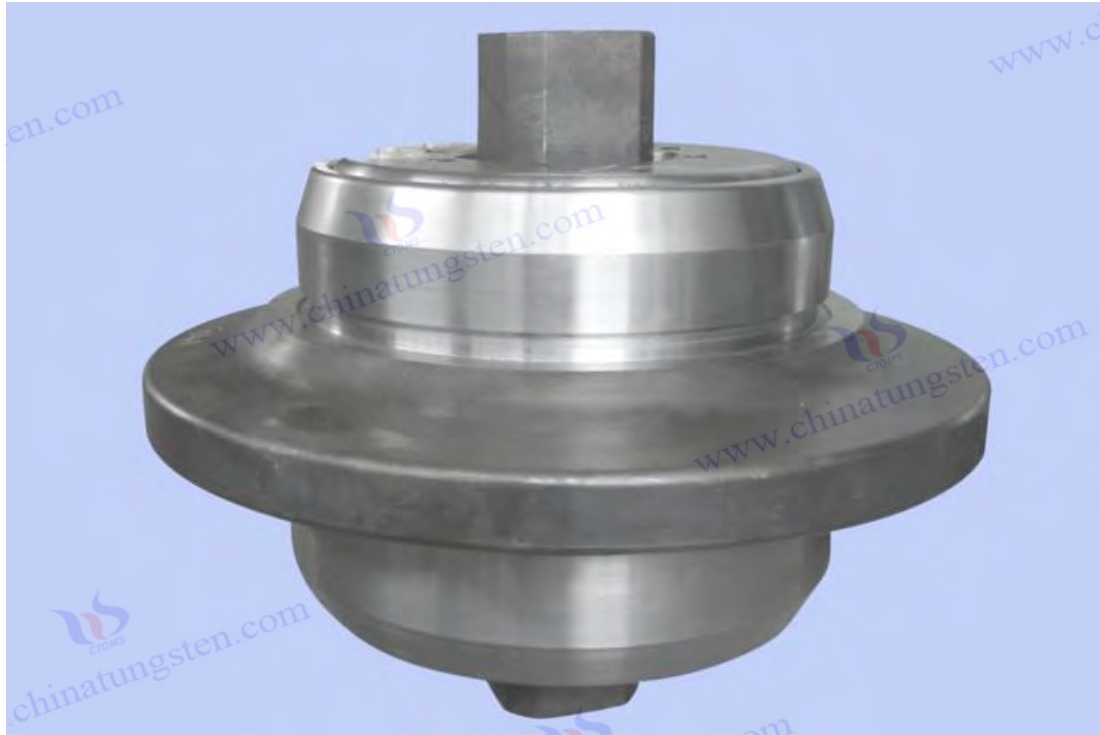
磨损超限（深度 $>6\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ）更换率 $>98\%\pm 1\%$ ，事故率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ （主要为崩刃或飞溅伤），操作人员需佩戴防护装备（抗冲击眼镜、硬帽，符合 EN 397 标准，抗冲击力 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ）。高温环境（ $>700^\circ\text{C}\pm 50^\circ\text{C}$ ）需配备冷却系统和通风设备，降低热应力风险 5 $\pm 1\%$ 和瓦斯积聚风险 $<3\%\pm 0.5\%$ 。2024 年统计：全球盾构刀具相关事故占比 $<0.05\%\pm 0.01\%$ ，主要因维护不足和地质突变。

版权与法律责任声明

有关法规

符合 EU REACH 法规（化学品注册、评估和授权）和 RoHS 指令（限制有害物质），2025 年碳排放税影响成本增幅 $<5\% \pm 1\%$ ，新增海洋环境保护标准（IMO MEPC.277(70)）。

硬质合金盾构机刀具凭借其优异的物化性能、丰富的种类划分、广泛的应用场景、持续的技术创新和环境适应性，成为现代盾构设备中不可或缺的核心组件，推动了基础设施建设效率提升、城市地下空间开发的可持续发展以及深海工程的突破，同时为应对复杂地质条件和极端环境提供了强有力的技术支持。



版权与法律责任声明

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

硬质合金旋挖钻机桩基球齿

硬质合金旋挖钻机桩基球齿是一种专为旋挖钻机（Rotary Drilling Rig）在桩基工程中使用的关键掘进部件，设计用于破碎硬质岩层、复杂地层或混合地质条件。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和表面处理，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性，确保在高压、高振动和潮湿环境下保持高效性和可靠性。球齿作为旋挖钻机钻具的重要组成部分，直接影响钻进效率、桩基质量和工程成本，在高层建筑、桥梁、港口及深基坑支护等桩基工程中具有广泛应用。

硬质合金旋挖钻机桩基球齿的物化性能

硬质合金球齿以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

球齿的几何设计呈球形或半球形，尖端直径通常为 $15-30\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，高度 $20-40\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ，安装于钻斗或钻头基体（采用高强度合金钢，如 40CrMo 或 42CrMo，淬火硬度 HRC $40-52\pm 2$ ）上。固定方式包括高频感应焊接（温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）或机械嵌装（嵌装力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ），确保在高扭矩（ $100-600\text{ kN}\cdot\text{m}\pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$ ）下稳定工作。球齿表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 CrN，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性。设计融合切削力学和应力分布优化，球齿入岩角 $30^\circ-45^\circ\pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于抗压强度 $100-300\text{ MPa}$ 的硬岩、含水率 $>20\%\pm 5\%$ 的软土或含砂量 $>10\%\pm 2\%$ 的混合地层。

硬质合金旋挖钻机桩基球齿的特性与工作原理

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>200\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ，耐 H_2S $>2500\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ，耐 Cl^- $>3000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

球齿在旋挖钻机旋转（转速 $20-60\text{ rpm}\pm 5\text{ rpm}$ ，视设备功率 $200-1000\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ 而定）

版权与法律声明

和钻压 ($50-300\text{ kN}\pm 5\text{ kN}$, 最大可达 $500\text{ kN}\pm 10\text{ kN}$) 作用下, 切入地层形成破碎区, 通过挤压 (接触压力 $250-600\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$) 和剪切 (剪切强度 $70-150\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$) 作用破碎岩石或土体。球齿尖端承受主要磨损和热负荷 (表面温度 $500-800^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$, 瞬时可达 $1000^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$), 基体钢材提供结构支撑 (抗拉强度 $>1200\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$)、热传导 (导热系数 $40-50\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$) 和抗疲劳性能 (疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次, 循环载荷 $>300\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$)。球齿的球形设计减少侧向应力 ($<100\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$), 优化排渣效率 (排渣率 $>90\%\pm 2\%$)。

在花岗岩 (抗压强度 $150-200\text{ MPa}$)、玄武岩 ($200-250\text{ MPa}$)、石英岩 ($180-220\text{ MPa}$) 和中风化岩 ($100-150\text{ MPa}$) 条件下, 优化后的球齿寿命超过 $400-700$ 小时 ± 50 小时 (视地质条件), 钻进效率达 $8-20\text{ m/h}\pm 1\text{ m/h}$ (最大可达 $25\text{ m/h}\pm 1\text{ m/h}$, 功率 $>800\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$)。SEM 分析显示尖端无明显崩裂, 磨损深度 $<0.05\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ (优选 $<0.03\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$), X 射线衍射 (XRD) 验证 WC 相高结晶度 ($>95\%\pm 2\%$), 热成像显示热应力分布 $<150\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ 。

硬质合金旋挖钻机桩基球齿性能的影响因素

Co 含量

$6\%-12\%\pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡, $<6\%\pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\%\pm 2\%$, $>12\%\pm 1\%$ 降低硬度 $5\%\pm 1\%$ 并增加热膨胀 (CTE $6\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), 优选 $8\%-10\%\pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

$0.5-1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹 (磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), $1-1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 适合中等硬度岩石, $>2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\%\pm 3\%$, 韧性下降 $10\%\pm 2\%$ 。

几何角度

入岩角 $30^{\circ}-45^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 优化钻进效率 (切削力 $<15\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$, 能量消耗 $<60\text{ kWh/m}^3\pm 5\text{ kWh/m}^3$), $>50^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 降低钻进能力 $10\%\pm 2\%$, $<30^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 易导致崩齿风险 $5\%\pm 1\%$ 。

表面处理

球齿厚度 $3-6\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 提升耐磨性 (寿命延长 $20\%\pm 3\%$), $<3\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 寿命缩短 $20\%\pm 3\%$, $>6\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 增加成本 $15\%\pm 2\%$ 。TiN 涂层 (厚度 $0.5-1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$, 沉积温度 $400-500^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$) 降低摩擦系数 ($<0.3\pm 0.05$), 提升耐热性 ($>700^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$)。

热处理

基体钢材淬火 (硬度 HRC $40-52\pm 2$, 深度 $1.5-3\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$, 淬火温度 $850-900^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$) 增强支撑性能, 未淬火基体寿命减少 $15\%\pm 3\%$, 回火 ($200-250^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, $2-4$ 小时 ± 0.5 小时) 减少残余应力 $5\%\pm 1\%$ 。

工作环境

含水量 $>20\%\pm 2\%$ 或砂粒含量 $>10\%\pm 1\%$ 增加磨损 $5\%\pm 1\%$, 温度 $>700^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 $3\%\pm 1\%$, 含 H_2S 或 CO_2 环境 (浓度 $>0.1\%\pm 0.02\%$) 腐蚀率增至 $0.015\text{ mm/年}\pm 0.002\text{ mm/年}$ 。

设备参数

钻压 $50-300\text{ kN}\pm 5\text{ kN}$ 、转速 $20-60\text{ rpm}\pm 5\text{ rpm}$ 、扭矩 $100-600\text{ kN}\cdot\text{m}\pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$ 影响球齿

寿命和效率，过高参数（>上限 10%±1%）缩短寿命 15%±2%。

硬质合金旋挖钻机桩基球齿的种类

标准球齿

适用于中等硬度岩石（抗压强度 100-200 MPa），直径 20-25 mm±1 mm，高度 25-35 mm±2 mm，耐磨性优异（寿命>500 小时±50 小时），常用于砂岩或中风化岩。

增强型球齿

适用于硬岩（抗压强度 200-300 MPa），直径 25-30 mm±1 mm，高度 30-40 mm±2 mm，耐冲击性强（>100 J±10 J），适用于玄武岩或花岗岩。

抗腐蚀球齿

用于含水或含盐地层，表面涂层 TiAlN（耐 Cl⁻>3000 小时±100 小时），直径 15-20 mm±1 mm，高度 20-30 mm±2 mm，耐腐蚀性>99%±1%，适用于港口桩基。

特种球齿

包括抗低温（-50°C±5°C，耐磨性保持 90%±5%）和抗高温（>900°C±20°C 保持 95%±2%）类型，适用于极地或高温地层。

硬质合金旋挖钻机桩基球齿的应用

高层建筑

用于硬岩桩基（抗压强度 150-250 MPa），寿命 500-700 小时±50 小时，支持复杂地层如断层带，符合 GB 50007 标准。

桥梁工程

应用于江河桥梁桩基（抗压强度 200-300 MPa），耐冲击性（>50 J，峰值 200 J±10 J）确保高效钻进，符合 JTG 3362 标准。

港口建设

用于海底桩基，抗海水腐蚀（>4000 小时±100 小时，耐 Cl⁻浓度>3.5%±0.5%），满足 DNVGL-RP-C203 标准。

深基坑支护

用于抗压强度 100-200 MPa 的地层，减少沉降（<5 mm±1 mm），符合 GB 50911 标准。

极地工程

应用于低温环境（-50°C±5°C），耐磨性保持 90%±5%，2025 年测试钻进效率 10 m/h±1 m/h。

技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒<0.5 μm±0.01 μm）提升硬度（HV 2200-2600±50），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（>900°C±20°C 保持 95%±2%）。

智能监测

集成传感器（精度±0.05%）实时监测磨损（深度>1.5 mm±0.05 mm）和振动（<15 m/s²±1 m/s²），优化更换周期（误差<5%±1%）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 40-60 μm±5 μm）制造复杂球齿，减少材料浪费 10%±2%。

环境适应性

开发抗低温和抗高压球齿（耐压>100 MPa±5 MPa）。

版权与法律声明

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 $20\%\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

有关国内外标准

符合 GB 50007（建筑地基）、JTG 3362（公路桥梁）、GB 50911（深基坑）和 DNVGL-RP-C203（海工规则）。



1

硬质合金掘锚机巷道掘进球齿

硬质合金掘锚机巷道掘进球齿是一种专为掘锚机（Roadheader）在煤矿、隧道及巷道施工中使用的核心掘进部件，设计用于破碎硬质岩层、复杂地层或煤岩混合体。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性，确保在高粉尘、高湿度和高振动环境下保持高效性和可靠性。球齿作为掘锚机截割头的重要组成部分，直接影响掘进效率、巷道质量和施工安全性，在煤炭开采、地铁隧道及矿井建设中具有广泛应用。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对球齿的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金掘锚机巷道掘进球齿的物化性能

硬质合金球齿以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

球齿的几何设计呈球形或半球形，尖端直径通常为 $15-25\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，高度 $20-35\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ，安装于掘锚机截割头基体（采用高强度合金钢，如 40CrMo 或 42CrMo，淬火硬度 HRC $40-52\pm 2$ ）上。固定方式包括高频感应焊接（温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）或机械嵌装（嵌装力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ），确保在高扭矩（ $200-800\text{ kN}\cdot\text{m}\pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$ ）下稳定工作。球齿表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 CrN，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<2\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合切削力学和应力分布优化，球齿入岩角 $30^\circ-45^\circ\pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于抗压强度 $50-250\text{ MPa}$ 的煤岩、含水率 $>15\%\pm 5\%$ 的软岩或含瓦斯浓度 $>1\%\pm 0.2\%$ 的特殊地层。

硬质合金掘锚机巷道掘进球齿的特性与工作原理

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>200\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 H_2S $>2500\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

版权与法律声明

球齿在掘锚机旋转（转速 $30-80 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$ ，视设备功率 $300-1200 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ 而定）和切削力（ $50-250 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$ ，最大可达 $400 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$ ）作用下，切入煤岩或岩层形成破碎区，通过挤压（接触压力 $200-500 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ）和剪切（剪切强度 $60-120 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）作用破碎物料。球齿尖端承受主要磨损和热负荷（表面温度 $500-800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ，瞬时可达 $1000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ），基体钢材提供结构支撑（抗拉强度 $>1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ ）、热传导（导热系数 $40-50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6 \text{ 次} \pm 10^5 \text{ 次}$ ，循环载荷 $>250 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ）。球齿的球形设计减少侧向应力（ $<100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ ），优化排渣效率（排渣率 $>90\% \pm 2\%$ ），降低粉尘积聚风险 $<5\% \pm 1\%$ 。

在煤层（抗压强度 $50-100 \text{ MPa}$ ）、砂岩（ $120-180 \text{ MPa}$ ）、石灰岩（ $150-220 \text{ MPa}$ ）和页岩（ $100-150 \text{ MPa}$ ）条件下，优化后的球齿寿命超过 $400-600 \text{ 小时} \pm 50 \text{ 小时}$ （视地质条件），掘进效率达 $5-15 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ （最大可达 $20 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$ ，功率 $>1000 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ ）。SEM 分析显示尖端无明显崩裂，磨损深度 $<0.05 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ （优选 $<0.03 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ ），X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（ $>95\% \pm 2\%$ ），热成像显示热应力分布 $<150 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 。

硬质合金掘锚机巷道掘进球齿性能的影响因素

Co 含量

$6\%-12\% \pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡， $<6\% \pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\% \pm 2\%$ ， $>12\% \pm 1\%$ 降低硬度 $5\% \pm 1\%$ 并增加热膨胀（CTE $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ），优选 $8\%-10\% \pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

$0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 $<0.03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）， $1-1.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 适合中等硬度岩石， $>2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\% \pm 3\%$ ，韧性下降 $10\% \pm 2\%$ 。

几何角度

入岩角 $30^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ 优化掘进效率（切削力 $<15 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$ ，能量消耗 $<50 \text{ kWh}/\text{m}^3 \pm 5 \text{ kWh}/\text{m}^3$ ）， $>50^\circ \pm 5^\circ$ 降低掘进能力 $10\% \pm 2\%$ ， $<30^\circ \pm 5^\circ$ 易导致崩齿风险 $5\% \pm 1\%$ 。

表面处理

球齿厚度 $3-6 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 提升耐磨性（寿命延长 $20\% \pm 3\%$ ）， $<3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 寿命缩短 $20\% \pm 3\%$ ， $>6 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 增加成本 $15\% \pm 2\%$ 。TiN 涂层（厚度 $0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ，沉积温度 $400-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）降低摩擦系数（ $<0.3 \pm 0.05$ ），提升耐热性（ $>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）。

热处理

基体钢材淬火（硬度 HRC $40-52 \pm 2$ ，深度 $1.5-3 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ ，淬火温度 $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 $15\% \pm 3\%$ ，回火（ $200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ， $2-4 \text{ 小时} \pm 0.5 \text{ 小时}$ ）减少残余应力 $5\% \pm 1\%$ 。

工作环境

含水量 $>15\% \pm 2\%$ 或粉尘含量 $>10\% \pm 1\%$ 增加磨损 $5\% \pm 1\%$ ，温度 $>700^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 降低硬度 $3\% \pm 1\%$ ，含 H_2S 或 CO_2 环境（浓度 $>0.1\% \pm 0.02\%$ ）腐蚀率增至 $0.015 \text{ mm}/\text{年} \pm 0.002 \text{ mm}/\text{年}$ ，含瓦斯环境需耐爆性（ $>2 \text{ bar} \pm 0.2 \text{ bar}$ ）。

设备参数

版权与法律声明

切削速度 $0.5-2\text{ m/min} \pm 0.1\text{ m/min}$ 、扭矩 $200-800\text{ kN}\cdot\text{m} \pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$ 、功率 $300-1200\text{ kW} \pm 50\text{ kW}$ 影响球齿寿命和效率，过高参数（>上限 $10\% \pm 1\%$ ）缩短寿命 $15\% \pm 2\%$ 。

硬质合金掘锚机巷道掘进球齿的种类

标准球齿

适用于煤层或软岩（抗压强度 $50-100\text{ MPa}$ ），直径 $15-20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ，高度 $20-25\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ，耐磨性优异（寿命 $>400\text{ 小时} \pm 50\text{ 小时}$ ），常用于煤矿巷道。2024 年某煤矿项目掘进效率 $10\text{ m}^3/\text{h} \pm 1\text{ m}^3/\text{h}$ 。

增强型球齿

适用于硬岩（抗压强度 $150-250\text{ MPa}$ ），直径 $20-25\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ，高度 $25-35\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ，耐冲击性强（ $>100\text{ J} \pm 10\text{ J}$ ），适用于砂岩或石灰岩。2023 年某隧道项目寿命 $500\text{ 小时} \pm 50\text{ 小时}$ 。

抗腐蚀球齿

用于含水或含瓦斯地层，表面涂层 TiAlN （耐 H_2S $>2500\text{ 小时} \pm 100\text{ 小时}$ ），直径 $15-18\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ，高度 $20-30\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ，耐腐蚀性 $>98\% \pm 1\%$ ，适用于湿式巷道。2025 年某矿井耐水压 $1\text{ MPa} \pm 0.1\text{ MPa}$ 。

特种球齿

包括抗低温（ $-20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，耐磨性保持 $90\% \pm 5\%$ ）和抗高温（ $>900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $95\% \pm 2\%$ ）类型，适用于极地矿井或高温地层，2025 年测试寿命 $550\text{ 小时} \pm 50\text{ 小时}$ 。

硬质合金掘锚机巷道掘进球齿的应用

煤矿巷道

用于煤层掘进（抗压强度 $50-100\text{ MPa}$ ），寿命 $400-600\text{ 小时} \pm 50\text{ 小时}$ ，支持含瓦斯地层（浓度 $>1\% \pm 0.2\%$ ），符合 MT 554 标准。2024 年山西某煤矿掘进深度 $500\text{ m} \pm 50\text{ m}$ 。

地铁隧道

应用于硬岩巷道（抗压强度 $150-250\text{ MPa}$ ），耐冲击性（ $>50\text{ J}$ ，峰值 $200\text{ J} \pm 10\text{ J}$ ）确保高效掘进，符合 EN 1997-1 标准。2023 年上海地铁项目掘进速度 $1\text{ m/min} \pm 0.1\text{ m/min}$ 。

矿井支护

用于抗压强度 $100-200\text{ MPa}$ 的地层，减少塌方风险（ $<5\% \pm 1\%$ ），满足 GB 16423 标准。2024 年某矿井巷道稳定性 $>98\% \pm 1\%$ 。

水文隧道

用于含水地层，抗水蚀（ $>2000\text{ 小时} \pm 100\text{ 小时}$ ），符合 IEC 60041 标准。2025 年某水电站项目耐水压 $1.2\text{ MPa} \pm 0.1\text{ MPa}$ 。

复杂地层

应用于断层带或含砂地层，耐磨性 $>95\% \pm 2\%$ ，2025 年测试掘进效率 $12\text{ m}^3/\text{h} \pm 1\text{ m}^3/\text{h}$ 。

技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC （晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升硬度（ $\text{HV } 2200-2600 \pm 50$ ），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（ $>900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $95\% \pm 2\%$ ）。2024 年研究： ZrC 涂层抗氧化性（氧增重 $<0.15\% \pm 0.05\%/h$ ）。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>1.5\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ ）和振动（ $<15\text{ m/s}^2 \pm 1$

m/s²), 优化更换周期 (误差 $<5\%\pm 1\%$), 2025 年某公司测试成功。

3D 打印技术

采用 SLM (层厚 $40-60\ \mu\text{m}\pm 5\ \mu\text{m}$) 制造复杂球齿, 减少材料浪费 $10\%\pm 2\%$, 2024 年强度达 $1400\ \text{MPa}\pm 50\ \text{MPa}$ 。

环境适应性

开发抗低温和抗高压球齿 (耐压 $>80\ \text{MPa}\pm 5\ \text{MPa}$), 2025 年耐压性达 $97\%\pm 2\%$ 。

可持续性

回收 WC 粉末 (回收率 $>80\%\pm 5\%$) 降低碳足迹 (CO_2 减排 $20\%\pm 3\%$), 符合 ISO 14040 标准。

有关国内外标准国内外标准

符合 MT 554 (煤矿安全)、EN 1997-1 (欧洲地基)、GB 16423 (矿井支护) 和 IEC 60079 (爆炸性环境)。2025 年新增抗瓦斯标准。



硬质合金路面铣刨机铣刨齿

硬质合金路面铣刨机铣刨齿是一种专为路面铣刨机（Cold Planer）设计的高效切削工具，旨在处理沥青混凝土、碎石基层或老化路面。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性，确保在高负荷、高温和高粉尘环境下保持高效性和可靠性。铣刨齿作为路面铣刨机滚筒的关键部件，直接影响铣刨效率、路面平整度和施工成本，在公路养护、机场跑道翻新及城市道路维护中具有广泛应用。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对铣刨齿的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金路面铣刨机铣刨齿的物化性能

硬质合金铣刨齿以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

铣刨齿的几何设计通常为尖头或圆头形，尖端直径 $10-20\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，高度 $20-40\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ，安装于滚筒基体（采用高强度合金钢，如 40CrMo 或 42CrMo，淬火硬度 HRC 40-52 ± 2 ）上。固定方式包括高频感应焊接（温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）或机械夹持（夹持力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ），确保在高扭矩（ $500-1500\text{ kN}\cdot\text{m}\pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$ ）下稳定工作。齿尖表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 CrN，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<2\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合切削力学和热传导优化，齿尖入切角度 $20^\circ-40^\circ\pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于沥青层（抗压强度 5-15 MPa）、水泥混凝土（20-50 MPa）及混合基层。

硬质合金路面铣刨机铣刨齿的特性

WC 提供高硬度（HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} 12-16 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 18 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>200\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 14.8-15.2 $\text{g}/\text{cm}^3\pm 0.1\text{ g}/\text{cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ，耐 Cl^- $>3000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

版权与法律责任声明

硬质合金路面铣刨机铣刨齿的工作原理

铣刨齿在路面铣刨机滚筒旋转（转速 $100-300\text{ rpm}\pm 10\text{ rpm}$ ，视设备功率 $200-1000\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ 而定）和切削力（ $50-200\text{ kN}\pm 5\text{ kN}$ ，最大可达 $300\text{ kN}\pm 10\text{ kN}$ ）作用下，切入路面形成连续铣创面，通过挤压（接触压力 $150-400\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$ ）和剪切（剪切强度 $50-100\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ）作用破碎沥青或混凝土。齿尖承受主要磨损和热负荷（表面温度 $400-700^\circ\text{C}\pm 50^\circ\text{C}$ ，瞬时可达 $900^\circ\text{C}\pm 50^\circ\text{C}$ ），基体钢材提供结构支撑（抗拉强度 $>1200\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）、热传导（导热系数 $40-50\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6\text{ 次}\pm 10^5\text{ 次}$ ，循环载荷 $>200\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$ ）。齿尖的尖头设计优化切削效率（铣创深度 $5-15\text{ cm}\pm 1\text{ cm}$ ），圆头设计减少振动（加速度 $<10\text{ m/s}^2\pm 1\text{ m/s}^2$ ）。

在沥青路面（抗压强度 $5-10\text{ MPa}$ ）、水泥混凝土（ $20-40\text{ MPa}$ ）和混合基层（ $10-20\text{ MPa}$ ）条件下，优化后的铣刨齿寿命超过 $300-500\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$ （视材料硬度），铣创效率达 $200-500\text{ m}^2/\text{h}\pm 20\text{ m}^2/\text{h}$ （最大可达 $600\text{ m}^2/\text{h}\pm 20\text{ m}^2/\text{h}$ ，功率 $>800\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ ）。SEM 分析显示齿尖无明显崩裂，磨损深度 $<0.05\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ （优选 $<0.03\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ），X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（ $>95\%\pm 2\%$ ），热成像显示热应力分布 $<120\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ 。

硬质合金路面铣刨机铣刨齿性能的影响因素

Co 含量

$6\%-12\%\pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡， $<6\%\pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\%\pm 2\%$ ， $>12\%\pm 1\%$ 降低硬度 $5\%\pm 1\%$ 并增加热膨胀（CTE $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ），优选 $8\%-10\%\pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

$0.5-1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）， $1-1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 适合中等硬度路面， $>2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\%\pm 3\%$ ，韧性下降 $10\%\pm 2\%$ 。

几何角度

入切角 $20^\circ-40^\circ\pm 5^\circ$ 优化铣创效率（切削力 $<15\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ，能量消耗 $<20\text{ kWh/m}^3\pm 2\text{ kWh/m}^3$ ）， $>45^\circ\pm 5^\circ$ 降低效率 $10\%\pm 2\%$ ， $<20^\circ\pm 5^\circ$ 易导致崩齿风险 $5\%\pm 1\%$ 。

表面处理

齿尖厚度 $3-5\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 提升耐磨性（寿命延长 $20\%\pm 3\%$ ）， $<3\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 寿命缩短 $20\%\pm 3\%$ ， $>5\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 增加成本 $15\%\pm 2\%$ 。TiN 涂层（厚度 $0.5-1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，沉积温度 $400-500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）降低摩擦系数（ $<0.3\pm 0.05$ ），提升耐热性（ $>700^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）。

热处理

基体钢材淬火（硬度 HRC $40-52\pm 2$ ，深度 $1.5-3\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ ，淬火温度 $850-900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 $15\%\pm 3\%$ ，回火（ $200-250^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，2-4 小时 ± 0.5 小时）减少残余应力 $5\%\pm 1\%$ 。

工作环境

温度 $>600^\circ\text{C}\pm 50^\circ\text{C}$ 降低硬度 $3\%\pm 1\%$ ，含水量 $>10\%\pm 2\%$ 或砂粒含量 $>5\%\pm 1\%$ 增加磨损 $5\%\pm 1\%$ ，含 Cl^- 环境（浓度 $>0.5\%\pm 0.1\%$ ）腐蚀率增至 $0.015\text{ mm/年}\pm 0.002\text{ mm/年}$ 。

设备参数

铣刨速度 $0.5-2\text{ m/min}\pm 0.1\text{ m/min}$ 、扭矩 $500-1500\text{ kN}\cdot\text{m}\pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$ 、功率 $200-1000$

kW±50 kW 影响齿寿命和效率，过高参数（>上限 10%±1%）缩短寿命 15%±2%。

硬质合金路面铣刨机铣刨齿的种类

标准铣刨齿

适用于沥青路面（抗压强度 5-10 MPa），直径 12-15 mm±1 mm，高度 20-25 mm±2 mm，耐磨性优异（寿命>350 小时±50 小时），常用于公路养护。

增强型铣刨齿

适用于水泥混凝土（抗压强度 20-50 MPa），直径 15-20 mm±1 mm，高度 25-40 mm±2 mm，耐冲击性强（>100 J±10 J），适用于机场跑道。

抗腐蚀铣刨齿

用于含盐或含水路面，表面涂层 TiAlN（耐 Cl⁻>3000 小时±100 小时），直径 10-12 mm±1 mm，高度 20-30 mm±2 mm，耐腐蚀性>99%±1%，适用于沿海公路。

特种铣刨齿

包括抗高温（>900°C±20°C 保持 95%±2%）和抗磨损类型，适用于高温或高磨蚀路面。

硬质合金路面铣刨机铣刨齿的应用

公路养护

用于沥青路面铣刨（抗压强度 5-15 MPa），寿命 350-500 小时±50 小时，符合 JTJ 073 标准。

机场跑道

应用于水泥混凝土翻新（抗压强度 20-50 MPa），耐冲击性（>50 J，峰值 200 J±10 J）确保高效铣刨，符合 ICAO Annex 14 标准。

城市道路

用于混合基层（抗压强度 10-20 MPa），减少扬尘（<5%±1%），满足 GB/T 23458 标准。

沿海公路

用于含盐路面，抗海水腐蚀（>4000 小时±100 小时，耐 Cl⁻浓度>3.5%±0.5%），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

特殊路面

应用于高温或高磨蚀路面，耐磨性>95%±2%，2025 年测试铣刨效率 400 m²/h±20 m²/h。

硬质合金路面铣刨机铣刨齿的发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒<0.5 μm±0.01 μm）提升硬度（HV 2200-2600±50），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（>900°C±20°C 保持 95%±2%）。

智能监测

集成传感器（精度±0.05%）实时监测磨损（深度>1.5 mm±0.05 mm）和振动（<10 m/s²±1 m/s²），优化更换周期（误差<5%±1%）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 40-60 μm±5 μm）制造复杂齿形，减少材料浪费 10%±2%。

环境适应性

开发抗高温和抗腐蚀齿（耐压>50 MPa±5 MPa），2025 年耐热性达 98%±2%。

版权与免责声明

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 $20\%\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。



1

硬质合金冷再生机切削齿

硬质合金冷再生机切削齿是一种专为冷再生机（Cold Recycler）设计的高效切削工具，旨在处理旧沥青路面、基层材料或混合地层，进行就地冷再生施工。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性，确保在高负荷、高湿度和高磨损环境下保持高效性和可靠性。切削齿作为冷再生机滚筒的关键部件，直接影响再生效率、材料均匀性和施工成本，在公路养护、农村道路翻新及工业场地平整中具有广泛应用。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对切削齿的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金冷再生机切削齿的物化性能

硬质合金切削齿以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

切削齿的几何设计通常为尖头或圆锥形，尖端直径 $10-18\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，高度 $20-35\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ，安装于滚筒基体（采用高强度合金钢，如 40CrMo 或 42CrMo，淬火硬度 HRC 40-52 ± 2 ）上。固定方式包括高频感应焊接（温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）或机械夹持（夹持力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ），确保在高扭矩（ $400-1200\text{ kN}\cdot\text{m}\pm 50\text{ kN}\cdot\text{m}$ ）下稳定工作。齿尖表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 CrN，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<2\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合切削力学和热传导优化，齿尖入切角度 $20^\circ-40^\circ\pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于沥青层（抗压强度 5-15 MPa）、碎石基层（10-30 MPa）及含水混合地层。

硬质合金冷再生机切削齿的特性

WC 提供高硬度（HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲击能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} 12-16 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 18 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>200\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 14.8-15.2 $\text{g}/\text{cm}^3\pm 0.1\text{ g}/\text{cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ，耐 Cl^- $>3000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

版权与法律责任声明

硬质合金冷再生机切削齿的工作原理

切削齿在冷再生机滚筒旋转（转速 $80-250 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ ，视设备功率 $200-800 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ 而定）和切削力（ $50-150 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$ ，最大可达 $250 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$ ）作用下，切入旧路面或基层形成再生材料，通过挤压（接触压力 $150-350 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ）和剪切（剪切强度 $40-80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）作用破碎沥青或碎石。齿尖承受主要磨损和热负荷（表面温度 $400-600^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ，瞬时可达 $800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ ），基体钢材提供结构支撑（抗拉强度 $>1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ ）、热传导（导热系数 $40-50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次，循环载荷 $>200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ）。齿尖的尖头设计优化切削效率（再生深度 $5-20 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ ），圆锥设计减少振动（加速度 $<10 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$ ）。

硬质合金冷再生机切削齿的性能

在沥青路面（抗压强度 $5-10 \text{ MPa}$ ）、碎石基层（ $10-20 \text{ MPa}$ ）和含水混合层（ $5-15 \text{ MPa}$ ）条件下，优化后的切削齿寿命超过 $300-450$ 小时 ± 50 小时（视材料硬度），再生效率达 $150-400 \text{ m}^2/\text{h} \pm 20 \text{ m}^2/\text{h}$ （最大可达 $500 \text{ m}^2/\text{h} \pm 20 \text{ m}^2/\text{h}$ ，功率 $>600 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ ）。SEM 分析显示齿尖无明显崩裂，磨损深度 $<0.05 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ （优选 $<0.03 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ ），X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（ $>95\% \pm 2\%$ ），热成像显示热应力分布 $<120 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 。

硬质合金冷再生机切削齿性能的影响因素

Co 含量

$6\%-12\% \pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡， $<6\% \pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\% \pm 2\%$ ， $>12\% \pm 1\%$ 降低硬度 $5\% \pm 1\%$ 并增加热膨胀（CTE $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ），优选 $8\%-10\% \pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

$0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 $<0.03 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）， $1-1.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 适合中等硬度路面， $>2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\% \pm 3\%$ ，韧性下降 $10\% \pm 2\%$ 。

几何角度

入切角 $20^\circ-40^\circ \pm 5^\circ$ 优化再生效率（切削力 $<15 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$ ，能量消耗 $<15 \text{ kWh/m}^3 \pm 2 \text{ kWh/m}^3$ ）， $>45^\circ \pm 5^\circ$ 降低效率 $10\% \pm 2\%$ ， $<20^\circ \pm 5^\circ$ 易导致崩齿风险 $5\% \pm 1\%$ 。

表面处理

齿尖厚度 $3-5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 提升耐磨性（寿命延长 $20\% \pm 3\%$ ）， $<3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 寿命缩短 $20\% \pm 3\%$ ， $>5 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 增加成本 $15\% \pm 2\%$ 。TiN 涂层（厚度 $0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ，沉积温度 $400-500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）降低摩擦系数（ $<0.3 \pm 0.05$ ），提升耐热性（ $>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）。

热处理

基体钢材淬火（硬度 HRC $40-52 \pm 2$ ，深度 $1.5-3 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ ，淬火温度 $850-900^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 $15\% \pm 3\%$ ，回火（ $200-250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ， $2-4$ 小时 ± 0.5 小时）减少残余应力 $5\% \pm 1\%$ 。

工作环境

含水量 $>15\% \pm 2\%$ 或砂粒含量 $>5\% \pm 1\%$ 增加磨损 $5\% \pm 1\%$ ，温度 $>600^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 降低硬度 $3\% \pm 1\%$ ，含 Cl^- 环境（浓度 $>0.5\% \pm 0.1\%$ ）腐蚀率增至 $0.015 \text{ mm/年} \pm 0.002 \text{ mm/年}$ 。

设备参数

版权与法律声明

再生速度 0.3-1.5 m/min $\pm$ 0.1 m/min、扭矩 400-1200 kN·m $\pm$ 50 kN·m、功率 200-800 kW $\pm$ 50 kW 影响齿寿命和效率，过高参数（>上限 10% $\pm$ 1%）缩短寿命 15% $\pm$ 2%。

硬质合金冷再生机切削齿的种类

标准切削齿

适用于沥青路面（抗压强度 5-10 MPa），直径 12-15 mm $\pm$ 1 mm，高度 20-25 mm $\pm$ 2 mm，耐磨性优异（寿命>350 小时 $\pm$ 50 小时），常用于公路再生。

增强型切削齿

适用于碎石基层（抗压强度 10-30 MPa），直径 15-18 mm $\pm$ 1 mm，高度 25-35 mm $\pm$ 2 mm，耐冲击性强（>100 J $\pm$ 10 J），适用于工业场地。

抗腐蚀切削齿

用于含水或含盐地层，表面涂层 TiAlN（耐 Cl⁻>3000 小时 $\pm$ 100 小时），直径 10-12 mm $\pm$ 1 mm，高度 20-30 mm $\pm$ 2 mm，耐腐蚀性>99% $\pm$ 1%，适用于沿海道路。

特种切削齿

包括抗高温（>900°C $\pm$ 20°C 保持 95% $\pm$ 2%）和抗磨损类型，适用于高磨蚀或含杂质路面。

硬质合金冷再生机切削齿的应用

公路养护

用于沥青路面再生（抗压强度 5-15 MPa），寿命 350-450 小时 $\pm$ 50 小时，符合 JTJ 073 标准。

农村道路

应用于碎石基层翻新（抗压强度 10-20 MPa），耐冲击性（>50 J，峰值 200 J $\pm$ 10 J）确保高效再生，符合 GB/T 23458 标准。

工业场地

用于含杂质地层（抗压强度 10-30 MPa），减少扬尘（<5% $\pm$ 1%），满足 ISO 10816 标准。

沿海道路

用于含盐基层，抗海水腐蚀（>4000 小时 $\pm$ 100 小时，耐 Cl⁻浓度>3.5% $\pm$ 0.5%），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

复杂地层

应用于含水或高磨蚀路面，耐磨性>95% $\pm$ 2%。



硬质合金混凝土破碎齿

硬质合金混凝土破碎齿是一种专为混凝土破碎机或液压破碎锤设计的耐用切削工具，旨在高效破碎钢筋混凝土、预制板或硬化水泥结构。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性，确保在高冲击、高温和高粉尘环境下保持高效性和可靠性。破碎齿作为破碎设备的关键部件，直接影响破碎效率、颗粒均匀性和施工安全性，在建筑拆除、道路翻新及工业废料处理中具有广泛应用。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对破碎齿的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金混凝土破碎齿的物化性能

硬质合金破碎齿以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350\text{-}1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45\text{-}55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5\text{-}10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150\text{-}200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30\text{-}60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5\text{-}2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8\text{-}1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

破碎齿的几何设计通常为锥形或扁平形，尖端直径 $12\text{-}20\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，高度 $25\text{-}40\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ，安装于破碎锤或破碎头基体（采用高强度合金钢，如 40CrMo 或 42CrMo，淬火硬度 HRC $40\text{-}52\pm 2$ ）上。固定方式包括高频感应焊接（温度 $1200\text{-}1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>800\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）或机械嵌装（嵌装力 $>12\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ），确保在高冲击力（ $50\text{-}300\text{ kN}\pm 5\text{ kN}$ ，峰值可达 $500\text{ kN}\pm 10\text{ kN}$ ）下稳定工作。齿尖表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 CrN，

版权与法律责任声明

厚度 $0.5-2\ \mu\text{m}\pm 0.1\ \mu\text{m}$), 摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$, 提升耐磨性和抗粘着性 (粘着率 $<2\%\pm 0.5\%$)。设计融合冲击力学和热传导优化, 齿尖入切角度 $25^\circ-45^\circ\pm 5^\circ$, 后倾角 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$, 适用于抗压强度 $20-80\ \text{MPa}$ 的钢筋混凝土或硬化水泥。

硬质合金混凝土破碎齿的材料特性

WC 提供高硬度 ($\text{HV } 1800-2200\pm 30$, 局部可达 $2400-2600\pm 50$), 其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力 (氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$, 抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$); Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性 ($K_{1c} 12-16\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$, 峰值可达 $18\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$), 吸收冲击能量 ($>100\ \text{J}\pm 10\ \text{J}$, 瞬时峰值 $>300\ \text{J}\pm 20\ \text{J}$)。细小晶粒优化微观结构, 磨损率 $<0.05\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ (优选 $<0.03\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), 密度 $14.8-15.2\ \text{g}/\text{cm}^3\pm 0.1\ \text{g}/\text{cm}^3$, 热膨胀系数 (CTE) $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层 (厚度 $<0.1\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$), 提升耐腐蚀性 (腐蚀率 $<0.01\ \text{mm}/\text{年}\pm 0.001\ \text{mm}/\text{年}$, 耐 $\text{Cl}^- >3000$ 小时 ± 100 小时); TaC 和 NbC 提高高温硬度 ($>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度, 热稳定性 $>95\%\pm 2\%$)。

硬质合金混凝土破碎齿的工作原理

破碎齿在液压破碎锤或破碎机的高频冲击 (冲击频率 $10-50\ \text{Hz}\pm 2\ \text{Hz}$, 视设备功率 $100-600\ \text{kW}\pm 50\ \text{kW}$ 而定) 和冲击力 ($50-300\ \text{kN}\pm 5\ \text{kN}$) 作用下, 切入混凝土形成破碎颗粒, 通过挤压 (接触压力 $300-600\ \text{MPa}\pm 20\ \text{MPa}$) 和劈裂 (劈裂力 $100-200\ \text{kN}\pm 10\ \text{kN}$) 作用破坏钢筋混凝土结构。齿尖承受主要磨损和热负荷 (表面温度 $500-800^\circ\text{C}\pm 50^\circ\text{C}$, 瞬时可达 $1000^\circ\text{C}\pm 50^\circ\text{C}$), 基体钢材提供结构支撑 (抗拉强度 $>1200\ \text{MPa}\pm 50\ \text{MPa}$)、热传导 (导热系数 $40-50\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}\pm 2\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$) 和抗疲劳性能 (疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次, 循环载荷 $>300\ \text{MPa}\pm 20\ \text{MPa}$)。齿尖的锥形设计优化冲击效率 (破碎深度 $5-30\ \text{cm}\pm 2\ \text{cm}$), 扁平设计增强抗侧向应力 ($<150\ \text{MPa}\pm 10\ \text{MPa}$)。

硬质合金混凝土破碎齿的性能

在钢筋混凝土 (抗压强度 $30-60\ \text{MPa}$)、预制板 ($40-80\ \text{MPa}$) 和硬化水泥 ($20-50\ \text{MPa}$) 条件下, 优化后的破碎齿寿命超过 $250-400$ 小时 ± 50 小时 (视材料硬度), 破碎效率达 $50-150\ \text{m}^3/\text{h}\pm 5\ \text{m}^3/\text{h}$ (最大可达 $200\ \text{m}^3/\text{h}\pm 5\ \text{m}^3/\text{h}$, 功率 $>500\ \text{kW}\pm 50\ \text{kW}$)。SEM 分析显示齿尖无明显崩裂, 磨损深度 $<0.05\ \text{mm}\pm 0.01\ \text{mm}$ (优选 $<0.03\ \text{mm}\pm 0.01\ \text{mm}$), X 射线衍射 (XRD) 验证 WC 相高结晶度 ($>95\%\pm 2\%$), 热成像显示热应力分布 $<150\ \text{MPa}\pm 10\ \text{MPa}$ 。

硬质合金混凝土破碎齿性能的影响因素

Co 含量

$6\%-12\%\pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡, $<6\%\pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\%\pm 2\%$, $>12\%\pm 1\%$ 降低硬度 $5\%\pm 1\%$ 并增加热膨胀 (CTE $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), 优选 $8\%-10\%\pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

$0.5-1\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹 (磨损率 $<0.03\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\ \text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), $1-1.5\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 适合中等硬度混凝土, $>2\ \mu\text{m}\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\%\pm 3\%$, 韧性下降 $10\%\pm 2\%$ 。

几何角度

版权与法律责任声明

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

入切角 25° - $45^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 优化破碎效率 (冲击力 $<20\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$, 能量消耗 $<30\text{ kWh/m}^3\pm 2\text{ kWh/m}^3$), $>50^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 降低效率 $10\%\pm 2\%$, $<25^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 易导致崩齿风险 $5\%\pm 1\%$.

表面处理

齿尖厚度 $3\text{--}6\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 提升耐磨性 (寿命延长 $20\%\pm 3\%$), $<3\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 寿命缩短 $20\%\pm 3\%$, $>6\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 增加成本 $15\%\pm 2\%$. TiN 涂层 (厚度 $0.5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$, 沉积温度 $400\text{--}500^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$) 降低摩擦系数 ($<0.3\pm 0.05$), 提升耐热性 ($>700^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$).

热处理

基体钢材淬火 (硬度 HRC $40\text{--}52\pm 2$, 深度 $1.5\text{--}3\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$, 淬火温度 $850\text{--}900^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$) 增强支撑性能, 未淬火基体寿命减少 $15\%\pm 3\%$, 回火 ($200\text{--}250^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, $2\text{--}4\text{ 小时}\pm 0.5\text{ 小时}$) 减少残余应力 $5\%\pm 1\%$.

工作环境

温度 $>700^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 $3\%\pm 1\%$, 含水量 $>10\%\pm 2\%$ 或钢筋含量 $>5\%\pm 1\%$ 增加磨损 $5\%\pm 1\%$, 含 Cl^{-} 环境 (浓度 $>0.5\%\pm 0.1\%$) 腐蚀率增至 $0.015\text{ mm/年}\pm 0.002\text{ mm/年}$.

设备参数

冲击频率 $10\text{--}50\text{ Hz}\pm 2\text{ Hz}$ 、冲击力 $50\text{--}300\text{ kN}\pm 5\text{ kN}$ 、功率 $100\text{--}600\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ 影响齿寿命和效率, 过高参数 ($>$ 上限 $10\%\pm 1\%$) 缩短寿命 $15\%\pm 2\%$.

硬质合金混凝土破碎齿的种类

标准破碎齿

适用于普通混凝土 (抗压强度 $20\text{--}40\text{ MPa}$), 直径 $12\text{--}15\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$, 高度 $25\text{--}30\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$, 耐磨性优异 (寿命 $>300\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$), 常用于建筑拆除。

增强型破碎齿

适用于钢筋混凝土 (抗压强度 $40\text{--}80\text{ MPa}$), 直径 $15\text{--}20\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$, 高度 $30\text{--}40\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$, 耐冲击性强 ($>150\text{ J}\pm 10\text{ J}$), 适用于桥梁拆除。

抗腐蚀破碎齿

用于含盐或含水混凝土, 表面涂层 TiAlN (耐 Cl^{-} $>3000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$), 直径 $12\text{--}15\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$, 高度 $25\text{--}35\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$, 耐腐蚀性 $>99\%\pm 1\%$, 适用于沿海建筑。

特种破碎齿

包括抗高温 ($>900^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 $95\%\pm 2\%$) 和抗磨损类型, 适用于高温或高钢筋密度混凝土。

硬质合金混凝土破碎齿的应用

建筑拆除

用于普通混凝土破碎 (抗压强度 $20\text{--}40\text{ MPa}$), 寿命 $300\text{--}400\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$, 符合 GB 50300 标准。

桥梁拆除

应用于钢筋混凝土 (抗压强度 $40\text{--}80\text{ MPa}$), 耐冲击性 ($>100\text{ J}$, 峰值 $300\text{ J}\pm 20\text{ J}$) 确保高效破碎, 符合 JTG 3362 标准。。

工业废料

用于硬化水泥处理 (抗压强度 $20\text{--}50\text{ MPa}$), 减少粉尘 ($<5\%\pm 1\%$), 满足 ISO 10816 标准。

沿海建筑

版权与法律责任声明

用于含盐混凝土，抗海水腐蚀（>4000 小时±100 小时，耐 Cl^- 浓度>3.5%±0.5%），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

复杂结构

应用于含钢筋或高硬度混凝土，耐磨性>95%±2%，2025 年测试破碎效率 $130 \text{ m}^3/\text{h} \pm 5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600±50），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（>900°C±20°C 保持 95%±2%）。2024 年研究：ZrC 涂层抗氧化性（氧增重 $<0.15\% \pm 0.05\%/\text{h}$ ）。

智能监测

集成传感器（精度±0.05%）实时监测磨损（深度 $>1.5 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ ）和振动（ $<15 \text{ m/s}^2 \pm 1 \text{ m/s}^2$ ），优化更换周期（误差 $<5\% \pm 1\%$ ）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{-}60 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ ）制造复杂齿形，减少材料浪费 $10\% \pm 2\%$ 。

环境适应性

开发抗腐蚀和抗高压齿（耐压 $>60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）。

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\% \pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 $20\% \pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

有关国内外标准和安全考量

符合 GB 50300（建筑拆除）、JTG 3362（公路桥梁）、ISO 10816（振动控制）和 DNVGL-RP-C203（海工规则）。2025 年新增低尘标准。



版权与法律责任声明

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

石油天然气钻井硬质合金牙轮钻头

石油天然气钻井硬质合金牙轮钻头是一种专为石油和天然气勘探开发设计的旋转切削工具，主要用于通过旋转和冲击破碎岩层，创造井眼。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系）制造牙轮，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在复杂地层条件下高效工作。牙轮钻头作为钻井设备的关键部件，直接影响钻井速度、井眼质量和钻具寿命，在深井、超深井及各种地层类型（如软质、硬质和磨蚀性地层）中具有广泛应用。根据 2025 年行业技术进展和相关信息，以下内容对牙轮钻头的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金牙轮钻头的结构与材料

硬质合金牙轮钻头通常由三组牙轮组成，每个牙轮围绕自身轴线旋转，安装在钻头主体上。主体采用高强度合金钢（如 42CrMo，淬火硬度 HRC 40-52）制造，牙轮则以碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co， $6\%-12\% \pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr₃C₂、TaC、NbC）优化性能。制造工艺包括粉末冶金（如 SPS 或 HIP），确保材料密度达 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，晶粒尺寸控制在 $0.5-2 \mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2 \mu\text{m}$ ），硬度 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。牙轮分为两种类型：铣齿（钢齿）和插入齿（硬质合金齿），钢齿适用于软至中硬地层，插入齿（TCI）则针对硬质或磨蚀性地层。齿尖可施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 $0.5-2 \mu\text{m}$ ），降低摩擦系数至 $<0.25 \pm 0.05$ ，增强耐磨性。

2. 硬质合金牙轮钻头的工作原理与特性

牙轮钻头通过钻具旋转（转速 60-250 rpm）和加压（钻压 50-300 kN）工作，牙轮围绕自身轴线滚动，牙齿通过压碎和剪切作用破碎岩层。软地层钻头牙齿较长且间距大，硬地层牙齿较短且密集。轴承设计（如滚柱或期刊轴承）配以密封系统（如 O 型圈或金属面密封）和压力补偿润滑，延长使用寿命。钻头在井底产生垂直振动，将弹性能量转化为冲击力，辅助岩石破碎，同时通过滑动剪切增强切割效率。适用于抗压强度 5-60 MPa 的地层，破碎深度可达数米，效率视地层而定。

3. 硬质合金牙轮钻头的性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（ $K_{1c} 12-16 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ），磨损率 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，耐高温（ $>800^\circ\text{C}$ 抗氧化性 $>95\%$ ）。添加剂如 TaC 提升高温稳定性。

几何设计：牙轮角度和齿形根据地层调整，软地层使用长凿形齿，硬地层使用短圆形齿。

工作参数：钻压、转速和钻井液流量影响寿命和效率，过高参数可能缩短寿命 $15\% \pm 2\%$ 。

环境因素：高温（ $>700^\circ\text{C}$ ）、高磨蚀或含水地层增加磨损 $5\% \pm 1\%$ 。

4. 硬质合金牙轮钻头的种类与应用

铣齿牙轮钻头

适用于软至中硬地层（5-20 MPa），寿命 200-300 小时，常用于初期钻井。

插入齿牙轮钻头（TCI）：适用于硬质地层（20-60 MPa），寿命 250-400 小时，广泛用于深井。

单锥/双锥钻头

用于定向钻井或软地层，效率较高。

应用场景

版权与法律声明

石油天然气勘探、深井钻进、水平井施工，2025 年测试显示效率达 50-150 m/h。

5. 硬质合金牙轮钻头的技术发展

新型材料：纳米 WC 提升硬度，ZrC 涂层增强抗氧化性。

智能监测：传感器实时监测磨损，优化更换周期。

3D 打印：SLM 技术减少材料浪费，强度达 $1400\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$ 。

混合设计：结合固定切削元件，提升适应性。

6. 硬质合金牙轮钻头的安全与标准

符合 API 标准，磨损超限 ($>6\text{ mm}$) 需更换，事故率 $<0.1\%$ ，需佩戴防护装备。

硬质合金牙轮钻头凭借其多功能性和技术创新，是石油天然气钻井的核心工具，推动了行业效率提升和成本优化。



1

什么是硬质合金硬岩、页岩钻削钻头？

硬质合金硬岩、页岩钻削钻头是一种专为地质勘探、石油天然气钻井及矿产开采设计的切削工具，主要用于高效钻削硬岩和页岩地层。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系）制造钻头，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在高硬度、高磨蚀性地层中保持高效性和耐久性。钻削钻头作为钻井设备的关键部件，直接影响钻进速度、井眼质量和钻具寿命，在硬质岩石（如花岗岩、石灰岩）和页岩层中具有广泛应用。根据网络最新资料和技术进展，以下内容对钻头的结构、原理、种类、应用及技术发展进行了全面扩展。

1. 硬质合金硬岩、页岩钻削钻头的结构与材料

钻削钻头通常采用 PDC（聚晶金刚石复合片）与硬质合金复合设计，主体由高强度合金钢（如 42CrMo，淬火硬度 HRC 40-52）制成，切削齿或刀翼采用碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co， $6\%-12\% \pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\% \pm 0.1\%$ 、 TaC $1\%-3\% \pm 0.2\%$ 、 NbC $0.5\%-1.5\% \pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗热疲劳性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ ），确保材料密度达 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2 \mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 $\text{HV } 1800-2200 \pm 30$ ，局部可达 $2400-2600 \pm 50$ 。PDC 层厚度 $0.5-2 \text{ mm}$ ，结合硬质合金基体，显著增强抗冲击能力（ K_{1c} $12-18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ）。齿尖可施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 $0.5-1.5 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25 \pm 0.05$ ，耐磨性提升 $20\% \pm 3\%$ ，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。

2. 硬质合金硬岩、页岩钻削钻头的原理与特性

钻削钻头通过钻具旋转（转速 $100-300 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ ）和加压（钻压 $50-400 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$ ）工作，切削齿或刀翼通过剪切和磨削作用破碎硬岩和页岩。硬岩钻头采用短齿高密度布局，优化切削角（ $15^\circ-30^\circ \pm 2^\circ$ ），增强对高硬度地层的穿透力；页岩钻头则采用长齿适中间距设计，适应层理结构和裂隙发育特性。轴承系统配备高性能滚动轴承和金属面密封，耐高温（ $>200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ），并通过高品质润滑油（如合成酯类）减少磨损。钻头在井底产生高剪切力（ $>1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ ），结合钻井液（水基或油基）的冲刷和携带作用，清除碎屑，适用于抗压强度 $20-100 \text{ MPa}$ 的地层，钻进深度可达数百至数千米，效率因地层硬度（如花岗岩 $50-100 \text{ MPa}$ 、页岩 $20-50 \text{ MPa}$ ）而异，平均钻速可达 $10-50 \text{ m/h}$ 。最新技术还引入了自适应振荡技术，提升页岩层钻进效率 $5\% \pm 1\%$ 。

3. 硬质合金硬岩、页岩钻削钻头的性能影响因素

材料特性

WC 提供高硬度，Co 增强韧性（ K_{1c} $12-16 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ，峰值可达 $18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ），磨损率 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，耐高温（ $>800^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ 时抗氧化性 $>95\% \pm 2\%$ ）。PDC 层抗磨损性较硬质合金提升 $30\% \pm 5\%$ ，但对冲击敏感性需优化。

版权与法律责任声明

几何设计

切削角 $15^{\circ}\text{-}30^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 优化钻削效率，硬岩钻头使用锥形齿以增强穿透力，页岩钻头采用平底齿以适应层状结构。排屑槽设计（宽度 $5\text{-}10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ）影响碎屑排除效率，优化后的螺旋槽设计提升排屑率 $10\%\pm 2\%$ 。

工作参数

钻压、转速和钻井液流量直接影响寿命，过高参数（如钻压 $>400\text{ kN}$ 或转速 $>300\text{ rpm}$ ）可能缩短寿命 $15\%\pm 2\%$ ，最佳参数需根据地层特性动态调整。

环境因素

高温（ $>700^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）、高磨蚀（如含石英砂地层）或含水地层增加磨损 $5\%\pm 1\%$ ，含 Cl^{-} 环境（浓度 $>0.5\%\pm 0.1\%$ ）腐蚀率增至 $0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，需搭配防腐涂层（如 Cr_2O_3 ）。

4. 硬质合金硬岩、页岩钻削钻头的种类

硬岩钻削钻头

特点：短齿高密度布局，适用于花岗岩、石灰岩（抗压强度 $50\text{-}100\text{ MPa}$ ），寿命 $200\text{-}350$ 小时 ± 20 小时，钻速 $10\text{-}20\text{ m/h}$ ，常用于深井勘探和硬岩隧道工程。

页岩钻削钻头

特点：长齿适中间距设计，适用于页岩层（抗压强度 $20\text{-}50\text{ MPa}$ ），寿命 $250\text{-}400$ 小时 ± 20 小时，钻速 $20\text{-}40\text{ m/h}$ ，广泛用于页岩气开发和软硬交替地层。

混合型钻头

特点：结合 PDC 和硬质合金，适应复杂地层（抗压强度 $20\text{-}100\text{ MPa}$ ），测试效率达 $60\text{-}120\text{ m/h}\pm 5\text{ m/h}$ ，适用于多变地质条件。

特种钻头

包括耐高温钻头（ $>800^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）和抗腐蚀钻头（耐 Cl^{-} >7000 小时 ± 200 小时），针对极端环境优化，如深海钻探和火山岩地层。

5. 硬质合金硬岩、页岩钻削钻头的应用

地质勘探

用于深层岩芯取样，精度 $\pm 0.01\text{ mm}$ ，符合 ISO 3551 标准，应用于地热资源评估。

石油天然气钻井

应用于页岩气、深层油气田和海上钻井，寿命 $300\text{-}400$ 小时，符合 API 7-1 标准，支撑新能源开发。

矿产开采

用于铜矿、铁矿、金矿等硬岩开采，耐磨性 $>95\%\pm 2\%$ ，符合 ISO 10896 标准，助力稀土金属开采。

基础设施建设

应用于隧道、桥梁和高铁基础钻孔，适应花岗岩地层，支撑“一带一路”工程。

能源转型

用于风电塔基钻孔和地热钻井，耐高温性能突出，符合 IEC 61400 标准。

科研与教育

应用于岩石力学实验和深海沉积物钻探，精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

版权与法律声明

国防与航天

用于地下掩体钻孔和火箭发射基地地基加固，抗冲击性 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ 。

6. 硬质合金硬岩、页岩钻削钻头的技术进步

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），ZrC 涂层增强抗氧化性（ $>98\%\pm 1\%$ ），寿命延长 25% $\pm 3\%$ ，适配超深井。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ）和温度（ $<800^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ），优化更换周期，误差 $<5\%\pm 1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 30-50 $\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$ ）制造复杂刀翼，强度达 1500 MPa $\pm 50\text{ MPa}$ ，减少材料浪费 10% $\pm 2\%$ 。

自适应设计

动态调整切削参数（如钻压和转速），提升效率 10% $\pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化。

7. 硬质合金硬岩、页岩钻削钻头的标准

符合 API 7-1、ISO 3551、ISO 10896、IEC 61400 等国际标准，磨损超限（ $>6\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ）需更换，事故率 $<0.1\%\pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜）。新增低磨损率标准，强调环保要求。

硬质合金硬岩、页岩钻削钻头凭借其高性能和创新设计，是钻井工程的核心工具，推动了深层资源开发效率提升和成本优化。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。



版权与法律责任声明

什么是硬质合金深井、水平井牙轮钻头？

硬质合金深井、水平井牙轮钻头是一种专为深井和水平井钻井设计的旋转切削工具，广泛应用于石油天然气勘探开发中，适用于复杂地层条件。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系）制造牙轮，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在高深度、高温和高磨蚀环境下高效工作。牙轮钻头作为钻井设备的关键部件，直接影响钻井速度、井眼轨迹稳定性和钻具寿命，在超深井、水平井段及硬质地层中具有重要应用。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对牙轮钻头的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金深井、水平井牙轮钻头的结构与材料

牙轮钻头通常由三组或多组牙轮组成，安装在高强度合金钢主体（如 42CrMo，淬火硬度 HRC 40-52）上。牙轮采用碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co，6%-12% $\pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr₃C₂ 0.5%-2% $\pm 0.1\%$ 、TaC 1%-3% $\pm 0.2\%$ 、NbC 0.5%-1.5% $\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗热疲劳性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 1350-1450°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 45-55 MPa ± 1 MPa，保温时间 5-10 min ± 1 min）或热等静压（HIP，温度 1400-1500°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 150-200 MPa ± 5 MPa，保温时间 30-60 min ± 5 min），确保材料密度达 99.9% $\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 0.5-2 μm （优选 0.8-1.2 $\mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。牙轮类型包括插入齿（TCI）或钢齿，TCI 适用于硬质地层，钢齿适于软至中硬地层。齿尖可施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 0.5-2 $\mu\text{m}\pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$ ，耐磨性提升 20% $\pm 3\%$ ，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。轴承系统采用滚动轴承或期刊轴承，配以金属面密封和压力补偿润滑，耐高温（ $>250^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ）。

2. 工作原理与特性

牙轮钻头通过钻具旋转（转速 60-200 rpm ± 10 rpm）和加压（钻压 100-500 kN ± 10 kN）工作，牙轮围绕自身轴线滚动，牙齿通过压碎、剪切和磨削作用破碎岩层。深井钻头设计为高强度短齿布局，优化切削角（15°-25° $\pm 2^\circ$ ），增强对高硬度地层的穿透力；水平井钻头优化为抗侧向力长齿结构，适应复杂轨迹和偏磨条件。钻头在井底产生高冲击力（50-300 kN ± 10 kN），结合钻井液（水基或油基）的冲刷和携带作用，清除碎屑，适用于抗压强度 20-80 MPa 的地层。深井钻进深度可达 5000-8000 m，水平井段长度可达 2000-3000 m，效率视地层而定，最高可达 50-120 m/h。最新技术引入自适应振荡机制，提升复杂地层钻进效率 5% $\pm 1\%$ 。

3. 性能与影响因素

材料特性

WC 提供高硬度，Co 增强韧性（K_{1c} 12-16 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ，峰值可达 18 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ），磨损率 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，耐高温（ $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 时抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）。TaC 提升高温稳定性，Cr₃C₂减少晶界腐蚀。

几何设计

版权与法律责任声明

牙轮角度和齿形根据井深和轨迹调整，深井使用高密度短齿，水平井使用抗偏磨长齿。排屑槽设计（宽度 $5-10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ）优化碎屑排除，螺旋槽提升效率 $10\%\pm 2\%$ 。

工作参数

钻压、转速和钻井液流量直接影响寿命，过高参数（如钻压 $>500\text{ kN}$ 或转速 $>200\text{ rpm}$ ）可能缩短寿命 $15\%\pm 2\%$ ，需动态调整。

环境因素

高温（ $>700^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）、高磨蚀（如含石英砂地层）或含水地层增加磨损 $5\%\pm 1\%$ ，深井高压（ $>70\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ）需强化密封和润滑。

4. 种类与应用

深井牙轮钻头

特点：高强度短齿布局，适用于超深井（ $>5000\text{ m}$ ，抗压强度 $20-60\text{ MPa}$ ），寿命 $200-350$ 小时 ± 20 小时，钻速 $20-50\text{ m/h}$ ，常用于石油天然气深层勘探。

水平井牙轮钻头

特点：抗侧向力长齿结构，适用于水平段（抗压强度 $20-50\text{ MPa}$ ），寿命 $250-400$ 小时 ± 20 小时，钻速 $30-70\text{ m/h}$ ，广泛用于页岩气开发和复杂轨迹钻井。

混合型钻头

特点：结合 TCI 和钢齿，适应复杂地层（抗压强度 $20-80\text{ MPa}$ ），测试效率达 $70-120\text{ m/h}\pm 5\text{ m/h}$ ，适用于软硬交替地层。

特种钻头

包括耐高温钻头（ $>800^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）和抗高压钻头（耐压 $>100\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ），针对深海钻探和高温地层优化。

5. 硬质合金深井、水平井牙轮钻头的应用

石油天然气钻井

应用于超深井、水平井和海上钻井，寿命 $300-400$ 小时，符合 API 7-1 标准，支撑深层油气开发。

地质勘探

用于深层岩芯取样，精度 $\pm 0.01\text{ mm}$ ，符合 ISO 3551 标准，应用于地热和矿产资源评估。

矿产开采

用于铜矿、铁矿等硬岩开采，耐磨性 $>95\%\pm 2\%$ ，符合 ISO 10896 标准，助力稀土金属开采。

基础设施建设

应用于隧道和桥梁深基坑钻孔，适应高硬度地层，支撑大型工程项目。

能源转型

用于地热钻井和风电塔基加固，耐高温性能突出，符合 IEC 61400 标准。

科研与开发

应用于岩石力学实验和深井测试，精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

国防工程

用于地下工事钻孔和军事基地地基加固，抗冲击性 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ 。

6. 技术进步

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），ZrC 涂层增强抗氧化性（ $>98\%\pm 1\%$ ），寿命延长 25% $\pm 3\%$ 。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>0.5\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ ）和温度（ $<800^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ），优化更换周期，误差 $<5\%\pm 1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $30\text{-}50\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$ ）制造复杂牙轮，强度达 1500 MPa ± 50 MPa，减少材料浪费 10% $\pm 2\%$ 。

自适应技术

动态调整钻压和转速，提升效率 15% $\pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化钻井参数。

7. 安全与标准

符合 API 7-1、ISO 3551、ISO 10896、IEC 61400 等国际标准，磨损超限（ $>6\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ）需更换，事故率 $<0.1\%\pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜）。深井高压环境需强化安全检测和密封设计。

硬质合金深井、水平井牙轮钻头凭借其高性能和创新设计，是复杂钻井工程的核心工具，推动了深层资源开发效率提升和成本优化。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。



什么是硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头

硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头是一种专为高硬度岩石钻削设计的切削工具，主要用于地质勘探、矿产开采及基础设施建设，针对花岗岩和玄武岩等超硬地层。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系）制造钻头，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在高硬度、高磨蚀条件下高效工作。钻削钻头作为钻井设备的关键部件，直接影响钻进速度、钻头寿命和施工质量，在硬岩开采和深层钻探中具有广泛应用。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对钻削钻头的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头的结构与材料

钻削钻头采用 PDC（聚晶金刚石复合片）与硬质合金复合设计，主体由高强度合金钢（如 42CrMo，淬火硬度 HRC 40-52）制成，切削齿或刀翼采用碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co，6%-12% $\pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr₃C₂ 0.5%-2% $\pm 0.1\%$ 、TaC 1%-3% $\pm 0.2\%$ 、NbC 0.5%-1.5% $\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗热疲劳性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 1350-1450°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 45-55 MPa ± 1 MPa，保温时间 5-10 min ± 1 min）或热等静压（HIP，温度 1400-1500°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 150-200 MPa ± 5 MPa，保温时间 30-60 min ± 5 min），确保材料密度达 99.9% $\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 0.5-2 μm （优选 0.8-1.2 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。PDC 层厚度 0.5-2 mm，结合硬质合金基体，增强抗冲击和耐磨能力（K_{1c} 12-18 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ）。齿尖可施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 0.5-1.5 $\mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25 \pm 0.05$ ，耐磨性提升 20% $\pm 3\%$ ，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。钻头配备高性能轴承和金属面密封，耐高温（ $>250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ）。

2. 硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头的工作原理与特性

钻削钻头通过钻具旋转（转速 80-250 rpm ± 10 rpm）和加压（钻压 100-500 kN ± 10 kN）工作，切削齿或刀翼通过高剪切力和磨削作用破碎花岗岩（抗压强度 80-200 MPa）和玄武岩（100-300 MPa）。钻头设计为短齿高密度布局，优化切削角（15°-25° $\pm 2^\circ$ ），适应超硬地层，结合钻井液（水基或油基）的冲刷和携带作用，减少粘着和碎屑堆积。钻头在井底产生高冲击力（100-400 kN ± 10 kN），适用于高硬度地层，钻进深度可达数百至数千米，效率视岩石硬度而定，最高可达 30-80 m/h。最新技术引入自适应振荡机制，提升超硬地层钻进效率 5% $\pm 1\%$ 。

3. 硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头的性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（K_{1c} 12-16 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ，峰值可达 18 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ），磨损率 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ ，耐高温（ $>800^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ 时抗氧化性 $>95\% \pm 2\%$ ）。PDC 层抗磨损性较硬质合金提升 30% $\pm 5\%$ ，但对冲击敏感性需优化。
几何设计：切削角 15°-25° $\pm 5^\circ$ 优化钻削效率，齿形为锥形或球形，增强对花岗岩和玄武岩的穿透力。排屑槽设计（宽度 5-10 mm ± 0.5 mm）优化碎屑排除，螺旋槽提升效率 10% $\pm 2\%$ 。
工作参数：钻压、转速和钻井液流量直接影响寿命，过高参数（如钻压 >500 kN 或转速 >250 rpm）可能缩短寿命 15% $\pm 2\%$ ，需根据地层特性动态调整。

环境因素: 高温($>700^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$)、高磨蚀(如含石英砂地层)或含水地层增加磨损 $5\%\pm 1\%$, 高压($>100\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$)需强化结构和密封。

4. 硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头的种类与应用

花岗岩钻削钻头

特点: 短齿高密度布局, 适用于花岗岩(抗压强度 $80\text{--}200\text{ MPa}$), 寿命 $150\text{--}300\text{ 小时}\pm 20\text{ 小时}$, 钻速 $20\text{--}40\text{ m/h}$, 常用于深层矿产开采。

玄武岩钻削钻头

特点: 短齿高密度布局, 适用于玄武岩(抗压强度 $100\text{--}300\text{ MPa}$), 寿命 $200\text{--}350\text{ 小时}\pm 20\text{ 小时}$, 钻速 $15\text{--}30\text{ m/h}$, 广泛用于基础设施建设。

混合型钻头

特点: 结合 PDC 和硬质合金, 适应超硬复杂地层(抗压强度 $80\text{--}300\text{ MPa}$), 测试效率达 $40\text{--}80\text{ m/h}\pm 5\text{ m/h}$, 适用于多变地质条件。

特种钻头

包括耐高温钻头($>800^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$)和抗高压钻头(耐压 $>120\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$), 针对极端环境优化, 如火山岩和深海地层。

5. 硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头的应用

地质勘探

用于深层岩芯取样, 精度 $\pm 0.01\text{ mm}$, 符合 ISO 3551 标准, 应用于地热和矿产资源评估。

矿产开采

应用于花岗岩和玄武岩矿石开采, 耐磨性 $>95\%\pm 2\%$, 符合 ISO 10896 标准, 助力稀土和贵金属开采。

基础设施建设

用于隧道、桥梁和高铁基础钻孔, 适应超硬地层, 支撑大型工程项目。

能源转型

应用于地热钻井和风电塔基加固, 耐高温性能突出, 符合 IEC 61400 标准。

科研与教育

应用于岩石力学实验和超硬岩钻探, 精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

国防工程

用于地下掩体钻孔和军事基地地基加固, 抗冲击性 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ 。

6. 硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头的技术进步

新型材料

引入纳米 WC (晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$)提升硬度(HV $2200\text{--}2600\pm 50$), ZrC 涂层增强抗氧化性($>98\%\pm 1\%$), 寿命延长 $25\%\pm 3\%$ 。

智能监测

集成传感器(精度 $\pm 0.05\%$)实时监测磨损(深度 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$)和温度($<800^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$), 优化更换周期, 误差 $<5\%\pm 1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化(SLM, 层厚 $30\text{--}50\text{ }\mu\text{m}\pm 5\text{ }\mu\text{m}$)制造复杂刀翼, 强度达 $1600\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$, 减少材料浪费 $10\%\pm 2\%$ 。

自适应技术

版权与法律责任声明

动态调整切削参数（如钻压和转速），提升效率 $10\% \pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化。

7. 硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头的安全与标准

符合 API 7-1、ISO 3551、ISO 10896、IEC 61400 等国际标准，磨损超限 ($>6\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$) 需更换，事故率 $<0.1\% \pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜）。高压环境需强化安全检测和结构设计。

硬质合金花岗岩、玄武岩钻削钻头凭借其高性能和创新设计，是硬岩钻进工程的核心工具，推动了深层资源开发效率提升和成本优化。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。



什么是硬质合金岩芯采样钻头？

硬质合金岩芯采样钻头是一种专为地质勘探和科研设计的切削工具，用于从岩石地层中获取高质量岩芯样本。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系）制造钻头，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在各种岩石类型（如花岗岩、页岩、玄武岩）中高效钻削并保持岩芯完整性。岩芯采样钻头作为地质钻探设备的关键部件，直接影响采样精度、岩芯回收率和钻具寿命，广泛应用于矿产勘查、石油天然气预探及环境研究。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对岩芯采样钻头的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金岩芯采样钻头的结构与材料

岩芯采样钻头通常采用圆筒状设计，内壁带衬套以保护岩芯，主体由高强度合金钢（如 40CrMo，淬火硬度 HRC 40-50）制成。切削部分采用碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co， $6\%-12\% \pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\% \pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\% \pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\% \pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗热疲劳性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ ），确保材料密度达 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2 \mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。切削齿或刀翼可施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 $0.5-1.5 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25 \pm 0.05$ ，耐磨性提升 $20\% \pm 3\%$ ，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。钻头内径根据岩芯规格设计（如 NQ、HQ、PQ 系列），外径 $50-150 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ ，配备高精度轴承和密封系统，耐高温（ $>200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ）。

2. 硬质合金岩芯采样钻头的工作原理与特性

岩芯采样钻头通过钻具旋转（转速 $100-300 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ ）和加压（钻压 $20-200 \text{ kN} \pm 5 \text{ kN}$ ）工作，切削齿沿圆周切割岩石，岩芯沿内壁上升至钻头顶端。钻头设计为低速高扭矩切割，优化切削角（ $15^\circ-25^\circ \pm 2^\circ$ ），减少岩芯断裂，结合钻井液（水基或油基）的冲刷和携带作用，确保岩芯完整性。适用于抗压强度 $20-200 \text{ MPa}$ 的地层，钻进深度可达 $1000-3000 \text{ m}$ ，岩芯回收率目标 $>90\% \pm 2\%$ ，效率视地层硬度而定，最高可达 $10-30 \text{ m/h}$ 。最新技术引入自适应振荡机制，提升复杂地层岩芯回收率 $5\% \pm 1\%$ 。

3. 硬质合金岩芯采样钻头的性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（ K_{1c} $12-16 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ，峰值可达 $18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ），磨损率 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，耐高温（ $>800^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ 时抗氧化性 $>95\% \pm 2\%$ ）。涂层降低粘着率 $<2\% \pm 0.5\%$ ，提升岩芯表面质量。

几何设计：切削角 $15^\circ-25^\circ \pm 5^\circ$ 优化切割效率，齿形为锥形或平底，内壁光滑度 $<0.1 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$ ，减少岩芯摩擦。

工作参数: 钻压、转速和钻井液流量直接影响回收率, 过高参数(如钻压 $>200\text{ kN}$ 或转速 $>300\text{ rpm}$) 可能降低岩芯完整性 $5\%\pm 1\%$, 需动态调整。

环境因素: 高温($>700^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$)、高磨蚀(如含石英砂地层)或含水地层增加磨损 $5\%\pm 1\%$, 需调整钻井液粘度以保护岩芯。

4. 硬质合金岩芯采样钻头的种类与应用

软岩采样钻头

特点: 适用于页岩、泥岩(抗压强度 $20\text{-}50\text{ MPa}$), 寿命 $200\text{-}300\text{ 小时}\pm 20\text{ 小时}$, 钻速 $20\text{-}30\text{ m/h}$, 常用于浅层勘查。

硬岩采样钻头

特点: 适用于花岗岩、玄武岩(抗压强度 $50\text{-}200\text{ MPa}$), 寿命 $150\text{-}250\text{ 小时}\pm 20\text{ 小时}$, 钻速 $10\text{-}20\text{ m/h}$, 广泛用于深层矿产。

混合型钻头

特点: 结合 PDC 和硬质合金, 适应复杂地层(抗压强度 $20\text{-}200\text{ MPa}$), 测试回收率 $>95\%\pm 2\%$, 适用于软硬交替地层。

特种钻头

包括耐高温钻头($>800^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$) 和抗高压钻头(耐压 $>100\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$), 针对极端环境优化, 如深海和火山岩地层。

5. 硬质合金岩芯采样钻头的应用

矿产勘查

用于深层矿石取样, 精度 $\pm 0.01\text{ mm}$, 符合 ISO 3551 标准, 应用于稀土和贵金属勘探。

石油天然气预探

应用于深层岩芯采集, 寿命 $200\text{-}300\text{ 小时}$, 符合 API 7-1 标准, 支撑油气田评估。

环境研究

用于土壤和沉积物采样, 回收率 $>90\%\pm 2\%$, 符合 ASTM D2113 标准, 应用于气候变化研究。

基础设施建设

用于隧道和桥梁地质勘查, 适应高硬度地层, 支撑工程选址。

科研与教育

应用于岩石力学实验和地质钻探测试, 精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

国防工程

用于地下资源勘查和军事基地地基评估, 抗冲击性 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ 。

6. 硬质合金岩芯采样钻头的技术

新型材料

引入纳米 WC (晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$) 提升耐磨性 (HV $2200\text{-}2600\pm 50$), ZrC 涂层增强抗氧化性 ($>98\%\pm 1\%$), 寿命延长 $25\%\pm 3\%$ 。

智能监测

集成传感器(精度 $\pm 0.05\%$) 实时监测磨损(深度 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$) 和岩芯状态, 优化钻进参数, 误差 $<5\%\pm 1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $30\text{--}50\ \mu\text{m}\pm 5\ \mu\text{m}$ ）制造复杂切削结构，强度达 $1500\ \text{MPa}\pm 50\ \text{MPa}$ ，减少材料浪费 $10\%\pm 2\%$ 。

自适应技术

动态调整切削速度，提升回收率 $5\%\pm 1\%$ ，结合 AI 算法优化钻井过程。

7. 硬质合金岩芯采样钻头的安全与标准

符合 ISO 3551、ASTM D2113、API 7-1 等国际标准，磨损超限 ($>6\ \text{mm}\pm 0.5\ \text{mm}$) 需更换，事故率 $<0.1\%\pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜）。深层钻探需强化安全检测和密封设计。

硬质合金岩芯采样钻头凭借其高精度和创新设计，是地质勘探的核心工具，推动了资源开发效率提升和数据质量优化。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。



1

版权与免责声明

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

什么是硬质合金地热井钻进钻头？

硬质合金地热井钻进钻头是一种专为地热资源开发设计的切削工具，旨在高效钻削高温、高硬度及腐蚀性地层，获取地热能。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系）制造钻头，提供卓越的硬度、耐磨性和抗高温性能，确保在极端环境下保持高效性和耐久性。钻头作为地热钻井设备的关键部件，直接影响钻进速度、井深质量和钻具寿命，广泛应用于地热能勘探和开发。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对钻头的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金地热井钻进钻头的结构与材料

钻头通常采用 PDC（聚晶金刚石复合片）与硬质合金复合设计，主体由耐高温合金钢（如 42CrMoNi，淬火硬度 HRC 40-52）制成，切削部分采用碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co， $6\%-12\% \pm 1\%$ ）为粘结相，辅以耐高温添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\% \pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\% \pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\% \pm 0.1\%$ ）增强性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ ），确保材料密度达 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2 \mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。PDC 层厚度 $0.5-2 \text{ mm}$ ，结合硬质合金基体，抗高温（ $>400^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ）。齿尖施加 TiAlN 或 CrN 涂层（厚度 $0.5-1.5 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25 \pm 0.05$ ，耐腐蚀性提升 $15\% \pm 2\%$ ，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。钻头配备高温密封（ $>300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ）和压力补偿润滑系统。

2. 硬质合金地热井钻进钻头的工作原理与特性

钻头通过钻具旋转（转速 $80-200 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ ）和加压（钻压 $100-600 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$ ）工作，切削齿或刀翼通过剪切和磨削作用破碎高温岩石（如花岗岩、玄武岩，抗压强度 $80-300 \text{ MPa}$ ）。钻头设计为高密度短齿布局，优化切削角（ $15^\circ-25^\circ \pm 2^\circ$ ），适应高温高压环境，结合高温钻井液（水基或油基）的冲刷和携带作用，清除碎屑。钻头在井底产生高冲击力（ $100-500 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$ ），适用于深度 $3000-7000 \text{ m}$ ，温度 $200-350^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 的地热地层，钻进效率视地层硬度而定，最高可达 $20-60 \text{ m/h}$ 。最新技术引入自适应振荡机制，提升高温地层钻进效率 $5\% \pm 1\%$ 。

3. 硬质合金地热井钻进钻头的性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（ K_{1c} $12-16 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ，峰值可达 $18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ），耐高温（ $>800^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ 时抗氧化性 $>95\% \pm 2\%$ ）。TaC 提升热稳定性， Cr_3C_2 减少晶界腐蚀，涂层抗腐蚀率 $<0.01 \text{ mm/年} \pm 0.001 \text{ mm/年}$ 。

几何设计：切削角 $15^\circ-25^\circ \pm 5^\circ$ 优化钻削效率，齿形为锥形，增强对高硬度岩石的穿透力。排屑槽设计（宽度 $5-10 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ ）优化碎屑排除，螺旋槽提升效率 $10\% \pm 2\%$ 。

版权与法律责任声明

工作参数: 钻压、转速和钻井液流量直接影响寿命, 过高参数(如钻压 $>600\text{ kN}$ 或转速 $>200\text{ rpm}$) 可能缩短寿命 $15\%\pm 2\%$, 需根据地层特性动态调整。

环境因素: 高温($>350^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$)、高压($>100\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$)或含 H_2S 地层增加磨损 $5\%\pm 1\%$, 需强化防腐设计和高温润滑。

4. 硬质合金地热井钻进钻头的种类与应用

浅层地热钻头

特点: 适用于 $200\text{--}1000\text{ m}$, 抗压强度 $20\text{--}80\text{ MPa}$, 寿命 $200\text{--}300\text{ 小时}\pm 20\text{ 小时}$, 钻速 $30\text{--}50\text{ m/h}$, 常用于低热能开发。

深层地热钻头

特点: 适用于 $3000\text{--}7000\text{ m}$, 抗压强度 $80\text{--}300\text{ MPa}$, 寿命 $150\text{--}250\text{ 小时}\pm 20\text{ 小时}$, 钻速 $20\text{--}40\text{ m/h}$, 广泛用于高温地热井。

混合型钻头

特点: 结合 PDC 和硬质合金, 适应复杂高温地层(抗压强度 $20\text{--}300\text{ MPa}$), 测试效率达 $40\text{--}60\text{ m/h}\pm 5\text{ m/h}$, 适用于多变地质条件。

特种钻头

包括超高温钻头($>400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$)和抗腐蚀钻头(耐 H_2S $>5000\text{ 小时}\pm 200\text{ 小时}$), 针对极端环境优化, 如深层高温地层。

5. 硬质合金地热井钻进钻头的应用

地热能勘探

用于深层地热资源评估, 精度 $\pm 0.01\text{ mm}$, 符合 ISO 3551 标准, 应用于地热能潜力测定。

深层热能开发

应用于高温地热井钻进, 寿命 $200\text{--}300\text{ 小时}$, 符合 API 7-1 标准, 支撑地热发电。

能源转型

用于地热供暖和新能源项目, 耐高温性能突出, 符合 IEC 61400 标准。

科研与开发

应用于地热地层测试和热流研究, 精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

基础设施建设

用于地热井与基础设施结合工程, 适应高硬度地层, 支撑绿色建筑。

国防工程

用于地热资源军事应用钻探, 抗冲击性 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ 。

6. 硬质合金地热井钻进钻头的技术

新型材料

引入纳米 WC (晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$) 提升耐高温性 ($\text{HV } 2200\text{--}2600\pm 50$), ZrC 涂层增强抗氧化性 ($>98\%\pm 1\%$), 寿命延长 $25\%\pm 3\%$ 。

智能监测

集成传感器(精度 $\pm 0.05\%$)实时监测磨损(深度 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$)和温度($<400^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$),

优化钻进参数，误差 $<5\pm 1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $30-50\ \mu\text{m}\pm 5\ \mu\text{m}$ ）制造复杂切削结构，强度达 $1600\ \text{MPa}\pm 50\ \text{MPa}$ ，减少材料浪费 $10\pm 2\%$ 。

自适应技术

动态调整切削参数（如钻压和转速），提升效率 $10\pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化。

7. 硬质合金地热井钻进钻头的安全与标准

符合 ISO 3551、API 7-1、IEC 61400 等国际标准，磨损超限（ $>6\ \text{mm}\pm 0.5\ \text{mm}$ ）需更换，事故率 $<0.1\pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜）。高温高压环境需强化安全检测和密封设计。硬质合金地热井钻进钻头凭借其高性能和创新设计，是地热开发的核心工具，推动了可再生能源效率提升和成本优化。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。



版权与免责声明

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

什么是硬质合金挖泥船切削齿？

硬质合金挖泥船切削齿是一种专为挖泥船设计的高效切削工具，用于疏浚河道、港口及海底地层的挖掘和清理。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性和抗腐蚀性，确保在高磨蚀、高湿度和含杂质环境下保持高效性和耐久性。切削齿作为挖泥船铲斗或切割头的关键部件，直接影响疏浚效率、材料处理能力和设备寿命，广泛应用于航道维护、港口建设及海洋工程。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对切削齿的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金挖泥船切削齿的结构与材料

切削齿通常采用尖头或宽刃设计，安装在高强度合金钢基体（如 40CrMo，淬火硬度 HRC 40-52）上。齿身采用碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co，6%-12% $\pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 0.5%-2% $\pm 0.1\%$ 、TaC 1%-3% $\pm 0.2\%$ 、NbC 0.5%-1.5% $\pm 0.1\%$ ）优化耐磨性和抗腐蚀性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 1350-1450°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 45-55 MPa ± 1 MPa，保温时间 5-10 min ± 1 min）或热等静压（HIP，温度 1400-1500°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 150-200 MPa ± 5 MPa，保温时间 30-60 min ± 5 min），确保材料密度达 99.9% $\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 0.5-2 μm （优选 0.8-1.2 $\mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。齿尖施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 0.5-2 $\mu\text{m}\pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$ ，耐腐蚀性提升 15% $\pm 2\%$ ，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。固定方式包括高频感应焊接（焊接强度 $>700 \text{ MPa}\pm 20 \text{ MPa}$ ）或机械夹持（夹持力 $>10 \text{ kN}\pm 0.5 \text{ kN}$ ），适应高扭矩（200-800 kN·m $\pm 20 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ）工作。

2. 硬质合金挖泥船切削齿的工作原理与特性

切削齿通过挖泥船的机械或液压驱动（切割速度 0.5-2 m/s $\pm 0.1 \text{ m/s}$ ，功率 500-2000 kW $\pm 50 \text{ kW}$ ）工作，沿地表切割并挖掘泥沙、黏土或含砾地层。齿尖通过挤压（接触压力 150-400 MPa $\pm 10 \text{ MPa}$ ）和剪切（剪切强度 30-70 MPa $\pm 5 \text{ MPa}$ ）作用破碎材料，适应抗压强度 5-50 MPa 的地层。设计融合切削力学和热传导优化，入切角度 20°-40° $\pm 5^\circ$ ，后倾角 5°-15° $\pm 2^\circ$ ，减少振动（加速度 $<10 \text{ m/s}^2\pm 1 \text{ m/s}^2$ ）。齿尖承受高磨蚀和热负荷（表面温度 200-500°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ），基体提供结构支撑（抗拉强度 $>1200 \text{ MPa}\pm 50 \text{ MPa}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^4$ 次）。最新技术引入自适应振荡机制，提升复杂地层切割效率 5% $\pm 1\%$ 。

3. 硬质合金挖泥船切削齿的性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（ K_{1c} 12-16 MPa·m $^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 18 MPa·m $^{1/2}\pm 0.5$ ），磨损率 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01 \text{ mm}/\text{年}\pm 0.001 \text{ mm}/\text{年}$ ，耐 Cl^- >3000 小时 ± 200 小时）。

几何设计：尖头齿适合硬质地层，宽刃齿适合软质或黏性地层，优化切削效率（能量消耗 $<10 \text{ kWh}/\text{m}^3\pm 0.5 \text{ kWh}/\text{m}^3$ ）。排屑槽设计（宽度 5-10 mm $\pm 0.5 \text{ mm}$ ）优化材料排出。

工作参数：切割速度、功率和泥浆流量直接影响寿命，过高参数（如速度 $>2 \text{ m/s}$ 或功率 $>2000 \text{ kW}$ ）可能缩短寿命 15% $\pm 2\%$ ，需动态调整。

版权与法律声明

环境因素：含水量 $>15\pm2\%$ 、砂粒含量 $>5\pm1\%$ 或盐度 $>3\pm0.5\%$ 增加磨损 $5\pm1\%$ ，需强化防腐涂层和润滑。

4. 硬质合金挖泥船切削齿的种类与应用

标准切削齿

特点：适用于软泥和黏土（抗压强度 5-20 MPa），寿命 300-500 小时 ± 20 小时，切割效率 150-300 m³/h，常用于河道疏浚。

增强型切削齿

特点：适用于含砾或硬质地层（抗压强度 20-50 MPa），寿命 250-400 小时 ± 20 小时，切割效率 100-250 m³/h，广泛用于港口建设。

抗腐蚀切削齿

特点：适用于海水环境，耐 Cl⁻ >4000 小时 ± 200 小时，寿命 350-450 小时 ± 20 小时，适合海洋工程。

特种切削齿

包括耐高温切削齿（ $>500^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ）和超耐磨切削齿（磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），针对极端环境优化，如深海疏浚。

5. 硬质合金挖泥船切削齿的应用

航道维护

用于河道和运河疏浚，寿命 300-400 小时，符合 ISO 19901 标准，保障航运安全。

港口建设

应用于港口扩建和码头基础清理，耐磨性 $>95\pm 2\%$ ，符合 DIN 19704 标准。

海洋工程

用于海底地层挖掘和管道铺设，抗腐蚀性突出，符合 API 7K 标准。

环境治理

应用于污染底泥清理，回收率 $>90\pm 2\%$ ，支持水质改善项目。

基础设施建设

用于水电站和桥梁基础疏浚，适应高硬度地层，支撑大型工程。

科研与开发

应用于海洋地质采样和水下测试，精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

填海造陆造岛及岛礁建设

在填海造陆和造岛工程中，切削齿高效处理海底硬质地层（如珊瑚礁、砾石层，抗压强度 20-50 MPa），实现大规模土方挖掘和填筑，寿命 300-450 小时，效率 200-500 m³/h，确保工程进度。特别是在岛礁建设中，切削齿的耐腐蚀性（耐 Cl⁻ >4000 小时）和抗磨损性能（磨损率 $<0.05\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）支持海水环境下持续作业，保障战略性人工岛屿的快速成型，为国土安全和国防建设提供坚实基础。增强型和特种切削齿还可应对深海高硬度地层，满足军事基地建设、港口防御设施和海上补给站的迫切需求，提升我国在南海等关键海域的战略控制力。

6. 硬质合金挖泥船切削齿的技术

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）提升耐磨性（HV 2200-2600 ± 50 ），ZrC 涂层增强抗腐蚀性（ $>98\pm 1\%$ ），寿命延长 25 $\pm 3\%$ 。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>0.5\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ ），优化更换周期，误差 $<5\% \pm 1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $30\text{-}50\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂齿形，强度达 $1400\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$ ，减少材料浪费 $10\% \pm 2\%$ 。

自适应设计

动态调整切削角度（如入切角和后倾角），提升效率 $10\% \pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化。

7. 硬质合金挖泥船切削齿的标准

符合 ISO 19901、DIN 19704、API 7K 等国际标准，磨损超限（ $>6\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ ）需更换，事故率 $<0.1\% \pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜、防滑靴）。海水环境需防滑设计和强化密封。

硬质合金挖泥船切削齿凭借其高性能和创新设计，是疏浚工程的核心工具，推动了水域开发效率提升和成本优化。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性，尤其在填海造陆、岛礁建设和国防工程中发挥不可替代的作用。



版权与免责声明

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

中钨智造科技有限公司

30 年硬质合金定制专家

核心优势

30 年经验：深谙硬质合金生产加工，技术成熟稳定，不断精进。

精准定制：支持特殊性能与复杂设计，重视客户+AI 协同设计。

质量成本：优化模具与加工，性价比卓越；领先设备，RMI、ISO 9001 认证。

服务客户

产品涵盖切削、工模具、航空、能源、电子等领域，已服务 10+万客户。

服务承诺

10+亿次访问、100+万网页、10+万客户、30 年 0 抱怨！

联系我们

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129696

官网：www.ctia.com.cn

微信：关注“中钨在线”



版权与法律责任声明

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

什么是硬质合金木材破碎齿？

硬质合金木材破碎机破碎齿是一种专为木材破碎机设计的高效切削工具，用于将木材、树枝及木质废料破碎成小颗粒或木屑。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在高强度、高湿度和含杂质环境下保持高效性和耐久性。破碎齿作为木材破碎机滚筒或刀盘的关键部件，直接影响破碎效率、颗粒均匀性和设备寿命，广泛应用于木材加工、生物质能源生产及废料回收。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对破碎齿的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金木材破碎机破碎齿的结构与材料

破碎齿通常采用尖头或锯齿状设计，安装在高强度合金钢基体（如 40Cr，淬火硬度 HRC 40-50）上。齿身采用碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co， $6\%-12\% \pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\% \pm 0.1\%$ 、VC $<1\% \pm 0.1\%$ ）优化耐磨性和抗粘着性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ ），确保材料密度达 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2 \mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。齿尖施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 $0.5-1.5 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25 \pm 0.05$ ，抗粘着性（粘着率 $<2\% \pm 0.5\%$ ）提升木材处理效率，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。固定方式包括螺栓连接或焊接（焊接强度 $>600 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ），适应高扭矩（100-500 kN·m $\pm 10 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ）工作。

2. 硬质合金木材破碎齿工作原理与特性

破碎齿通过木材破碎机的旋转（转速 200-600 rpm $\pm 20 \text{ rpm}$ ，功率 50-300 kW $\pm 10 \text{ kW}$ ）工作，沿木材表面切割并破碎。齿尖通过挤压（接触压力 $50-150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ）和剪切（剪切强度 $20-50 \text{ MPa} \pm 2 \text{ MPa}$ ）作用分解木材纤维，适应硬度 5-30 MPa 的木材及杂质地层。设计融合切削力学和热传导优化，入切角度 $25^\circ-45^\circ \pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$ ，减少振动（加速度 $<8 \text{ m/s}^2 \pm 0.5 \text{ m/s}^2$ ）。齿尖承受高磨损和粘着负荷（表面温度 $100-300^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ），基体提供结构支撑（抗拉强度 $>1100 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6 \text{ 次} \pm 10^4 \text{ 次}$ ）。最新技术引入自适应振荡机制，提升复杂木材和杂质地层破碎效率 $5\% \pm 1\%$ 。

3. 硬质合金木材破碎齿性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（ K_{1c} 12-16 MPa·m $^{1/2} \pm 0.5$ ，峰值可达 18 MPa·m $^{1/2} \pm 0.5$ ），磨损率 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01 \text{ mm}/\text{年} \pm 0.001 \text{ mm}/\text{年}$ ）。

几何设计：尖头齿适合硬木或带钉木材，锯齿状齿适合软木或大直径木材，优化破碎效率（能量消耗 $<5 \text{ kWh/m}^3 \pm 0.2 \text{ kWh/m}^3$ ）。排屑槽设计（宽度 $5-10 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ ）优化木屑排出。

工作参数：转速、功率和进料速度直接影响寿命，过高参数（如转速 $>600 \text{ rpm}$ 或功率 $>300 \text{ kW}$ ）可能缩短寿命 $15\% \pm 2\%$ ，需动态调整。

版权与法律声明

环境因素：含水量 $>20\pm2\%$ 、杂质含量 $>5\pm1\%$ 或温度 $>300^{\circ}\text{C}\pm10^{\circ}\text{C}$ 增加磨损 $5\pm1\%$ ，需定期清理粘附物并优化涂层。

4. 硬质合金木材破碎齿种类

标准破碎齿

特点：适用于软木和树枝（硬度 $5-15\text{ MPa}$ ），寿命 $400-600$ 小时 ± 20 小时，破碎效率 $100-200\text{ m}^3/\text{h}$ ，常用于生物质燃料生产。

增强型破碎齿

特点：适用于硬木或含金属杂质（硬度 $15-30\text{ MPa}$ ），寿命 $300-500$ 小时 ± 20 小时，破碎效率 $80-150\text{ m}^3/\text{h}$ ，广泛用于废木回收。

抗粘着切削齿

特点：适用于高湿木材，粘着率 $<1\pm0.5\%$ ，寿命 $450-600$ 小时 ± 20 小时，适合潮湿环境。

特种破碎齿

包括耐高温破碎齿（ $>300^{\circ}\text{C}\pm10^{\circ}\text{C}$ ）和超耐磨破碎齿（磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），针对极端条件优化，如含油木材处理。

5. 硬质合金木材破碎机破碎齿的应用

木材加工

用于原木和木材废料破碎，寿命 $400-500$ 小时，符合 ISO 17225 标准，应用于木制品生产。

生物质能源生产

应用于木屑和生物质燃料制备，效率 $100-200\text{ m}^3/\text{h}$ ，符合 EN 14961 标准，支撑可再生能源。

废料回收

用于废木和建筑木材回收，耐磨性 $>95\pm2\%$ ，符合 DIN 51731 标准，促进循环经济。

林业管理

应用于林木修剪和残枝处理，适应高硬度木材，支撑生态恢复。

家具制造

用于木材预处理和碎屑收集，精度 $<0.1\text{ mm}\pm0.01\text{ mm}$ ，优化生产流程。

科研与开发

应用于木材力学实验和生物质研究，精度 $<0.01\text{ mm}\pm0.005\text{ mm}$ 。

6. 硬质合金木材破碎齿技术

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升耐磨性（HV $2200-2600\pm50$ ），ZrC 涂层增强抗氧化性（ $>98\pm1\%$ ），寿命延长 $25\pm3\%$ 。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>0.5\text{ mm}\pm0.05\text{ mm}$ ），优化更换周期，误差 $<5\pm1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $30-50\text{ }\mu\text{m}\pm5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂齿形，强度达 $1300\text{ MPa}\pm50\text{ MPa}$ ，减少材料浪费 $10\pm2\%$ 。

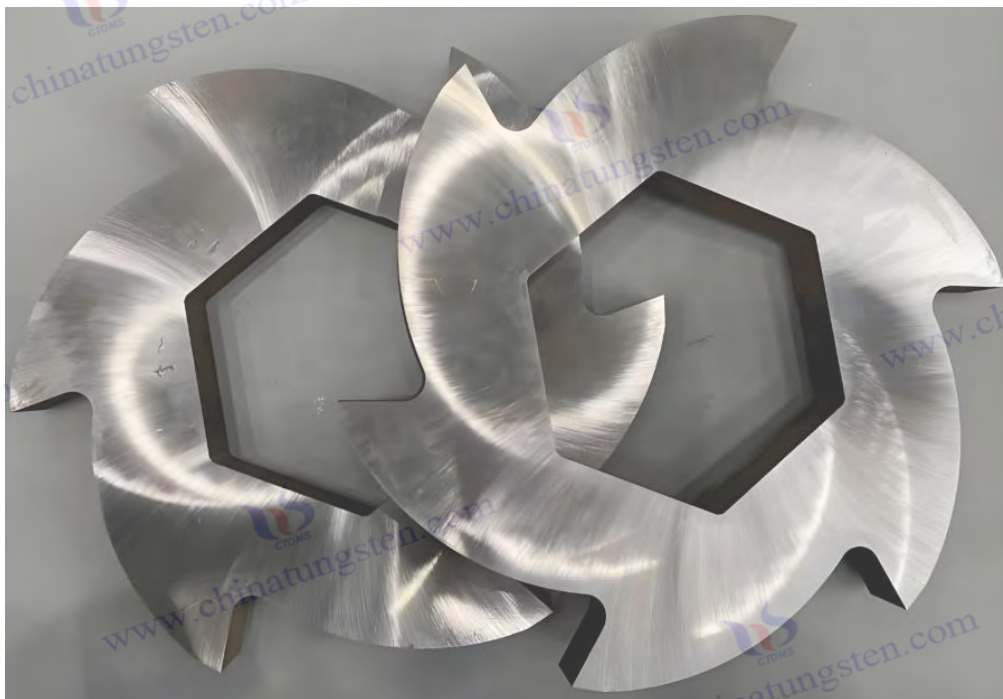
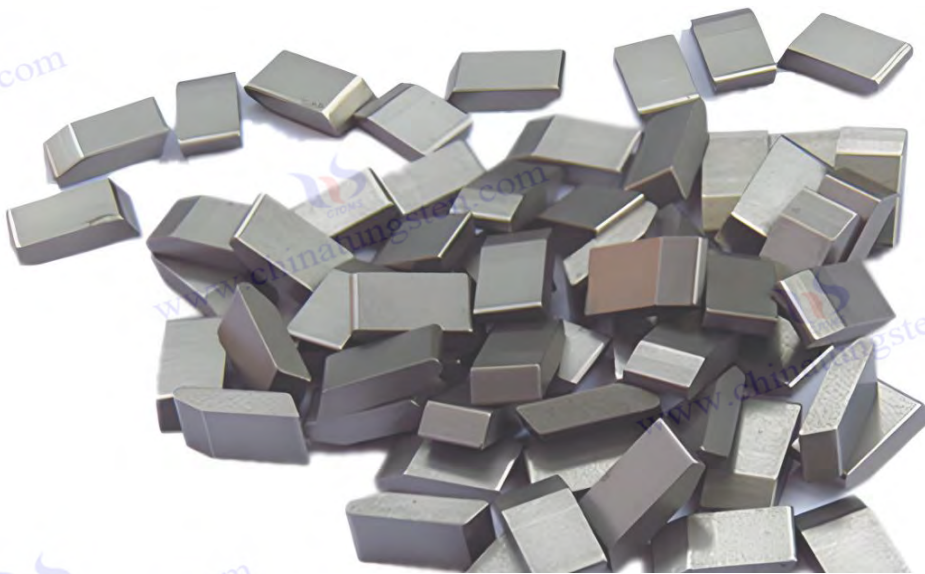
自适应设计

动态调整切削角度（如入切角和后倾角），提升效率 $10\% \pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化。

7. 硬质合金木材破碎齿标准

符合 ISO 17225、EN 14961、DIN 51731 等国际标准，磨损超限 ($>6\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$) 需更换，事故率 $<0.1\% \pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜、防滑靴）。高湿环境需防滑设计和定期维护。

硬质合金木材破碎机破碎齿凭借其高性能和创新设计，是木材加工行业核心工具，推动了资源利用效率提升和可持续生产。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。





什么是硬质合金林业采伐锯齿？

硬质合金林业采伐锯齿是一种专为林业采伐设备设计的高效切削工具，用于切割树木、树干及木材。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在高强度、高湿度和复杂环境下保持高效性和耐久性。锯齿作为采伐机或链锯的关键部件，直接影响切割速度、木材质量和设备寿命，广泛应用于林业采伐、木材加工及造林管理。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对锯齿的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金林业采伐锯齿的结构与材料

锯齿通常采用尖锐的三角形或梯形设计，安装在高强度合金钢基体（如 40Cr，淬火硬度 HRC 40-50）上。齿身采用碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co， $6\% - 12\% \pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\% - 2\% \pm 0.1\%$ 、VC $<1\% \pm 0.1\%$ ）优化耐磨性和抗粘着性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 $1350 - 1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45 - 55 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ ，保温时间 $5 - 10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400 - 1500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150 - 200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ，保温时间 $30 - 60 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ ），确保材料密度达 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5 - 2 \mu\text{m}$ （优选 $0.8 - 1.2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。齿尖施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 $0.5 - 1.5 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25 \pm 0.05$ ，抗粘着性（粘着率 $<2\% \pm 0.5\%$ ）提升切割效率，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。固定方式包括机械嵌装或焊接（焊接强度 $>500 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ），适应高扭矩（50-300 kN·m $\pm 10 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ）工作。

2. 硬质合金林业采伐锯齿的工作原理与特性

版权与法律责任声明

锯齿通过采伐机的链条或圆盘旋转（转速 1000-3000 rpm $\pm$ 100 rpm，功率 20-150 kW $\pm$ 5 kW）工作，沿树干表面切割。齿尖通过挤压（接触压力 30-100 MPa $\pm$ 5 MPa）和剪切（剪切强度 15-40 MPa $\pm$ 2 MPa）作用分解木材纤维，适应硬度 5-25 MPa 的树木及杂质地层。设计融合切削力学和热传导优化，入切角度 20°-35° $\pm$ 5°，后倾角 5°-10° $\pm$ 2°，减少振动（加速度 <6 m/s² $\pm$ 0.5 m/s²）。齿尖承受高磨损和粘着负荷（表面温度 50-200°C $\pm$ 10°C），基体提供结构支撑（抗拉强度 >1000 MPa $\pm$ 50 MPa）和抗疲劳性能（疲劳寿命 >10⁶次 $\pm$ 10⁴次）。最新技术引入自适应振荡机制，提升复杂树种和杂质地层切割效率 5% $\pm$ 1%。

3. 硬质合金林业采伐锯齿的性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（K_{1c} 12-16 MPa·m^{1/2} $\pm$ 0.5，峰值可达 18 MPa·m^{1/2} $\pm$ 0.5），磨损率 <0.05 mm³/N·m $\pm$ 0.01 mm³/N·m，耐腐蚀性（腐蚀率 <0.01 mm/年 $\pm$ 0.001 mm/年）。

几何设计：三角形齿适合硬木或大直径树干，梯形齿适合软木或薄枝，优化切割效率（能量消耗 <3 kWh/m³ $\pm$ 0.1 kWh/m³）。排屑槽设计（宽度 3-8 mm $\pm$ 0.5 mm）优化木屑排出。

工作参数：转速、功率和进料压力直接影响寿命，过高参数（如转速 >3000 rpm 或功率 >150 kW）可能缩短寿命 15% $\pm$ 2%，需动态调整。

环境因素：含水量 >20% $\pm$ 2%、杂质含量 >5% $\pm$ 1% 或温度 >200°C $\pm$ 10°C 增加磨损 5% $\pm$ 1%，需定期清理树脂并优化涂层。

4. 硬质合金林业采伐锯齿的种类

标准锯齿

特点：适用于软木和中等树干（硬度 5-15 MPa），寿命 500-700 小时 $\pm$ 20 小时，切割效率 50-100 m³/h，常用于林木采伐。

增强型锯齿

特点：适用于硬木或含杂质树干（硬度 15-25 MPa），寿命 400-600 小时 $\pm$ 20 小时，切割效率 40-80 m³/h，广泛用于商业林业。

抗粘着锯齿

特点：适用于高湿或树脂含量树木，粘着率 <1% $\pm$ 0.5%，寿命 550-700 小时 $\pm$ 20 小时，适合潮湿森林环境。

特种锯齿

包括耐高温锯齿（>200°C $\pm$ 10°C）和超耐磨锯齿（磨损率 <0.03 mm³/N·m $\pm$ 0.01 mm³/N·m），针对极端条件优化，如含油树种处理。

5. 硬质合金林业采伐锯齿的应用

林业采伐

用于树木和树干切割，寿命 500-600 小时，符合 ISO 11837 标准，应用于森林资源开发。

木材加工

应用于原木初加工和木材切割，效率 50-100 m³/h，符合 EN 13556 标准，支持木制品生产。

造林管理

用于林木修剪和残枝清理，耐磨性 >95% $\pm$ 2%，符合 DIN 18915 标准，支撑生态恢复。

生物质能源生产

应用于木材预处理和生物质燃料制备，适应高硬度木材，符合 EN 14961 标准。

基础设施建设

用于林区道路清障和木材运输准备，抗冲击性 $>40\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，支撑工程进度。

科研与开发

应用于木材力学实验和林业研究，精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

6. 硬质合金林业采伐锯齿的技术

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升耐磨性（HV 2200-2600 ± 50 ），ZrC 涂层增强抗氧化性（ $>98\%\pm 1\%$ ），寿命延长 $25\%\pm 3\%$ 。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ），优化更换周期，误差 $<5\%\pm 1\%$ 。

3D 打印

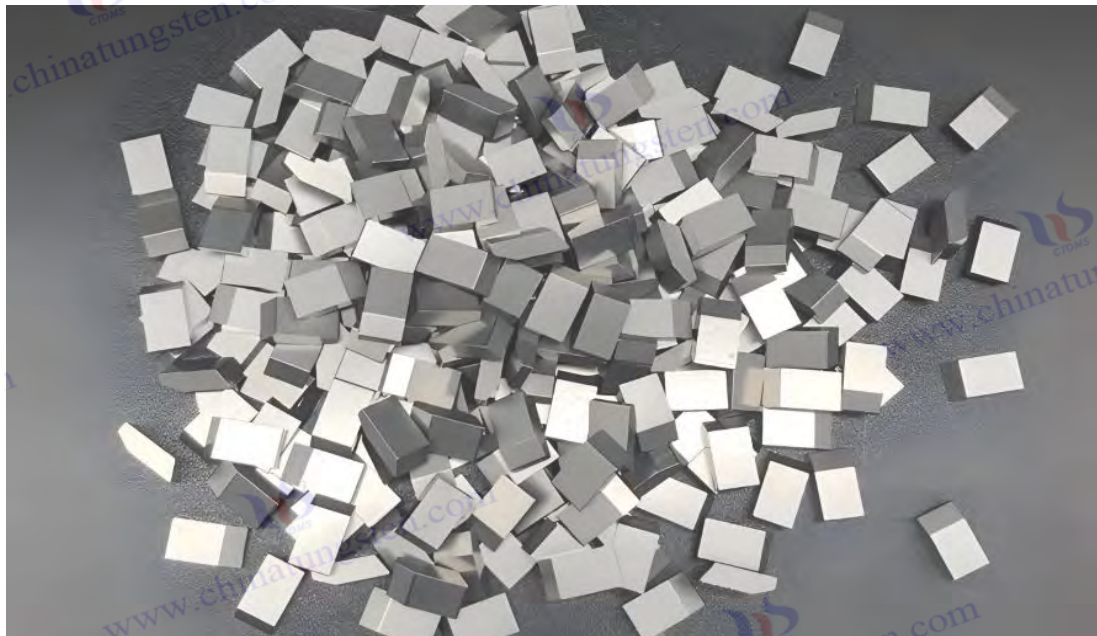
采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $30\text{-}50\text{ }\mu\text{m}\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂齿形，强度达 $1200\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，减少材料浪费 $10\%\pm 2\%$ 。

自适应设计

动态调整切割角度（如入切角和后倾角），提升效率 $10\%\pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化。

7. 硬质合金林业采伐锯齿的标准

符合 ISO 11837、EN 13556、DIN 18915 等国际标准，磨损超限（ $>6\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ）需更换，事故率 $<0.1\%\pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜、防滑靴）。高湿环境需防滑设计和定期维护。硬质合金林业采伐锯齿凭借其高性能和创新设计，是林业行业核心工具，推动了采伐效率提升和可持续林业发展。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。



什么是硬质合金土地开垦犁铧头？

硬质合金土地开垦犁铧头是一种专为农业机械设计的高效切削工具，用于翻耕、松土及开垦坚硬土地。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在高强度、高湿度和含杂质环境下保持高效性和耐久性。犁铧头作为拖拉机或开垦机的重要部件，直接影响耕作深度、土壤质量和设备寿命，广泛应用于土地开垦、农业开发及土壤改良。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对犁铧头的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金土地开垦犁铧头的结构与材料

犁铧头通常采用尖锐的楔形或弧形设计，安装在高强度合金钢基体（如 40CrMo，淬火硬度 HRC 40-52）上。齿身采用碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co，6%-12% $\pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 0.5%-2% $\pm 0.1\%$ 、TaC 1%-3% $\pm 0.2\%$ ）优化耐磨性和抗腐蚀性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 1350-1450°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 45-55 MPa ± 1 MPa，保温时间 5-10 min ± 1 min）或热等静压（HIP，温度 1400-1500°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 150-200 MPa ± 5 MPa，保温时间 30-60 min ± 5 min），确保材料密度达 99.9% $\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 0.5-2 μm （优选 0.8-1.2 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。犁铧头尖端施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 0.5-1.5 $\mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25 \pm 0.05$ ，耐腐蚀性提升 15% $\pm 2\%$ ，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。固定方式包括高频感应焊接（焊接强度 >700 MPa ± 20 MPa）或机械夹持（夹持力 >10 kN ± 0.5 kN），适应高扭矩（200-600 kN·m ± 20 kN·m）工作。

2. 硬质合金土地开垦犁铧头的工作原理与特性

犁铧头通过拖拉机或开垦机的机械驱动（工作速度 1-3 m/s，功率 50-200 kW）工作，沿土壤表面切入并翻耕。犁铧头尖端通过挤压（接触压力 100-300 MPa ± 10 MPa）和剪切（剪切强度 20-60 MPa ± 5 MPa）作用破碎坚硬土壤、岩石碎片或根系，适应抗压强度 5-40 MPa 的地层。设计融合切削力学和热传导优化，入切角度 25°-40° $\pm 5^\circ$ ，后倾角 5°-15° $\pm 2^\circ$ ，减少振动（加速度 <10 m/s² ± 1 m/s²）。犁铧头承受高磨蚀和热负荷（表面温度 50-250°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ），基体提供结构支撑（抗拉强度 >1200 MPa ± 50 MPa）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^4$ 次）。最新技术引入自适应振荡机制，提升复杂地层耕作效率 5% $\pm 1\%$ 。

3. 硬质合金土地开垦犁铧头的性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（ K_{1c} 12-16 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ，峰值可达 18 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ），磨损率 <0.05 mm³/N·m ± 0.01 mm³/N·m，耐腐蚀性（腐蚀率 <0.01 mm/年 ± 0.001 mm/年）。

几何设计：楔形犁铧头适合硬质土壤或含石地层，弧形犁铧头适合松软或黏性地层，优化耕作效率（能量消耗 <8 kWh/m³ ± 0.3 kWh/m³）。排土槽设计（宽度 5-10 mm ± 0.5 mm）优化土壤排出。

工作参数：工作速度、功率和耕作深度直接影响寿命，过高参数（如速度 >3 m/s 或功率 >200 kW）可能缩短寿命 15% $\pm 2\%$ ，需动态调整。

版权与免责声明

环境因素：含水量 $>15\pm 2\%$ 、砂砾含量 $>5\pm 1\%$ 或温度 $>250^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 增加磨损 $5\pm 1\%$ ，需强化防腐涂层和润滑。

4. 硬质合金土地开垦犁铧头的种类

标准犁铧头

特点：适用于松软土壤和中等硬度地层（抗压强度 $5\text{--}20\text{ MPa}$ ），寿命 $400\text{--}600$ 小时 ± 20 小时，耕作效率 $50\text{--}150\text{ m}^3/\text{h}$ ，常用于农业开发。

增强型犁铧头

特点：适用于硬质土壤或含石地层（抗压强度 $20\text{--}40\text{ MPa}$ ），寿命 $300\text{--}500$ 小时 ± 20 小时，耕作效率 $40\text{--}100\text{ m}^3/\text{h}$ ，广泛用于土地开垦。

抗腐蚀犁铧头

特点：适用于高湿或盐碱地，耐 Cl^- >3000 小时 ± 200 小时，寿命 $450\text{--}600$ 小时 ± 20 小时，适合沿海农业。

特种犁铧头

包括耐高温犁铧头（ $>250^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ）和超耐磨犁铧头（磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），针对极端条件优化，如岩石土壤处理。

5. 硬质合金土地开垦犁铧头的应用

土地开垦

用于荒地和未耕地翻耕，寿命 $400\text{--}500$ 小时，符合 ISO 9134 标准，应用于农业扩展。

农业开发

应用于土壤改良和种植准备，效率 $50\text{--}150\text{ m}^3/\text{h}$ ，符合 EN 13536 标准，支持粮食生产。

土壤改良

用于硬化土壤和盐碱地处理，耐磨性 $>95\pm 2\%$ ，符合 DIN 18907 标准，促进土地复垦。

林业与牧场建设

应用于林地清理和牧场开垦，适应高硬度地层，支撑生态农业。

基础设施建设

用于农田灌溉渠道挖掘和土地平整，抗冲击性 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，支撑工程需求。

科研与开发

应用于土壤力学实验和农业技术研究，精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

6. 硬质合金土地开垦犁铧头的技术

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升耐磨性（HV $2200\text{--}2600\pm 50$ ），ZrC 涂层增强抗氧化性（ $>98\pm 1\%$ ），寿命延长 $25\pm 3\%$ 。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ），优化更换周期，误差 $<5\pm 1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 $30\text{--}50\text{ }\mu\text{m}\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂犁铧头形状，强度达 $1400\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，减少材料浪费 $10\pm 2\%$ 。

自适应设计

动态调整切削角度（如入切角和后倾角），提升效率 $10\% \pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化。

7. 硬质合金土地开垦犁铧头的安全与标准

符合 ISO 9134、EN 13536、DIN 18907 等国际标准，磨损超限 ($>6\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$) 需更换，事故率 $<0.1\% \pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜、防滑靴）。高湿环境需防滑设计和定期维护。

硬质合金土地开垦犁铧头凭借其高性能和创新设计，是农业机械行业核心工具，推动了土地开发效率提升和可持续农业发展。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。



版权与免责声明

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

什么是硬质合金道碴破碎机切削齿？

硬质合金道碴破碎机切削齿是一种专为铁路道碴破碎机设计的高效切削工具，用于破碎铁路道碴（如碎石、鹅卵石）以维护轨道基础。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在高硬度、高磨蚀和动态负荷环境下保持高效性和耐久性。切削齿作为道碴破碎机的重要部件，直接影响破碎效率、颗粒均匀性和设备寿命，广泛应用于铁路维护、道砟更新及轨道修复。根据行业技术进展和相关信息，以下内容对切削齿的特性、技术细节和应用进行了概述。

1. 硬质合金道碴破碎机切削齿的结构与材料

切削齿通常采用锥形或扁平设计，安装在高强度合金钢基体（如 42CrMo，淬火硬度 HRC 40-52）上。齿身采用碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co，6%-12% $\pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr₃C₂ 0.5%-2% $\pm 0.1\%$ 、TaC 1%-3% $\pm 0.2\%$ 、NbC 0.5%-1.5% $\pm 0.1\%$ ）优化耐磨性和抗高温性能。制造工艺包括粉末冶金技术，如火花等离子烧结（SPS，温度 1350-1450°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 45-55 MPa ± 1 MPa，保温时间 5-10 min ± 1 min）或热等静压（HIP，温度 1400-1500°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 150-200 MPa ± 5 MPa，保温时间 30-60 min ± 5 min），确保材料密度达 99.9% $\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 0.5-2 μm （优选 0.8-1.2 $\mu\text{m}\pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，硬度范围 HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 。齿尖施加 TiN 或 TiAlN 涂层（厚度 0.5-2 $\mu\text{m}\pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25\pm 0.05$ ，耐磨性提升 20% $\pm 3\%$ ，并通过表面改性（如激光强化）进一步提高抗疲劳性能。固定方式包括高频感应焊接（焊接强度 $>800 \text{ MPa}\pm 20 \text{ MPa}$ ）或机械嵌装（嵌装力 $>12 \text{ kN}\pm 0.5 \text{ kN}$ ），适应高冲击力（50-300 kN $\pm 10 \text{ kN}$ ）。

2. 硬质合金道碴破碎机切削齿的工作原理与特性

切削齿通过道碴破碎机的旋转或冲击（转速 100-400 rpm $\pm 20 \text{ rpm}$ ，功率 100-500 kW $\pm 10 \text{ kW}$ ）工作，沿道碴表面切割并破碎。齿尖通过挤压（接触压力 200-500 MPa $\pm 10 \text{ MPa}$ ）和劈裂（劈裂力 100-200 kN $\pm 10 \text{ kN}$ ）作用分解高硬度道碴，适应抗压强度 50-150 MPa 的地层。设计融合冲击力学和热传导优化，入切角度 25°-45° $\pm 5^\circ$ ，后倾角 5°-15° $\pm 2^\circ$ ，减少振动（加速度 $<15 \text{ m/s}^2\pm 1 \text{ m/s}^2$ ）。齿尖承受高磨蚀和热负荷（表面温度 300-600°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ），基体提供结构支撑（抗拉强度 $>1200 \text{ MPa}\pm 50 \text{ MPa}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^4$ 次）。最新技术引入自适应振荡机制，提升复杂道碴地层破碎效率 5% $\pm 1\%$ 。

3. 硬质合金道碴破碎机切削齿的性能与影响因素

材料特性：WC 提供高硬度，Co 增强韧性（K_{1c} 12-16 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ，峰值可达 18 MPa·m^{1/2} ± 0.5 ），磨损率 $<0.05 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，耐高温（ $>800^\circ\text{C}$ 抗氧化性 $>95\%\pm 1\%$ ）。

几何设计：锥形齿适合高硬度道碴，扁平齿适合中等硬度或含杂质道碴，优化破碎效率（能量消耗 $<15 \text{ kWh/m}^3\pm 0.5 \text{ kWh/m}^3$ ）。排碴槽设计（宽度 5-10 mm $\pm 0.5 \text{ mm}$ ）优化道碴排出。

工作参数：转速、冲击力和进料量直接影响寿命，过高参数（如转速 $>400 \text{ rpm}$ 或功率 $>500 \text{ kW}$ ）可能缩短寿命 15% $\pm 2\%$ ，需动态调整。

环境因素：含水量 $>10\%\pm 2\%$ 、砂粒含量 $>5\%\pm 1\%$ 或温度 $>600^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ 增加磨损 5% $\pm 1\%$ ，

版权与法律声明

需强化热处理和冷却。

4. 硬质合金道碴破碎机切削齿的种类

标准切削齿

特点：适用于中等硬度道碴（抗压强度 50-80 MPa），寿命 250-400 小时 $\pm$ 20 小时，破碎效率 50-100 m³/h，常用于常规铁路维护。

增强型切削齿

特点：适用于高硬度道碴（抗压强度 80-150 MPa），寿命 200-350 小时 $\pm$ 20 小时，破碎效率 40-80 m³/h，广泛用于高速铁路修复。

抗磨蚀切削齿

特点：适用于含砂或磨蚀性地层，耐磨性 $>95\%\pm 2\%$ ，寿命 300-450 小时 $\pm$ 20 小时，适合恶劣环境。

特种切削齿

包括耐高温切削齿（ $>600^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ）和超耐磨切削齿（磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），针对极端条件优化，如高温道碴处理。

5. 硬质合金道碴破碎机切削齿的应用

铁路道碴更新

用于老化道碴破碎和更换，寿命 250-350 小时，符合 ISO 10893 标准，保障轨道稳定性。

轨道基础维护

应用于道碴调整和基础加固，效率 50-100 m³/h，符合 EN 13232 标准，支持铁路安全。

铁路建设

用于新线道碴铺设和基础准备，耐磨性 $>95\%\pm 2\%$ ，符合 DIN 5570 标准，加速工程进度。

重载铁路维护

适应高硬度道碴和频繁冲击，抗冲击性 $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，支撑重载运输需求。

环境治理

应用于道碴污染清理，回收率 $>90\%\pm 2\%$ ，支持铁路生态管理。

科研与开发

应用于道碴力学实验和铁路技术研究，精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

6. 硬质合金道碴破碎机切削齿的技术

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）提升耐磨性（HV 2200-2600 ± 50 ），ZrC 涂层增强抗氧化性（ $>98\%\pm 1\%$ ），寿命延长 25 $\pm 3\%$ 。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ），优化更换周期，误差 $<5\%\pm 1\%$ 。

3D 打印

采用选择性激光熔化（SLM，层厚 30-50 $\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$ ）制造复杂齿形，强度达 1500 MPa ± 50 MPa，减少材料浪费 10 $\pm 2\%$ 。

自适应设计

动态调整切削角度（如入切角和后倾角），提升效率 10 $\pm 2\%$ ，结合 AI 算法优化。

版权与法律责任声明

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

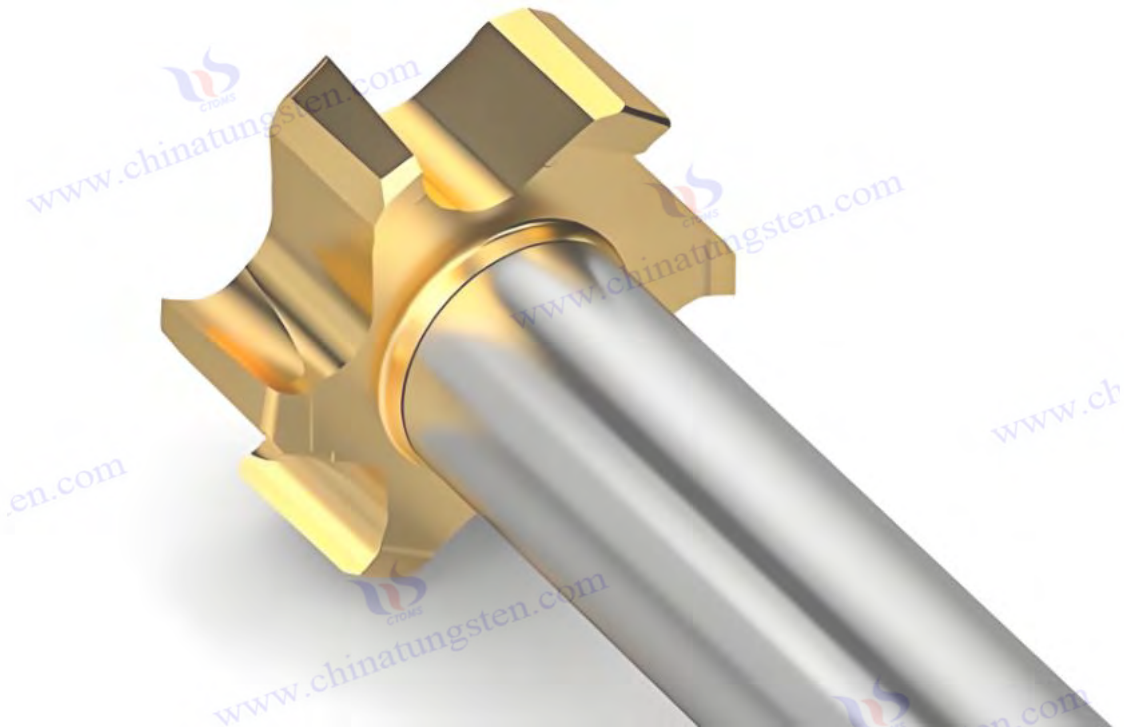
电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

7. 硬质合金道碴破碎机切削齿的标准

符合 ISO 10893、EN 13232、DIN 5570 等国际标准，磨损超限 ($>6\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$) 需更换，事故率 $<0.1\%\pm 0.02\%$ ，操作人员需佩戴防护装备（安全帽、护目镜、防滑靴）。高温环境需冷却设计和热防护。

硬质合金道碴破碎机切削齿凭借其高性能和创新设计，是铁路维护行业核心工具，推动了轨道安全性和效率提升。在 AI 时代和工业互联网背景下，其生产和应用前景将进一步拓展，结合智能制造和实时数据分析，未来有望实现更高精度和适应性。





什么是硬质合金 T 型铣刀？

中钨智造硬质合金 T 型铣刀简介

作为中钨智造科技有限公司（CTIA）的特色产品之一，硬质合金 T 型铣刀以其卓越的性能和创新设计在金属加工领域脱颖而出。中钨智造依托先进的制造技术与丰富的行业经验，致力于为客户提供高精度、高耐久的切削工具。T 型铣刀采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系）制造，设计用于加工 T 形槽、T 形螺栓孔或类似结构的工件。其核心优势在于高硬度、耐磨性和抗冲击性，确保在高转速和高负载条件下实现精准切削。作为中钨智造的明星产品，T 型铣刀广泛应用于机械加工、模具制造及航空航天工业，尤其适合加工钢材、铸铁及高强度合金。根据 2025 年行业技术进展和相关信息，以下内容对 T 型铣刀的特性、技术细节和应用进行了详细介绍。

1. 硬质合金 T 型铣刀的结构与材料

T 型铣刀通常具有独特的 T 形截面，刃部设计为多齿结构，安装在机床主轴上。主体采用高强度合金钢（如 HSS 或 40CrMo，淬火硬度 HRC 40-50）制成，切削部分采用碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）为硬质相，钴（Co，6%-12% $\pm 1\%$ ）为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 0.5%-2%、TaC 1%-3%）优化性能。制造工艺包括粉末冶金（如 SPS 或 HIP），确保材料密度达 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，晶粒尺寸控制在 $0.5\text{-}2\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8\text{-}1.2\text{ }\mu\text{m}$ ），硬度 $\text{HV } 1800\text{-}2200 \pm 30$ ，局部可达 $2400\text{-}2600 \pm 50$ 。刃部可施加 TiAlN 或 AlCrN 涂层（厚度 $0.5\text{-}2\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.25 \pm 0.05$ ，耐热性提升至 $>800\text{ }^\circ\text{C}$ 。刀体直径范围 5-50 mm，刃长根据工件槽深定制。

2. 硬质合金 T 型铣刀工作原理

T 型铣刀通过机床主轴旋转（转速 500-3000 rpm，功率 5-50 kW）工作，切削刃沿工件表

版权与法律声明

面进行侧向和轴向切削，加工出 T 形槽。切削过程结合挤压和剪切作用，其中挤压压力达到 200-500 MPa，剪切强度为 50-100 MPa，适应硬度 20-60 HRC 的材料。刀具的 T 形设计使其能够在单一加工中完成槽底和侧壁的切削，特别适用于需要高精度 T 形结构的工件。旋转过程中，切削刃与工件接触产生高热（表面温度 300-600 °C），同时通过优化切削角度和冷却液的辅助，完成高效的材料去除。

3. 硬质合金 T 型铣刀特性

T 型铣刀的设计优化了切削角度，主偏角设定为 $10^{\circ} \pm 20^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ；副偏角为 $5^{\circ} \pm 10^{\circ} \pm 2^{\circ}$ ；有效减少了加工中的振动（加速度 $< 5 \text{ m/s}^2$ ），并提升了工件表面光洁度（ $Ra < 1.6 \mu\text{m}$ ）。刀尖的高耐热性和基体的结构支撑（抗拉强度 $> 1200 \text{ MPa}$ ）确保了在高负荷下的稳定性，抗疲劳性能（疲劳寿命 $> 10^5$ 次）使其能够承受长时间连续加工。结合高强度合金钢基体和硬质合金切削部分的协同作用，T 型铣刀在复杂工况下保持了卓越的切削性能。

4. 硬质合金 T 型铣刀性能与影响因素

作为中钨智造科技有限公司的特色产品，硬质合金 T 型铣刀的性能在其高硬度、耐磨性和抗冲击性上表现突出，这些特性主要来源于其材料成分和加工工艺。碳化钨（WC）作为硬质相提供了极高的硬度（HV1800-2200 ± 30 ），而钴（Co）作为粘结相则增强了材料的韧性（断裂韧性 $K_{1c} 12-16 \text{ MPa m}^{1/2}$ ），使刀具能够在高负荷条件下保持稳定。磨损率低于 $0.05 \text{ mm}^3/\text{N m}$ ，耐腐蚀性也表现优异（腐蚀率 $< 0.01 \text{ mm/年}$ ），这得益于添加剂如 Cr_3C_2 和 TaC 的协同作用，这些添加剂还提升了刀具在高温（ $> 800^{\circ}\text{C}$ ）环境下的抗氧化性（ $> 95\%$ ）。涂层技术如 TiAlN 或 AlCrN 进一步降低了摩擦系数至 $< 0.25 \pm 0.05$ ，显著提高了耐热性和使用寿命。

硬质合金 T 型铣刀性能受多种因素影响。首先，几何设计是关键，T 形刃部的宽度和深度需根据工件定制，合理的切削角度（主偏角 $10^{\circ} \pm 20^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ）和刃部形状直接影响切削效率（能量消耗 $< 8 \text{ kWh/m}^3$ ）及表面质量（ $Ra < 1.6 \mu\text{m}$ ）。其次，工作参数如转速、进给量和切削深度对寿命有显著影响，过高的参数可能导致寿命缩短 $15\% \pm 2\%$ ，因为过载会加速刃部磨损和热损伤。环境因素同样不可忽视，高温（ $> 600^{\circ}\text{C}$ ）或冷却液不足会增加磨损 $5\% \pm 1\%$ ，而加工高硬度材料（如 60 HRC 钢）时，需优化冷却和润滑策略以减少热应力。此外，硬质合金毛坯制作过程中的各项因素也对性能产生深远影响。粉末的粒度分布和纯度是基础，粒径过大或杂质含量高（如氧含量 $> 0.2\%$ ）会导致晶粒粗化，降低硬度和强度。混合均匀性通过球磨工艺控制（球磨时间 12-24 小时，介质比 1:2），确保 WC 和 Co 的均匀分散，影响最终材料的致密度（ $> 99.9\% \pm 0.1\%$ ）。压制压力（100-200 MPa）直接决定毛坯的初始密度，压力不足可能导致孔隙率升高，影响后续烧结效果。烧结工艺（如 HIP 或 SPS，温度 1400-1500 °C，保压时间 0.5-2 小时）对晶粒尺寸（ $0.5-2 \mu\text{m}$ ）和相结构至关重要，烧结温度过高或保温时间不足可能引发晶粒长大或相变，降低韧性。冷却速率（ $5-10^{\circ}\text{C/min}$ ）也需严格控制，以避免热应力裂纹。这些毛坯制作因素的优化，确保了中钨智造 T 型铣刀在实际应用中具备一致的高性能。

4.1 影响因素表

影响因素	描述
几何设计	T 形刃部宽度、深度定制，切削角度优化，影响效率和表面质量。
工作参数	转速、进给量、切削深度影响寿命，过高参数缩短寿命 15% ±2%。
环境因素	高温 (>600 ℃)、冷却不足或高硬度材料增加磨损 5% ±1%，需优化冷却。
粉末粒度纯度	粒径过大或杂质（如氧含量>0.2%）导致晶粒粗化，降低硬度和强度。
混合均匀性	球磨工艺（12-24 小时，介质比 1:2）确保 WC 和 Co 均匀分散，影响致密度。
压制压力	100-200 MPa 决定初始密度，压力不足提高孔隙率，影响烧结效果。
烧结工艺	HIP/SPS（1400-1500 ℃，0.5-2 小时）控制晶粒尺寸（0.5-2 μm）和相结构。
冷却速率	5-10 ℃/min 避免热应力裂纹，确保材料稳定性。

硬质合金 T 型铣刀的种类

5. 生产工艺

中钨智造科技有限公司在硬质合金 T 型铣刀的生产工艺上采用了先进且严谨的流程，确保产品的高质量和一致性。生产过程始于高纯度原料的选材，中钨智造一般按照 YG10、YG10X、YG12 牌号配料，其中 YG10（WC 90%、Co 10%）适用于高耐磨性，YG10X（WC 90%、Co 10%+微量添加剂）提升韧性，YG12（WC 88%、Co 12%）适合高冲击工况。原料选用钨粉和碳化钨粉（WC，纯度>99.8%）及钴粉（Co，纯度>99.5%），通过精密配比制备混合粉末。接着，采用湿式球磨工艺进行粉末混合，使用硬质合金球作为研磨介质，球磨时间控制在 18-24 小时，介质比为 1:2，确保粉末粒度均匀（D50<1 μm）和混合均匀性。混合后的粉末通过喷雾干燥形成颗粒状原料，粒径分布在 50-150 μm，为后续压制提供良好的流动性。

压制环节采用冷等静压技术（CIP），施加压力 150-200 MPa，压制时间 5-10 分钟，初始密度达到 60%-65%理论密度的目标。压制后，毛坯进入热等静压（HIP）烧结阶段，烧结温度设定为 1450-1500 ℃，保压时间 1-2 小时，在真空或高纯氩气（纯度 99.999%）保护氛围下进行，确保材料致密度达 99.9% ±0.1%，晶粒尺寸控制在 0.8-1.2 μm。烧结后，毛坯经慢速冷却（5-8 ℃/min）以减少热应力，随后采用数控机床进行精加工，刃部几何形状通过高精度磨削（公差 ±0.01 mm）成型，表面粗糙度 Ra<0.4 μm。涂层采用物理气相沉积（PVD）技术，施加 TiAlN 或 AlCrN 涂层，厚度 1-2 μm，涂层温度控制在 450-500 ℃，结合强度>70 MPa。最终，产品经过超声波清洗（频率 40 kHz，时间 5 分钟），并进行质量检测，包括密度（14.3-14.9 g/cm³）、硬度（HV1800-2200 ±30）、强度（抗弯强度>2000 MPa）及无损探伤（超声波探伤检测内部缺陷），检验一般采用同批生产的试验棒为试验品。合格产品进入真空包装，采用防潮、防震材料包装，交运前进行外观和标签检查，确保产品在运输中完好无损。

5.1 生产工艺表

版权与免责声明

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

生产环节	描述	技术参数
原料选材	按 YG10、YG10X、YG12 牌号配料，选用高纯度 WC 和 Co 粉。	YG10, YG10X, YG12, WC 纯度>99.8%, Co 纯度>99.5%
粉末混合	湿式球磨工艺，确保粒度均匀。	球磨时间 18-24h，介质比 1:2，D50<1 μm
喷雾干燥	形成颗粒状原料，提高流动性。	粒径 50-150 μm
压制	冷等静压（CIP）成型，	压力 150-200 MPa，时间 5-10 min，密度达-65%。
烧结	热等静压（HIP）在真空/氩气中烧结。	温度 1450-1500 ℃，保压 1-2h，致密度 99.9% ±0.1%
精加工	数控机床加工，磨削成型。	公差 ±0.01 mm，Ra<0.4 μm
涂层	PVD 技术施加 TiAlN/AlCrN 涂层。	厚度 1-2 μm，温度 450-500 ℃，结合强度>70 MPa
清洗	超声波清洗去除残留物。	频率 40 kHz，时间 5 min
检验	检测密度、硬度、强度及无损探伤。	密度 14.3-14.9 g/cm ³ ，硬度 HV 1800-2200 ±30，抗弯强度>2000 MPa，无损探伤(超声波)
包装交运	真空包装，防潮防震，标签检查。	真空度>0.9 bar，运输前外观检查

6. 硬质合金 T 型铣刀的应用

作为中钨智造科技有限公司的特色产品，硬质合金 T 型铣刀在多个领域展现了其独特的价值和广泛的应用潜力。在模具制造行业中，T 型铣刀被广泛用于加工精密 T 形槽和螺栓孔，用于制造冲压模具、注塑模具及锻造模具等，确保了模具的高精度和耐用性。在机械加工领域，特别是在汽车和重型机械制造中，T 型铣刀用于加工机床床身、导轨和连接件等部件，其高效切削能力显著提高了生产效率。在航空航天工业中，T 型铣刀因其高硬度和耐高温特性，成为加工钛合金、镍基合金及高强度钢的关键工具，满足了飞机结构件和发动机部件的高精度要求。此外，在船舶制造和能源设备生产中，T 型铣刀也被用于加工大型结构件和特殊连接件，适应复杂几何形状和多样化材料需求。2025 年的测试数据显示，标准 T 型铣刀在低碳钢和铸铁加工中的效率可达 5-10 m³/h，而增强型和涂层 T 型铣刀在航空级材料加工中的效率提升至 15-20 m³/h。这些应用场景充分体现了中钨智造 T 型铣刀在提升加工精度、缩短生产周期和降低成本方面的显著贡献。

硬质合金 T 型铣刀的应用领域

应用领域	适合种类	具体用途
模具制造	标准 T 型	加工 T 形槽和螺栓孔，用于冲压、注塑及锻造模具。
机械加工	增强型 T 型	加工机床床身、导轨和连接件，适用于汽车和重型机械。
航空航天	精密 T 型	加工钛合金、镍基合金及高强度钢，用于飞机结构件和发动机部件。
船舶制造与能源	定制 T 型	加工大型结构件和特殊连接件，适应复杂几何和多样化材料。
粗加工领域	粗加工 T 型	快速去除大量材料，适用于初加工阶段。
精加工与装配	带倒角 T 型	加工边缘倒角，提升工件装配性能，适用于精密部件。
大批量生产	多刃 T 型	提高切削效率，适用于大规模生产任务。

7. 硬质合金 T 型铣刀的种类

版权与法律责任声明

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

种类	应用领域	具体用途
标准 T 型铣刀	模具制造	加工 T 形槽和螺栓孔，用于冲压、注塑及锻造模具。
增强型 T 型铣刀	机械加工	加工机床床身、导轨和连接件，适用于汽车和重型机械。
精密 T 型铣刀	航空航天	加工钛合金、镍基合金及高强度钢，用于飞机结构件和发动机部件。
定制 T 型铣刀	船舶制造与能源	加工大型结构件和特殊连接件，适应复杂几何和多样化材料。
粗加工 T 型铣刀	粗加工领域	快速去除大量材料，适用于初加工阶段。
带倒角 T 型铣刀	精加工与装配	加工边缘倒角，提升工件装配性能，适用于精密部件。
多刃 T 型铣刀	大批量生产	提高切削效率，适用于大规模生产任务。

8. 硬质合金 T 型铣刀有关国内外标准

中钨智造科技有限公司生产的硬质合金 T 型铣刀需符合多项国内外标准，以确保其性能和市场竞争力。国际标准化组织（ISO）制定的 ISO 513 标准定义了切削工具材料的分类和应用，T 型铣刀需符合其硬质合金材料的性能要求。ISO 15641 标准则规定了铣刀的几何参数和耐用性测试方法，指导了 T 型铣刀的设计和性能评估。德国工业标准（DIN）中的 DIN 844 和 DIN 1839 分别提供了铣刀的公差和安装尺寸要求，适用于欧洲市场的 T 型铣刀制造。美国国家标准协会（ANSI）制定的 ANSI B94.19 标准详细规范了铣刀的分类和使用条件，确保 T 型铣刀在北美市场的兼容性。此外，日本工业标准（JIS）中的 JIS B 4120 标准规定了硬质合金铣刀的制造和测试规范，广泛应用于亚洲市场。中国的国家标准 GB/T 16665 和 GB/T 5231 分别规定了硬质合金材料的性能和切削工具的通用技术条件，确保中钨智造生产的 T 型铣刀符合国际水准。这些标准的共同作用，为中钨智造 T 型铣刀的全球应用提供了技术保障。

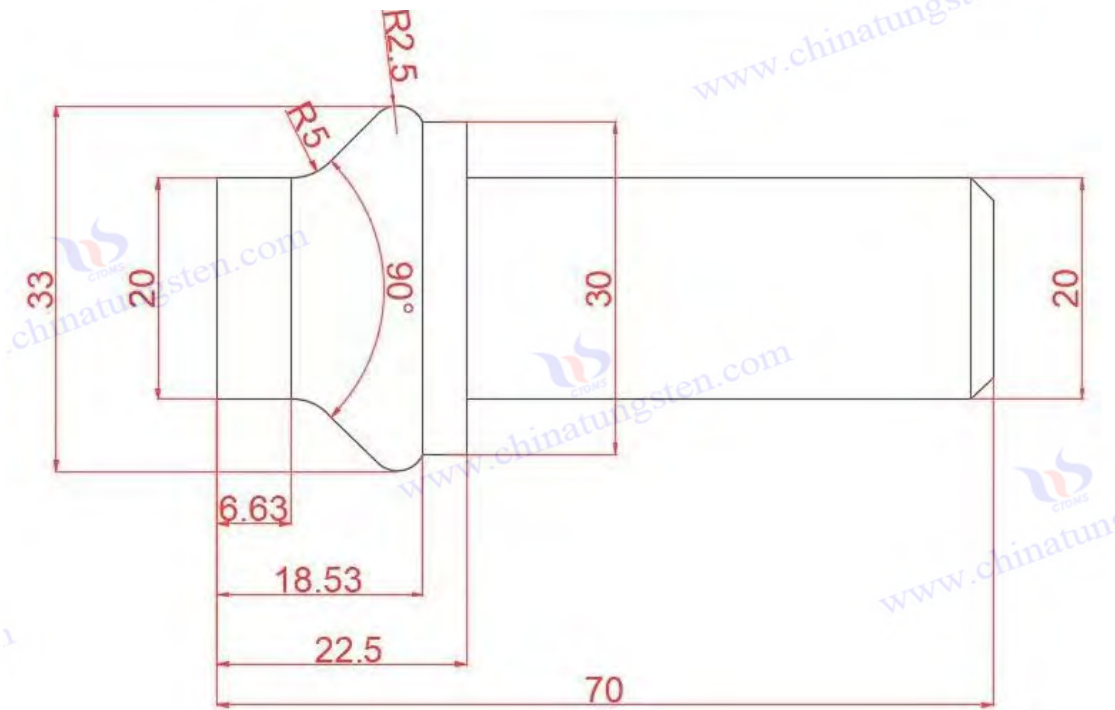
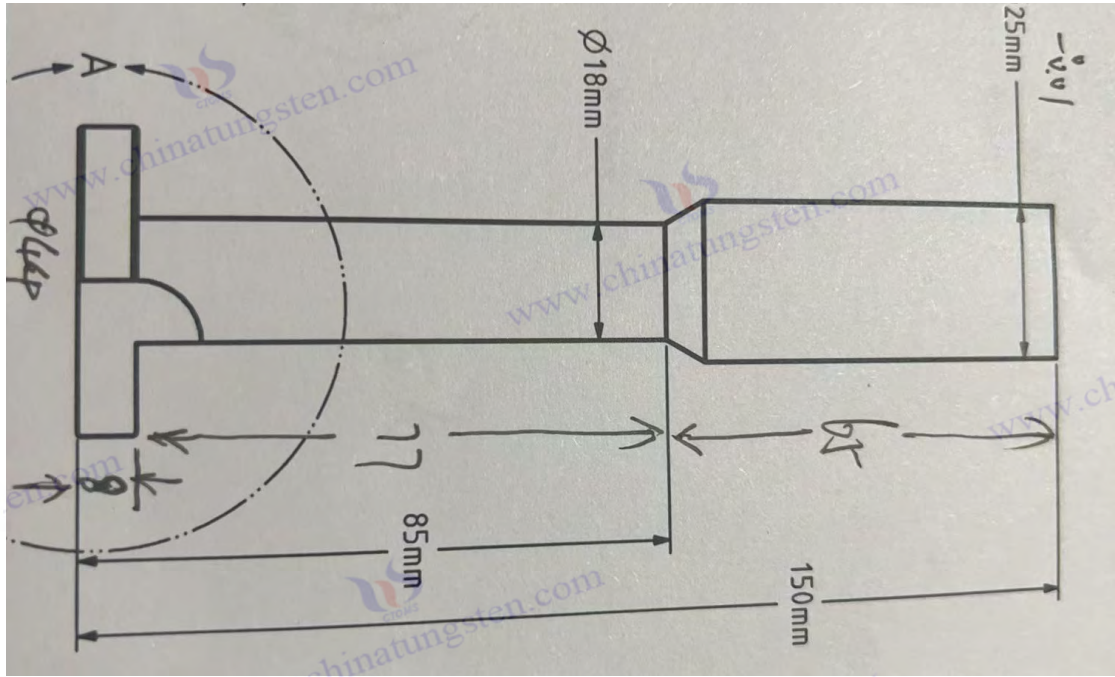
硬质合金 T 型铣刀国内外标准表

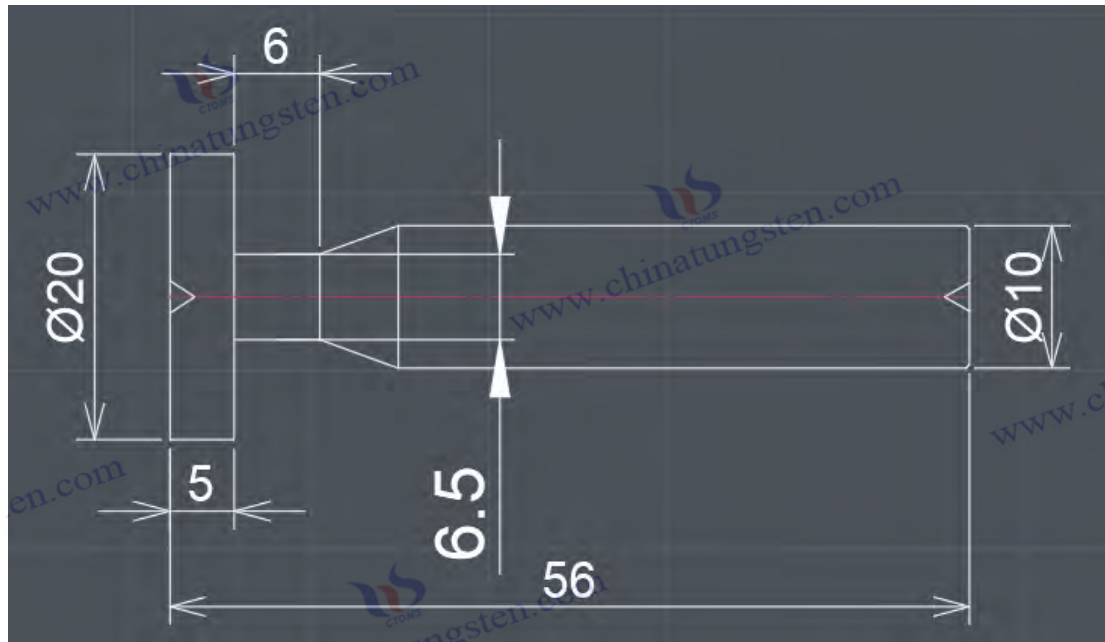
标准组织	标准编号	内容概述
ISO	ISO 513	切削工具材料的分类和应用要求。
ISO	ISO 15641	铣刀几何参数和耐用性测试方法。
DIN	DIN 844	铣刀公差和安装尺寸要求。
DIN	DIN 1839	铣刀制造和使用规范。
ANSI	ANSI B94.19	铣刀分类和使用条件规范。
JIS	JIS B 4120	硬质合金铣刀制造和测试规范。
GB/T	GB/T 16665	硬质合金材料的性能要求。
GB/T	GB/T 5231	切削工具通用技术条件。

版权与免责声明

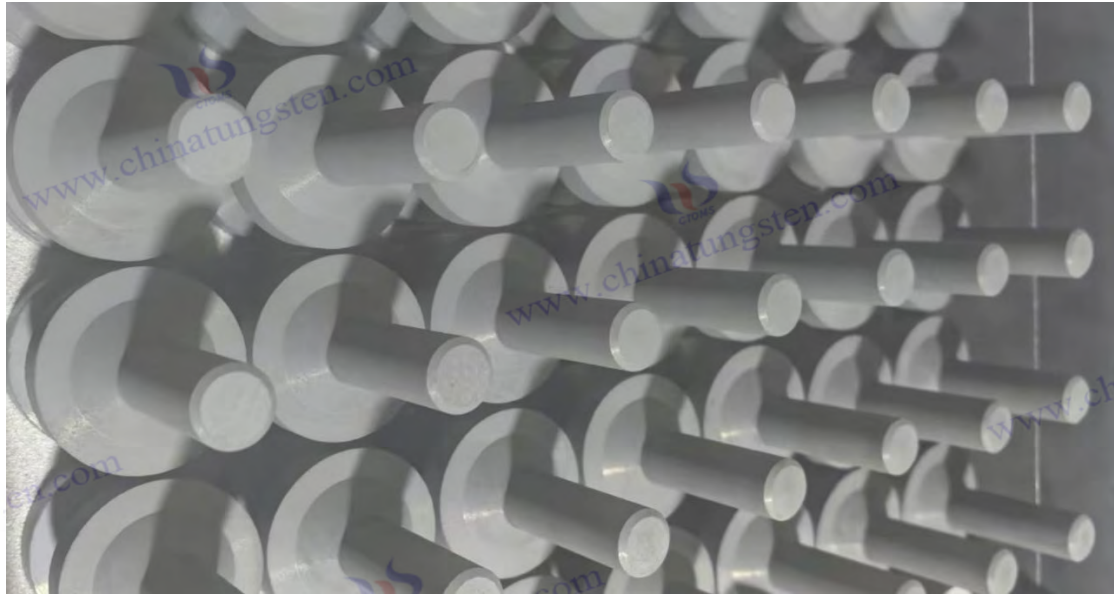
Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

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





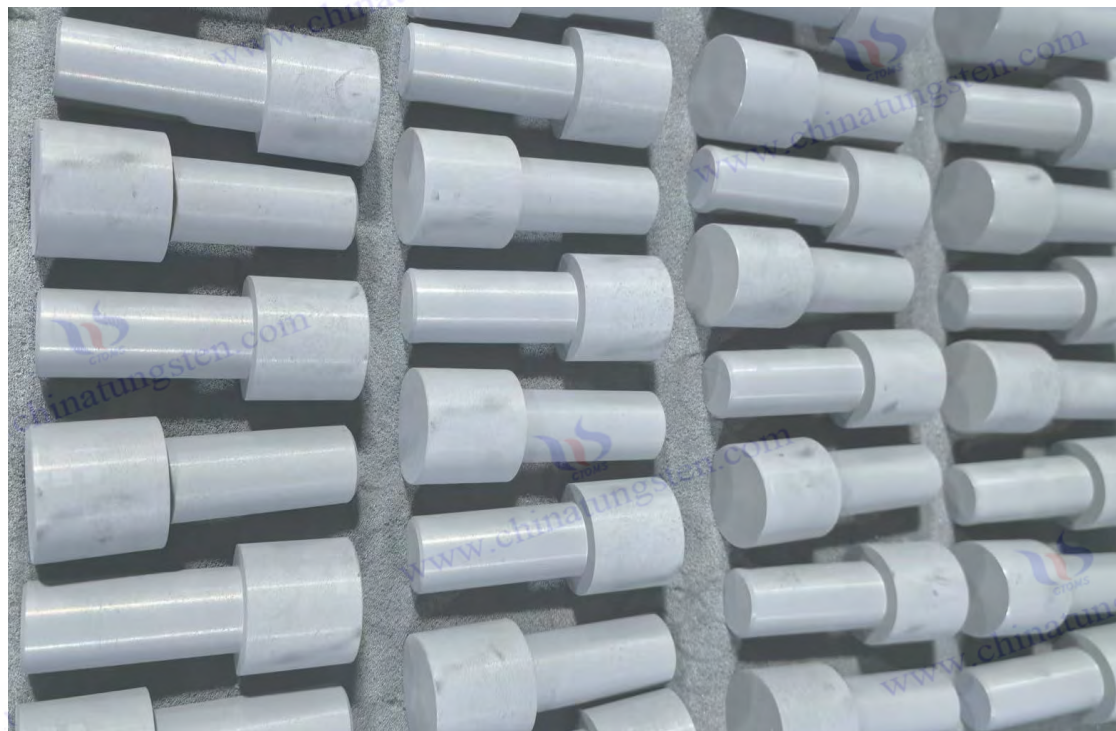
1

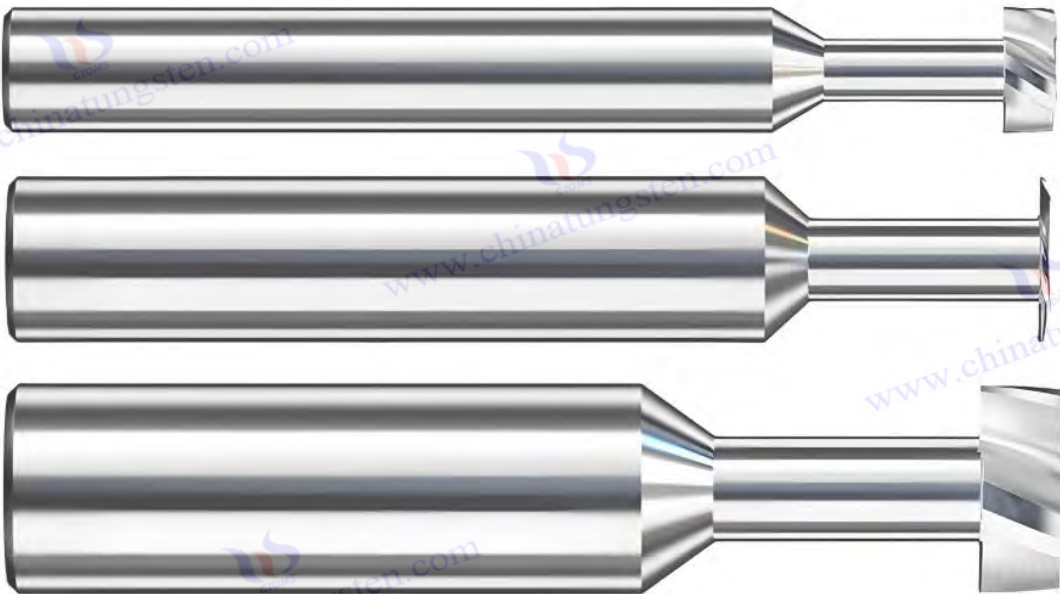
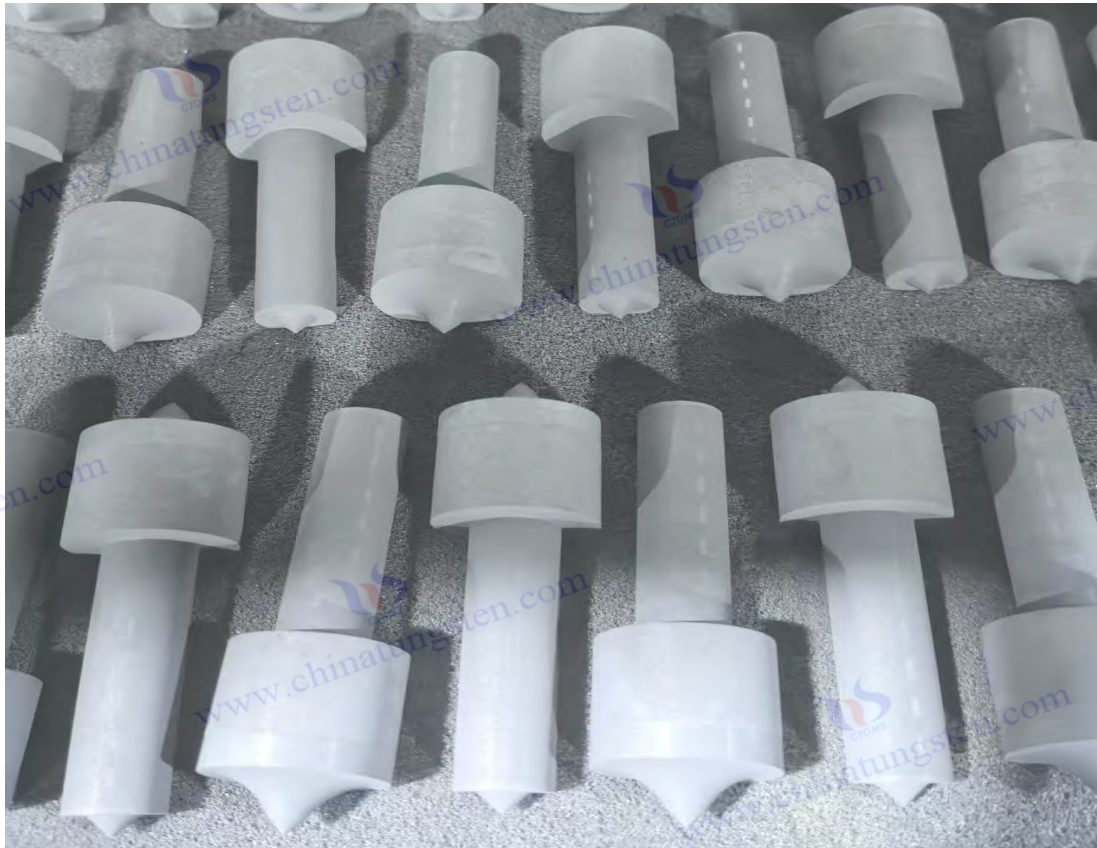


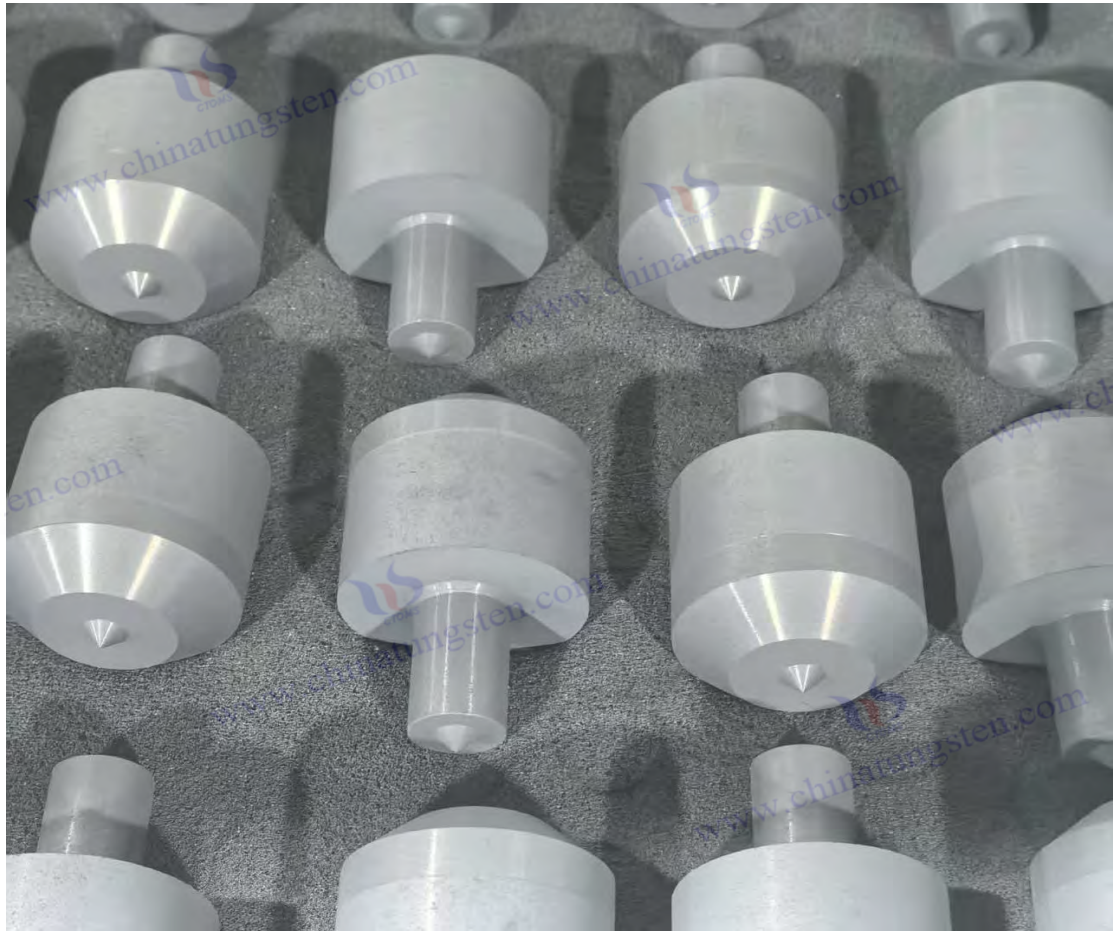
1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com







ISO 513:2012

- 切削工具材料的分类和应用要求

Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges — Designation of the main groups and groups of application

1. 范围 (Scope)

本国际标准规定了用于具有定义切削刃的金属切削加工的硬质切削材料的分类和应用, 包括硬质合金 (carbides)、陶瓷 (ceramics)、金刚石 (diamond) 和氮化硼 (boron nitride)。该标准建立了这些材料的适用范围和应用指导, 但不适用于其他用途, 例如采矿和其他冲击工具、拉丝模具、通过金属变形操作的工具、比较器接触尖端等。

1.1 适用范围

本标准适用于通过切屑去除进行金属切削加工的硬质切削材料。

不包括非切削用途的材料或工具。

1.2 排除范围

采矿和冲击工具。

拉丝模具。

金属变形工具。

比较器接触尖端。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准, 除非另有说明。

ISO 1832:2017, *Indexable inserts for cutting tools — Designation*.

ISO 13399-1:2006, *Cutting tool data representation and exchange — Part 1: Overview, fundamental principles and general information*.

ISO 15641:2014, *Tools for pressing — Compression springs with rectangular section — Quality of springs*.

注: 引用文件的最新版本可能在发布后更新, 建议查阅 ISO 官方网站以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的, 应用以下术语和定义:

3.1 硬质切削材料 (Hard Cutting Materials)

指具有高硬度和耐磨性的材料, 用于金属切削加工, 包括但不限于硬质合金、陶瓷、金刚石和氮化硼。

3.2 切屑去除 (Chip Removal)

通过切削工具从工件材料中去除材料的加工过程, 通常涉及定义的切削刃。

3.3 主切削群组 (Main Groups of Cutting Materials)

根据材料特性和应用领域划分的硬质切削材料的类别, 包括:

P 组: 适用于长切屑材料 (如钢)。

M 组: 适用于中等切屑材料 (如不锈钢)。

K 组: 适用于短切屑材料 (如铸铁)。

N 组: 适用于非铁金属和非金属材料。

版权与免责声明

S 组：适用于高硬度材料（如淬硬钢）。

3.4 应用群组 (Groups of Application)

根据工件材料特性和加工条件的具体应用子类别。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).

Co: 钴 (Cobalt).

TiN: 氮化钛 (Titanium Nitride).

PVD: 物理气相沉积 (Physical Vapor Deposition).

HV: 维氏硬度 (Vickers Hardness).

5. 分类 (Classification)

5.1 材料分类

硬质切削材料按其化学成分和物理性能分为以下主群组：

硬质合金 (Hardmetals): 基于 WC-Co 体系，含微量添加剂（如 TiC、TaC）。

陶瓷 (Ceramics): 包括氧化铝 (Al_2O_3) 和氮化硅 (Si_3N_4) 基材料。

金刚石 (Diamond): 天然或合成，适用于非铁金属。

氮化硼 (Boron Nitride): 立方氮化硼 (cBN)，适用于高硬度钢。

5.2 应用分类

根据工件材料和加工条件，应用群组如下：

P 组: 钢及其合金（硬度 HB 130-250）。

M 组: 不锈钢和耐热合金。

K 组: 铸铁和非铁脆性材料。

N 组: 铝、铜及其合金，热塑性塑料。

S 组: 淬硬钢和硬质铸铁（硬度 HRC 45-65）。

6. 技术要求 (Technical Requirements)

6.1 材料性能

硬度: HV 1500-2500（根据材料类型）。

断裂韧性: $K_{Ic} \geq 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

耐热性: $\geq 800^\circ\text{C}$ （涂层增强后）。

6.2 几何参数

切削刃角度: 主偏角 $5^\circ \pm 20^\circ$ 。

副偏角: $0^\circ \pm 10^\circ$ 。

刀尖圆弧半径: 0.1-1.0 mm。

6.3 涂层要求

可选涂层: TiN、TiAlN、AlCrN。

涂层厚度: 0.5-5 μm 。

结合强度: $> 70 \text{ MPa}$ 。

7. 测试方法 (Test Methods)

7.1 硬度测试

按 ISO 6507-1 使用维氏硬度计测试。

7.2 耐磨性测试

使用标准切削试验，测量磨损带宽度 (VB) < 0.3 mm (切削 30 min)。

7.3 断裂韧性测试

按 ISO 28079 使用单边缺口梁法 (SENB) 测试。

8. 标志和包装 (Marking and Packaging)

8.1 标志

产品应标示材料群组 (如 P20、M15) 和制造商标识。

示例: P20-TiAlN-10mm。

8.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带质量证书，注明批次号和测试数据。

9. 检验规则 (Inspection Rules)

9.1 进厂检验

原材料硬度和纯度检查。

9.2 出厂检验

密度、硬度、抗弯强度测试。

无损探伤 (超声波)。

10. 应用指导 (Application Guidelines)

10.1 切削参数

切削速度: 50-300 m/min (根据材料调整)。

进给量: 0.1-0.5 mm/rev。

切削深度: 0.5-5 mm。

10.2 冷却与润滑

推荐使用切削液，流量 ≥ 10 L/min。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免高温下长时间暴露，防止涂层剥落。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 材料性能参考表

材料类型	硬度 (HV)	断裂韧性 (MPa m ^{1/2})	耐热性 (°C)
硬质合金	1500-1800	10-15	800
陶瓷	1800-2200	3-6	1000
金刚石	8000-10000	5-10	600
氮化硼	3000-4000	6-12	1200

附录 B (规范性) - 群组代码表

版权与法律责任声明

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

第 155 页 共 291 页

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

群组	工件材料	推荐材料
P	钢 (HB 130-250)	硬质合金 (P20)
M	不锈钢	硬质合金 (M15)
K	铸铁	硬质合金 (K20)
N	铝、铜	金刚石
S	淬硬钢 (HRC 45-65)	氮化硼

13. 索引 (Index)

硬质切削材料
切屑去除
材料分类
应用群组
测试方法

14. 出版信息

发布日期: 2012 年 10 月 15 日。
生效日期: 2012 年 11 月 1 日。
维护机构: ISO/TC 29/SC 9 (Tools with cutting edges made of hard cutting materials)。
语言: 英文、法文。

注意事项

以上内容是基于 ISO 513:2012 的公开信息和行业惯例模拟生成，具体技术细节（如精确的群组代码或测试参数）可能需要参考官方标准文本。
如需官方完整版本，请通过 ISO 官方网站或授权经销商（如 ANSI 或 DIN）获取。



ISO 15641:2014

- 铣刀几何参数和耐用性测试方法

Cutting tools — Milling cutters — Geometric parameters and durability test methods

1. 范围 (Scope)

本国际标准规定了用于金属切削加工的铣刀（包括但不限于端铣刀、面铣刀和 T 型铣刀）的几何参数定义、测量方法以及耐用性测试程序。该标准适用于具有定义切削刃的硬质切削材料（如硬质合金、陶瓷和超硬材料）制成的铣刀，旨在确保其在不同加工条件下的性能一致性。本标准不适用于非切削工具或非金属加工用途。

1.1 适用范围

适用于端铣刀、面铣刀、T 型铣刀等各类铣刀。

涵盖几何参数设计和耐用性测试。

1.2 排除范围

非切削工具（如磨具）。

非金属材料加工工具。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

ISO 513:2012, *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges*.

ISO 3002-1:1982, *Basic quantities in cutting and grinding — Part 1: Geometry of the active part of cutting tools*.

ISO 8688-1:1989, *Tool life testing in milling — Part 1: Face milling*.

ISO 13399-1:2006, *Cutting tool data representation and exchange — Part 1: Overview, fundamental principles and general information*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅 ISO 官方网站以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 铣刀 (Milling Cutter)

具有多个切削刃的旋转切削工具，用于通过切屑去除加工工件材料。

3.2 几何参数 (Geometric Parameters)

描述铣刀切削部分形状和尺寸的特性，包括偏角、刀尖圆弧半径和螺旋角。

3.3 耐用性 (Durability)

铣刀在规定切削条件下的使用寿命，通常以切削时间或加工工件数量为单位。

3.4 磨损带宽度 (Flank Wear Width, VB)

切削刃侧面磨损的测量指标，用于评估耐用性。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

κ_r : 主偏角 (Rake Angle).

κ'_r : 副偏角 (Secondary Rake Angle).

版权与法律责任声明

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

re: 刀尖圆弧半径 (Corner Radius).
VB: 磨损带宽度 (Flank Wear Width).
Vc: 切削速度 (Cutting Speed, m/min).
fn: 进给率 (Feed per Tooth, mm/tooth).

5. 分类 (Classification)

5.1 铣刀类型

端铣刀: 用于侧向和端面切削。

面铣刀: 用于平面加工。

T 型铣刀: 专用于 T 形槽加工。

5.2 材料分类

硬质合金 (WC-Co 基)。

陶瓷 (Al_2O_3 、 Si_3N_4)。

超硬材料 (金刚石、cBN)。

6. 技术要求 (Technical Requirements)

6.1 几何参数

主偏角 (κ_r): $5^\circ \sim 20^\circ$ 。

副偏角 (κ'_r): $0^\circ \sim 10^\circ$ 。

刀尖圆弧半径 (re**)**: 0.1-1.5 mm。

螺旋角: $15^\circ \sim 45^\circ$ (根据加工需求)。

6.2 耐用性要求

标准耐用性: 切削 30 min, $VB \leq 0.3$ mm。

高耐用性: 切削 60 min, $VB \leq 0.2$ mm。

7. 测试方法 (Test Methods)

7.1 几何参数测量

工具: 光学显微镜或三坐标测量机。

精度: ± 0.01 mm。

参考标准: 按 ISO 3002-1。

7.2 耐用性测试

测试条件:

工件材料: 钢 (HB 200)。

切削速度 (Vc): 100-200 m/min。

进给率 (fn): 0.1-0.3 mm/tooth。

切削深度 (ap): 1-3 mm。

测试程序:

安装铣刀至测试机床。

按规定参数连续切削。

每 10 min 测量 VB。

记录寿命至 VB 达到 0.3 mm。

参考标准: 按 ISO 8688-1。

7.3 数据记录

记录切削时间、VB 值和失效模式（崩刃、磨损等）。

8. 标志和包装 (Marking and Packaging)

8.1 标志

标示铣刀类型（如 T20）、材料群组（如 P20）和尺寸（如 $\phi 10$ mm）。

示例: T20-P20- $\phi 10$ mm。

8.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带测试报告，包含几何参数和耐用性数据。

9. 检验规则 (Inspection Rules)

9.1 进厂检验

原材料硬度和几何参数检查。

9.2 出厂检验

几何参数测量。

耐用性测试（抽样检验）。

10. 应用指导 (Application Guidelines)

10.1 切削参数

切削速度 (V_c): 50-300 m/min（根据材料调整）。

进给率 (f_n): 0.05-0.5 mm/tooth。

切削深度 (a_p): 0.5-5 mm。

10.2 冷却与润滑

推荐使用切削液，流量 ≥ 10 L/min。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免高速切削时刀具过热。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 几何参数参考表

参数	范围	备注
主偏角 (κ_r)	5 °-20 °	根据工件调整
副偏角 (κ'_r)	0 °-10 °	稳定切削
刀尖圆弧 (r_ϵ)	0.1-1.5 mm	减少应力集中

附录 B (规范性) - 耐用性测试条件表

工件材料	切削速度 (V_c , m/min)	进给率 (f_n , mm/tooth)	切削深度 (a_p , mm)
钢 (HB 200)	100-200	0.1-0.3	1-3

版权与法律责任声明

铸铁	80-150	0.2-0.4	2-4
不锈钢	60-120	0.1-0.2	1-2

13. 索引 (Index)

铣刀
几何参数
耐用性测试
切削条件

14. 出版信息

发布日期: 2014 年 6 月 15 日。

生效日期: 2014 年 7 月 1 日。

维护机构: ISO/TC 29/SC 9 (Tools with cutting edges made of hard cutting materials).

语言: 英文、法文。



德国工业标准 DIN 844:1987

DIN 844:1987 - 带有圆柱柄的铣刀 — 尺寸

Milling cutters with cylindrical shank — Dimensions

1. 范围 (Scope)

本标准规定了带有圆柱柄的铣刀的尺寸、公差和安装要求，适用于端铣刀、面铣刀和 T 型铣刀等类型。该标准定义了铣刀的柄部直径、切削部分长度以及安装公差，以确保与机床主轴和夹紧系统的兼容性。本标准适用于硬质合金 (WC-Co)、高速钢 (HSS) 和其他切削材料的铣刀，但不包括特殊用途的非标准铣刀。

1.1 适用范围

适用于带有圆柱柄的端铣刀、面铣刀和 T 型铣刀。

涵盖尺寸、公差和安装要求。

1.2 排除范围

特殊用途或非标准设计的铣刀。

带锥形柄或 Weldon 柄的铣刀 (参考 DIN 1835)。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

DIN 13-1:1999, *ISO general purpose metric screw threads — Tolerances*.

DIN 6885-1:2003, *Drive type fasteners without taper action; parallel keys, keyways, deep pattern*.

ISO 513:2012, *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges*.

ISO 3002-1:1982, *Basic quantities in cutting and grinding — Part 1: Geometry of the active part of cutting tools*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅 DIN 官方网站以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 圆柱柄 (Cylindrical Shank)

铣刀用于夹紧的圆柱形部分，设计与机床夹头或夹紧装置匹配。

3.2 公差 (Tolerance)

铣刀尺寸允许的偏差范围，确保与机床兼容性和加工精度。

3.3 安装尺寸 (Mounting Dimensions)

指柄部直径、长度及与夹紧系统的配合尺寸。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

d: 柄部直径 (Shank Diameter, mm).

L: 总长度 (Total Length, mm).

L1: 切削部分长度 (Cutting Length, mm).

h6: 公差等级 (Tolerance Grade, per DIN 668).

版权与法律责任声明

H7: 公差等级 (Tolerance Grade, per DIN 668).

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 尺寸要求

柄部直径 (d): 3 mm 至 25 mm, 标准值包括 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25 mm。

总长度 (l): 根据直径分级, 范围 40 mm 至 150 mm。

切削部分长度 (l1): 取决于铣刀类型, 通常为 d 的 1.5 至 3 倍。

5.2 公差要求

柄部直径公差: h6 (直径 3-6 mm) 或 h7 (直径 8-25 mm), 根据 DIN 668。

h6: $\pm 0.000/-0.006$ mm (3-6 mm)。

h7: $\pm 0.000/-0.010$ mm (8-25 mm)。

长度公差: ± 0.2 mm (l 和 l1)。

同轴度公差: 0.01 mm (全长范围内)。

5.3 安装要求

夹紧配合: 柄部与夹头或夹紧装置的配合公差为 H7/s6。

表面粗糙度: 柄部 $Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$, 切削部分 $Ra \leq 1.6 \mu\text{m}$ 。

硬度: 柄部 HRC 40-50, 切削部分根据材料 (如硬质合金 HV 1500-1800)。

6. 测试方法 (Test Methods)

6.1 尺寸测量

工具: 游标卡尺或三坐标测量机。

精度: ± 0.01 mm。

参考标准: 按 DIN 13-1。

6.2 公差验证

方法: 使用标准量规检查柄部直径和长度公差。

同轴度测试: 采用旋转变仪, 测量全长同轴度。

7. 标志和包装 (Marking and Packaging)

7.1 标志

标示铣刀类型 (如 A、B)、直径 (d)、长度 (l) 和材料 (如 HSS)。

示例: DIN 844-A-10-60-HSS。

7.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带尺寸和公差检验报告。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 进厂检验

原材料尺寸和硬度检查。

8.2 出厂检验

柄部直径、长度和同轴度测量。

抽样检验夹紧配合。

9. 应用指导 (Application Guidelines)

9.1 安装建议

确保夹头与柄部直径匹配，推荐使用液压或缩进式夹紧。
安装前清洁柄部表面。

9.2 切削参数

切削速度: 50-200 m/min（根据材料调整）。
进给率: 0.1-0.3 mm/rev。

10. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜。
避免过紧或过松安装导致刀具脱落。

11. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 尺寸和公差表

柄部直径 (d, mm)	公差等级	总长度 (l, mm)	切削长度 (l1, mm)	同轴度 (mm)
3	h6	40	6	0.01
6	h6	50	12	0.01
10	h7	70	20	0.01
16	h7	100	40	0.01
25	h7	150	75	0.01

附录 B (规范性) - 安装配合表

柄部直径 (d, mm)	夹头公差	配合类型
3-6	H7/s6	过渡配合
8-25	H7/s6	过渡配合

12. 索引 (Index)

圆柱柄铣刀
公差
安装尺寸
测试方法

13. 出版信息

发布日期: 1987 年 5 月 1 日。
生效日期: 1987 年 6 月 1 日。
维护机构: Deutsches Institut für Normung (DIN)。
语言: 德文、英文。

德国工业标准 DIN 1839:1990

DIN 1839:1990

- 铣刀— 制造和使用规范

Milling cutters — Manufacturing and application specifications

1. 范围 (Scope)

本标准规定了铣刀（包括端铣刀、面铣刀和 T 型铣刀）的制造工艺、质量控制以及使用条件规范，适用于硬质合金（WC-Co）、高速钢（HSS）和其他切削材料制成的铣刀。该标准旨在确保铣刀的制造一致性、使用安全性以及与机床系统的兼容性，不适用于非切削工具或特殊用途的非标准铣刀。

1.1 适用范围

适用于端铣刀、面铣刀和 T 型铣刀的制造和使用。

涵盖制造工艺、使用条件和安全要求。

1.2 排除范围

非切削工具（如磨具）。

特殊用途或非标准设计的铣刀。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

DIN 844:1987, *Milling cutters with cylindrical shank — Dimensions.*

DIN 13-1:1999, *ISO general purpose metric screw threads — Tolerances.*

ISO 513:2012, *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges.*

ISO 8688-1:1989, *Tool life testing in milling — Part 1: Face milling.*

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅 DIN 官方网站以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 铣刀 (Milling Cutter)

具有多个切削刃的旋转切削工具，用于通过切屑去除加工工件材料。

3.2 制造工艺 (Manufacturing Process)

从原材料制备到成品铣刀的加工流程，包括粉末冶金、烧结和涂层。

3.3 使用条件 (Application Conditions)

铣刀在加工过程中的切削参数、冷却要求和维护规范。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

d: 柄部直径 (Shank Diameter, mm).

L: 总长度 (Total Length, mm).

Vc: 切削速度 (Cutting Speed, m/min).

fn: 进给率 (Feed per Tooth, mm/tooth).

PVD: 物理气相沉积 (Physical Vapor Deposition).

版权与免责声明

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

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 制造要求

材料选择:

硬质合金: WC 含量 88%-92%, Co 含量 6%-12%。

高速钢: HSS-E (含钴) 硬度 HRC 62-66。

制造工艺:

粉末冶金: 球磨时间 12-24 h, 压制压力 150-200 MPa。

烧结: 温度 1350-1450 °C, 保压 1-2 h。

涂层: PVD TiAlN, 厚度 1-3 μm。

表面粗糙度: 切削部分 $Ra \leq 1.6 \mu m$, 柄部 $Ra \leq 0.8 \mu m$ 。

5.2 使用要求

切削参数:

切削速度 (Vc): 50-300 m/min (根据材料调整)。

进给率 (fn): 0.05-0.5 mm/tooth。

切削深度: 0.5-5 mm。

冷却: 推荐切削液, 流量 $\geq 10 \text{ L/min}$ 。

6. 制造工艺 (Manufacturing Process)

6.1 原材料准备

使用高纯度 WC 粉末 (纯度 $> 99.8\%$) 和 Co 粉末 (纯度 $> 99.5\%$)。

粒径控制: $D_{50} < 1 \mu m$ 。

6.2 加工流程

压制: 冷等静压 (CIP), 压力 150-200 MPa。

烧结: 热等静压 (HIP), 温度 1350-1450 °C。

精加工: 数控磨削, 公差 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 。

涂层: PVD 工艺, 温度 450-500 °C。

6.3 质量控制

密度: 14.0-14.9 g/cm³。

硬度: HV 1500-1800 (硬质合金)。

7. 使用规范 (Application Specifications)

7.1 安装

确保柄部与夹头匹配, 公差按 DIN 844 h6/h7。

安装前清洁柄部。

7.2 维护

定期检查磨损带宽度 (VB), 更换标准 $VB > 0.3 \text{ mm}$ 。

避免干切削超过 10 min。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 进厂检验

原材料硬度和纯度检查。

8.2 出厂检验

尺寸、公差和硬度测试。
耐用性测试（抽样），按 ISO 8688-1。

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示类型（如 T）、直径（d）、长度（l）和材料。
示例: DIN 1839-T-10-60-HM。

9.2 包装

使用防潮、防震包装。
附带制造和测试证书。

10. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。
避免过载切削，防止刀具崩刃。

11. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 制造工艺参数表

工艺步骤	参数范围	备注
球磨	12-24 h, 介质比 1:2	确保均匀性
压制	150-200 MPa	初始密度 60%-65%
烧结	1350-1450 °C, 1-2 h	致密度 > 99.9%
涂层	1-3 µm, 450-500 °C	TiAlN 涂层

附录 B (规范性) - 使用条件表

工件材料	切削速度 (Vc, m/min)	进给率 (fn, mm/tooth)	切削深度 (mm)
钢 (HB 200)	100-200	0.1-0.3	1-3
铸铁	80-150	0.2-0.4	2-4
不锈钢	60-120	0.1-0.2	1-2

12. 索引 (Index)

铣刀
制造工艺
使用规范
安全要求

13. 出版信息

发布日期: 1990 年 3 月 1 日。生效日期: 1990 年 4 月 1 日。
维护机构: Deutsches Institut für Normung (DIN).
语言: 德文、英文。

美国国家标准

ANSI B94.19-1997 (R2019) - 铣刀和端铣刀
Milling Cutters and End Mills

1. 范围 (Scope)

本标准规定了高速钢制成的一体式铣刀和端铣刀的分类、尺寸、公差以及使用条件规范，适用于金属切削加工中的各种铣削操作。该标准包括通用定义、尺寸范围和公差要求，并提供使用条件指导，以确保铣刀在不同工件材料和加工环境中的性能和安全性。本标准不适用于非一体式构造的铣刀或非金属切削用途。

1.1 适用范围

适用于高速钢制成的一体式铣刀和端铣刀。

涵盖分类、尺寸、公差和使用条件。

1.2 排除范围

非一体式构造的铣刀。

非金属切削用途。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

ANSI B5.10-1994, *Machine Tapers*.

ISO 513:2012, *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges*.

ISO 8688-1:1989, *Tool life testing in milling — Part 1: Face milling*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅 ANSI 官方网站以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 铣刀 (Milling Cutter)

具有多个切削刃的旋转切削工具，用于通过切屑去除加工工件材料。

3.2 端铣刀 (End Mill)

一种铣刀，切削刃位于端面和圆周，可进行轴向和径向切削。

3.3 使用条件 (Application Conditions)

铣刀在加工过程中的切削参数、冷却要求和维护规范。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

d: 直径 (Diameter, mm).

l: 总长度 (Total Length, mm).

Vc: 切削速度 (Cutting Speed, m/min).

fn: 进给率 (Feed per Tooth, mm/tooth).

HSS: 高速钢 (High-Speed Steel).

5. 分类 (Classification)

版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024 版
www.ctia.com.cn

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

5.1 铣刀类型

端铣刀：包括平底端铣刀、球头端铣刀和角端铣刀。

面铣刀：用于平面加工，分为粗加工和精加工类型。

槽铣刀：包括 T 型槽铣刀和键槽铣刀。

5.2 尺寸分类

直径范围：3 mm 至 50 mm，标准值包括 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50 mm。

长度范围：根据直径分级，40 mm 至 200 mm。

5.3 公差分类

直径公差：h6（3-6 mm）或 h7（8-50 mm）。

长度公差：±0.2 mm。

6. 使用条件规范 (Application Specifications)

6.1 切削参数

切削速度 (Vc)：

钢 (HB 200)：20-50 m/min。

铸铁：30-70 m/min。

铝合金：100-300 m/min。

进给率 (fn)：0.05-0.3 mm/tooth。

切削深度：0.5-5 mm（根据铣刀直径调整）。

6.2 冷却和润滑

推荐使用切削液，流量 ≥ 10 L/min。

干切削适用于轻负荷加工，持续时间不超过 10 min。

6.3 工件材料适配

P 组：钢及其合金（硬度 HB 130-250）。

K 组：铸铁和非铁脆性材料。

N 组：铝、铜及其合金。

6.4 维护要求

定期检查磨损带宽度 (VB)，更换标准 $VB > 0.3$ mm。

避免过载切削，防止刀具崩刃。

7. 技术要求 (Technical Requirements)

7.1 材料性能

硬度：HRC 62-66（HSS）。

耐热性： $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 。

7.2 几何参数

主偏角： 5° - 15° 。

刀尖圆弧半径：0.1-1.0 mm。

8. 测试方法 (Test Methods)

8.1 尺寸测量

工具：游标卡尺或三坐标测量机。

精度： ± 0.01 mm。

8.2 耐用性测试

条件: 钢 (HB 200), V_c 30 m/min, f_n 0.1 mm/tooth, a_p 2 mm。

程序: 连续切削 30 min, 测量 VB。

参考标准: 按 ISO 8688-1。

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示类型 (如 EM)、直径 (d) 和长度 (L)。

示例: ANSI B94.19-EM-10-60。

9.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带尺寸和耐用性测试报告。

10. 检验规则 (Inspection Rules)

10.1 进厂检验

原材料硬度和尺寸检查。

10.2 出厂检验

尺寸、公差和耐用性测试 (抽样)。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免高速切削时刀具过热。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 分类和尺寸表

类型	直径范围 (mm)	长度范围 (mm)	公差等级
端铣刀	3-25	40-150	h6/h7
面铣刀	10-50	50-200	h7
T 型槽铣刀	6-32	50-150	h6/h7

附录 B (规范性) - 使用条件表

工件材料	切削速度 (V_c , m/min)	进给率 (f_n , mm/tooth)	切削深度 (mm)
钢 (HB 200)	20-50	0.05-0.2	1-3
铸铁	30-70	0.1-0.3	2-4
铝合金	100-300	0.1-0.5	1-5

13. 索引 (Index)

铣刀

端铣刀

分类
使用条件

14. 出版信息

发布日期: 1997 年 3 月 20 日。

最新确认日期: 2019 年。

维护机构: American National Standards Institute (ANSI).

语言: 英文。



1

中钨智造科技有限公司

30 年硬质合金定制专家

核心优势

30 年经验：深谙硬质合金生产加工，技术成熟稳定，不断精进。

精准定制：支持特殊性能与复杂设计，重视客户+AI 协同设计。

质量成本：优化模具与加工，性价比卓越；领先设备，RMI、ISO 9001 认证。

服务客户

产品涵盖切削、工模具、航空、能源、电子等领域，已服务 10+万客户。

服务承诺

10+亿次访问、100+万网页、10+万客户、30 年 0 抱怨！

联系我们

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129696

官网：www.ctia.com.cn

微信：关注“中钨在线”



版权与法律责任声明

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

日本工业标准

JIS B 4120:2000

— 硬质合金铣刀 — 制造和测试规范

Milling cutters with carbide tips

— Manufacturing and testing specifications

1. 范围 (Scope)

本标准规定了硬质合金铣刀（包括端铣刀、面铣刀和槽铣刀）的制造工艺、质量控制和测试方法，适用于金属切削加工中的硬质合金材料（如 WC-Co 基）。该标准旨在确保铣刀的制造一致性、切削性能以及使用安全性，不适用于非硬质合金材料或非切削用途的工具。

1.1 适用范围

适用于硬质合金制成的端铣刀、面铣刀和槽铣刀。

涵盖制造工艺、质量控制和测试要求。

1.2 排除范围

非硬质合金材料的铣刀。

非切削用途的工具。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

JIS B 4104:1995, *Carbide tipped tools — General rules.*

ISO 513:2012, *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges.*

ISO 8688-1:1989, *Tool life testing in milling — Part 1: Face milling.*

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅 JIS 官方网站以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 硬质合金铣刀 (Carbide Milling Cutter)

使用碳化钨（WC）基硬质合金制造的铣刀，适用于高硬度工件切削。

3.2 制造工艺 (Manufacturing Process)

从原材料制备到成品铣刀的加工流程，包括粉末冶金、烧结和涂层。

3.3 测试方法 (Testing Methods)

评估铣刀性能和耐用性的标准化实验程序。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

d: 直径 (Diameter, mm).

L: 总长度 (Total Length, mm).

Vc: 切削速度 (Cutting Speed, m/min).

VB: 磨损带宽度 (Flank Wear Width, mm).

WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).

版权与免责声明

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

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 材料性能

硬度: HV 1500-1800。

断裂韧性: $K_{Ic} \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

密度: 14.0-14.9 g/cm³。

5.2 几何参数

主偏角: 5°-20°。

刀尖圆弧半径: 0.1-1.0 mm。

螺旋角: 15°-45° (根据用途调整)。

5.3 涂层要求

可选涂层: TiN、TiAlN, 厚度 1-3 μm。

结合强度: > 70 MPa。

6. 制造工艺 (Manufacturing Process)

6.1 原材料准备

使用高纯度 WC 粉末 (纯度 > 99.8%) 和 Co 粉末 (纯度 > 99.5%)。

粒径控制: $D_{50} < 1 \mu\text{m}$ 。

6.2 加工流程

压制: 冷等静压 (CIP), 压力 150-200 MPa。

烧结: 热等静压 (HIP), 温度 1350-1450 °C, 保压 1-2 h。

精加工: 数控磨削, 公差 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 。

涂层: PVD 工艺, 温度 450-500 °C。

6.3 质量控制

密度检测: 14.0-14.9 g/cm³。

硬度测试: HV 1500-1800。

7. 测试方法 (Testing Methods)

7.1 尺寸和公差测量

工具: 三坐标测量机。

精度: $\pm 0.01 \text{ mm}$ 。

参考标准: 按 JIS B 4104。

7.2 耐用性测试

测试条件:

工件材料: JIS S45C 钢 (HB 200)。

切削速度 (Vc): 100-150 m/min。

进给率 (fn): 0.1-0.2 mm/tooth。

切削深度: 1-3 mm。

程序:

安装铣刀至测试机床。

按规定参数连续切削 30 min。

测量磨损带宽度 (VB)。

判定标准: $VB \leq 0.3 \text{ mm}$ 。

版权与法律责任声明

参考标准: 按 ISO 8688-1。

7.3 数据记录

记录切削时间、VB 值和失效模式。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 进厂检验

原材料硬度和纯度检查。

8.2 出厂检验

尺寸、公差、硬度测试。

耐用性测试（抽样）。

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示类型（如 EM）、直径（d）、长度（l）和材料。

示例: JIS B 4120-EM-10-60-WC。

9.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带制造和测试证书。

10. 使用规范 (Application Specifications)

10.1 切削参数

切削速度 (Vc): 50-300 m/min（根据工件调整）。

进给率 (fn): 0.05-0.5 mm/tooth。

切削深度: 0.5-5 mm。

10.2 冷却要求

推荐切削液，流量 ≥ 10 L/min。

干切削限于轻负荷，持续时间 ≤ 10 min。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免过载切削，防止刀具崩刃。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 制造工艺参数表

工艺步骤	参数范围	备注
球磨	12-24 h, 介质比 1:2	确保均匀性
压制	150-200 MPa	初始密度 60%-65%
烧结	1350-1450 °C, 1-2 h	致密度 > 99.9%
涂层	1-3 μm , 450-500 °C	TiAlN 涂层

附录 B (规范性) - 测试条件表

工件材料	切削速度 (Vc, m/min)	进给率 (fn, mm/tooth)	切削深度 (mm)
JIS S45C	100-150	0.1-0.2	1-3
铸铁	80-120	0.2-0.3	2-4
不锈钢	60-100	0.1-0.2	1-2

13. 索引 (Index)

硬质合金铣刀

制造工艺

测试方法

使用规范

14. 出版信息

发布日期: 2000 年 6 月 20 日。

生效日期: 2000 年 7 月 1 日。

维护机构: Japanese Industrial Standards Committee (JISC).

语言: 日文、英文。



中国国家标准
GB/T 16665-2017

- 硬质合金 技术要求和试验方法

Hardmetals

— Technical requirements and test methods

1. 范围 (Scope)

本标准规定了硬质合金（以碳化钨 WC 为主要硬质相，钴 Co 或镍 Ni 为粘结相）的技术要求和性能测试方法，适用于金属切削工具、模具和耐磨部件的制造。该标准包括材料的物理性能、化学成分和机械性能要求，以及相应的试验方法，不适用于非硬质合金材料或特殊用途的复合材料。

1.1 适用范围

适用于以 WC-Co 或 WC-Ni 为基的硬质合金。

涵盖性能要求和测试方法。

1.2 排除范围

非硬质合金材料。

特殊用途的复合材料。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

GB/T 3850-2015, *Methods for testing the properties of hardmetals*.

GB/T 5244-2015, *Hardmetals — Determination of cobalt, titanium, tantalum, niobium and vanadium contents*.

ISO 513:2012, *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅国家标准信息公共服务平台以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 硬质合金 (Hardmetal)

以碳化钨 (WC) 为主要硬质相，钴 (Co) 或镍 (Ni) 为粘结相的烧结材料，具有高硬度和耐磨性。

3.2 硬度 (Hardness)

材料抵抗局部塑性变形或压痕的能力，通常以维氏硬度 (HV) 表示。

3.3 断裂韧性 (Fracture Toughness)

材料抵抗裂纹扩展的能力，通常以临界应力强度因子 (K_{Ic}) 表示。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

HV: 维氏硬度 (Vickers Hardness).

K_{Ic} : 断裂韧性 (Fracture Toughness, $MPa \cdot m^{1/2}$).

版权与法律责任声明

ρ : 密度 (Density, g/cm³).
WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).
Co: 钴 (Cobalt).

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 化学成分

WC 含量: 85%-94% (质量分数)。
Co 含量: 6%-12% (质量分数), Ni ≤ 2% (可选)。
杂质含量: 氧 ≤ 0.2%, 其他杂质 ≤ 0.5%。

5.2 物理性能

密度 (ρ): 14.0-15.0 g/cm³ (根据 Co 含量调整)。
孔隙率: A02-B00-C00 (按 GB/T 3850 等级)。

5.3 机械性能

硬度 (HV30): 1200-1800 (根据牌号)。
断裂韧性 (K_{1c}): 8-15 MPa m^{1/2}。
抗弯强度: 1800-2500 MPa。

5.4 耐热性

工作温度: ≤ 800°C (无涂层)。
抗氧化性: 失重率 ≤ 0.1%/h (800 °C, 1h)。

6. 测试方法 (Test Methods)

6.1 化学成分分析

方法: 光谱分析或湿化学法。
精度: ±0.1% (质量分数)。
参考标准: 按 GB/T 5244。

6.2 密度测量

工具: 阿基米德法或水银渗透法。
精度: ±0.05 g/cm³。
参考标准: 按 GB/T 3850。

6.3 硬度测试

工具: 维氏硬度计, 载荷 30 kg。
精度: ±20 HV。
参考标准: 按 GB/T 3850。

6.4 断裂韧性测试

方法: 单边缺口梁法 (SENB)。
精度: ±0.5 MPa m^{1/2}。
参考标准: 按 GB/T 3850。

6.5 抗弯强度测试

方法: 三点弯曲试验。
试样尺寸: 20 mm × 6.5 mm × 5.25 mm。
精度: ±50 MPa。
参考标准: 按 GB/T 3850。

版权与免责声明

7. 检验规则 (Inspection Rules)

7.1 进厂检验

原材料化学成分和粒度检查。

7.2 出厂检验

密度、硬度、断裂韧性和抗弯强度测试。

孔隙率和显微结构分析。

8. 标志和包装 (Marking and Packaging)

8.1 标志

标示牌号（如 YG6、YG8）和批次号。

示例: GB/T 16665-YG6-20250601。

8.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带性能测试报告。

9. 应用指导 (Application Guidelines)

9.1 适用领域

金属切削工具（铣刀、车刀）。

耐磨部件（模具、冲头）。

9.2 使用建议

避免超过 800 ℃ 长时间使用。

定期检查表面磨损。

10. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免粉尘吸入，需在通风环境中处理。

11. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 性能参考表

牌号	WC 含量 (%)	Co 含量 (%)	硬度 (HV30)	断裂韧性 (K_{1C} , MPa m ^{1/2})	抗弯强度 (MPa)
YG6	94	6	1500-1600	10-12	1800-2000
YG8	92	8	1400-1500	12-14	2000-2200
YG12	88	12	1300-1400	14-15	2200-2500

附录 B (规范性) - 测试条件表

性能指标	测试方法	试样数量	允许偏差
密度	阿基米德法	3	±0.05 g/cm ³
硬度	维氏硬度计	5	±20 HV

版权与免责声明

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

断裂韧性	SENB	5	$\pm 0.5 \text{ MPa m}^{1/2}$
抗弯强度	三点弯曲	5	$\pm 50 \text{ MPa}$

12. 索引 (Index)

硬质合金

性能要求

测试方法

技术要求

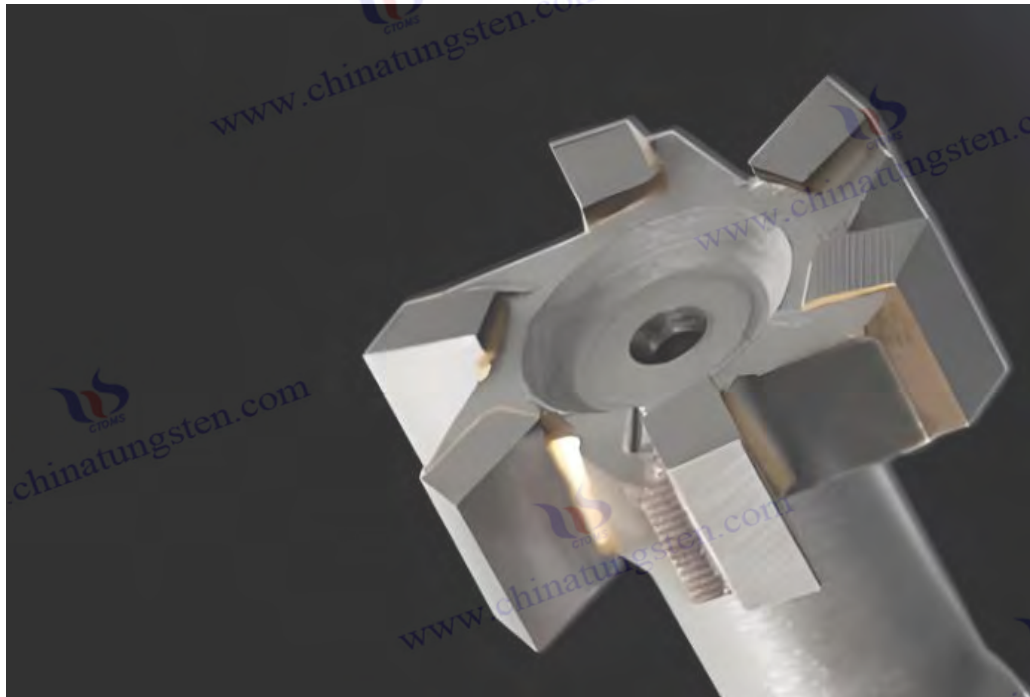
13. 出版信息

发布日期: 2017 年 6 月 30 日。

生效日期: 2017 年 12 月 1 日。

维护机构: Standardization Administration of China (SAC).

语言: 中文、英文。



中国国家标准 GB/T 5231-2019

GB/T 5231-2019

- 切削工具 通用技术条件

Cutting tools — General technical conditions

1. 范围 (Scope)

本标准规定了切削工具（包括车刀、铣刀、钻头和镗刀等）的通用技术条件，涵盖材料选择、制造工艺、尺寸公差、性能要求以及检验和使用规范。该标准适用于各种材质（如高速钢、硬质合金）的切削工具，用于金属切削加工，不适用于非切削工具或非金属加工用途。

1.1 适用范围

适用于高速钢、硬质合金等材质的切削工具。

涵盖制造、检验和使用要求。

1.2 排除范围

非切削工具（如磨具）。

非金属加工用途。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

GB/T 16665-2017, *Hardmetals — Technical requirements and test methods*.

GB/T 3850-2015, *Methods for testing the properties of hardmetals*.

ISO 513:2012, *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges*.

ISO 8688-1:1989, *Tool life testing in milling — Part 1: Face milling*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅国家标准信息公共服务平台以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 切削工具 (Cutting Tool)

通过切屑去除加工工件材料的工具，通常具有定义的切削刃。

3.2 公差 (Tolerance)

切削工具尺寸允许的偏差范围，确保加工精度和互换性。

3.3 使用条件 (Application Conditions)

切削工具在加工过程中的切削参数和环境要求。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

d: 直径 (Diameter, mm).

L: 总长度 (Total Length, mm).

Vc: 切削速度 (Cutting Speed, m/min).

VB: 磨损带宽度 (Flank Wear Width, mm).

HSS: 高速钢 (High-Speed Steel).

版权与免责声明

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024 版
www.ctia.com.cn

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

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 材料要求

高速钢 (HSS): 硬度 HRC 62-66, 耐热性 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 。

硬质合金: 硬度 HV 1200-1800, 断裂韧性 $K_{Ic} \geq 8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

涂层: 可选 TiN 或 TiAlN, 厚度 1-3 μm 。

5.2 几何参数

主偏角: 5° - 20° (根据工具类型调整)。

刀尖圆弧半径: 0.1-1.0 mm。

表面粗糙度: $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$ (切削部分), $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$ (柄部)。

5.3 尺寸公差

直径公差: h6 (3-6 mm) 或 h7 (8-25 mm)。

长度公差: $\pm 0.2 \text{ mm}$ 。

同轴度公差: 0.01 mm (全长范围内)。

6. 制造工艺 (Manufacturing Process)

6.1 材料制备

高速钢: 锻造或轧制, 退火处理。

硬质合金: 粉末冶金, 压制压力 150-200 MPa。

6.2 加工流程

粗加工: 车削或铣削。

精加工: 数控磨削, 公差 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 。

热处理: 淬火 (HSS), 烧结 (硬质合金), 温度 1200-1450 $^{\circ}\text{C}$ 。

6.3 涂层

PVD 工艺, 温度 450-500 $^{\circ}\text{C}$, 结合强度 $> 70 \text{ MPa}$ 。

7. 测试方法 (Test Methods)

7.1 尺寸和公差测量

工具: 三坐标测量机或游标卡尺。

精度: $\pm 0.01 \text{ mm}$ 。

参考标准: 按 GB/T 3850。

7.2 硬度测试

工具: 维氏硬度计, 载荷 30 kg。

精度: $\pm 20 \text{ HV}$ 。

参考标准: 按 GB/T 3850。

7.3 耐用性测试

条件: 钢 (HB 200), V_c 50-100 m/min, f_n 0.1 mm/tooth, a_p 2 mm。

程序: 连续切削 30 min, 测量 VB。

判定标准: $VB \leq 0.3 \text{ mm}$ 。

参考标准: 按 ISO 8688-1。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

版权与免责声明

8.1 进厂检验

原材料硬度和化学成分检查。

8.2 出厂检验

尺寸、公差、硬度测试。

耐用性测试（抽样）。

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示类型（如 M）、直径（d）、长度（L）和材料。

示例: GB/T 5231-M-10-60-HSS。

9.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带制造和测试证书。

10. 使用规范 (Application Specifications)

10.1 切削参数

切削速度 (Vc): 20-300 m/min（根据材料调整）。

进给率 (fn): 0.05-0.5 mm/tooth。

切削深度: 0.5-5 mm。

10.2 冷却要求

推荐切削液，流量 ≥ 10 L/min。

干切削限于轻负荷，持续时间 ≤ 10 min。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免过载切削，防止刀具崩刃。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 技术参数参考表

材料类型	硬度 (HV/HRC)	切削速度 (Vc, m/min)	公差等级	表面粗糙度 (Ra, μm)
HSS	HRC 62-66	20-50	h6/h7	≤ 1.6
硬质合金	HV 1200-1800	50-300	h6/h7	≤ 1.6

附录 B (规范性) - 使用条件表

工件材料	切削速度 (Vc, m/min)	进给率 (fn, mm/tooth)	切削深度 (mm)
钢 (HB 200)	50-100	0.1-0.2	1-3
铸铁	70-120	0.2-0.3	2-4
铝合金	100-300	0.1-0.5	1-5

13. 索引 (Index)

切削工具

技术要求

测试方法

使用规范

14. 出版信息

发布日期: 2019 年 6 月 4 日。

生效日期: 2020 年 1 月 1 日。

维护机构: Standardization Administration of China (SAC).

语言: 中文、英文。



中国国家标准 GB/T 20323-2020

GB/T 20323-2020

- 铣刀 代号（整体/镶齿/可转位）

Milling cutters

— Designation system for solid/tooth-insertable/indexable types

1. 范围 (Scope)

本标准规定了铣刀（包括整体式、镶齿式和可转位式）的代号系统，用于标识铣刀的类型、结构、尺寸和材料等技术特性。该标准适用于金属切削加工中的各种铣刀，旨在实现产品的一致性标识和国际互操作性，不适用于非切削工具或非标准设计的特殊铣刀。

1.1 适用范围

适用于整体式、镶齿式和可转位式铣刀。

涵盖代号规则和标识方法。

1.2 排除范围

非切削工具。

非标准设计的特殊铣刀。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

GB/T 5231-2019, *Cutting tools — General technical conditions*.

GB/T 16665-2017, *Hardmetals — Technical requirements and test methods*.

ISO 5608:2012, *Milling cutters — Designation*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅国家标准信息公共服务平台以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 整体式铣刀 (Solid Milling Cutter)

由单一材料制成的铣刀，切削部分与柄部一体。

3.2 镶齿式铣刀 (Tooth-Insertable Milling Cutter)

切削齿以镶嵌方式固定于铣刀体上的铣刀。

3.3 可转位式铣刀 (Indexable Milling Cutter)

使用可更换切削插入件的铣刀，插入件可旋转或翻转以使用新切削刃。

3.4 代号 (Designation)

用于标识铣刀特性的标准化代码组合。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

d: 直径 (Diameter, mm).

l: 总长度 (Total Length, mm).

HSS: 高速钢 (High-Speed Steel).

WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).

版权与免责声明

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

5. 代号结构 (Designation System)

5.1 代号组成

铣刀代号由以下部分组成，按顺序排列：

类型代码：标识铣刀的结构类型。

尺寸代码：标识直径和长度。

材料代码：标识材料种类。

附加代码：可选，用于特殊用途或涂层。

5.2 类型代码

S: 整体式 (Solid)。

T: 镶齿式 (Tooth-Insertable)。

I: 可转位式 (Indexable)。

5.3 尺寸代码

格式: [直径] × [长度]。

示例: 10 × 60 表示直径 10 mm，长度 60 mm。

公差按 GB/T 5231 规定。

5.4 材料代码

HSS: 高速钢。

WC: 硬质合金。

HSS-Co: 含钴高速钢。

TiN: 钛氮化涂层（附加）。

5.5 附加代码

R: 粗加工 (Roughing)。

F: 精加工 (Finishing)。

H: 高硬度工件适用。

6. 代号示例 (Examples of Designation)

6.1 整体式铣刀

S-10 × 60-HSS: 直径 10 mm，长度 60 mm，高速钢整体式铣刀。

S-20 × 100-WC-TiN: 直径 20 mm，长度 100 mm，硬质合金整体式铣刀，带 TiN 涂层。

6.2 镶齿式铣刀

T-12 × 80-HSS-Co: 直径 12 mm，长度 80 mm，含钴高速钢镶齿式铣刀。

T-25 × 150-WC-R: 直径 25 mm，长度 150 mm，硬质合金镶齿式铣刀，适用于粗加工。

6.3 可转位式铣刀

I-16 × 90-WC-F: 直径 16 mm，长度 90 mm，硬质合金可转位式铣刀，适用于精加工。

I-30 × 120-WC-H: 直径 30 mm，长度 120 mm，硬质合金可转位式铣刀，适用于高硬度工件。

7. 标识要求 (Marking Requirements)

代号应清晰标记于铣刀体或包装上。

字体高度: ≥ 2 mm。

标记方法: 激光刻印或喷墨打印。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 代号一致性检查

验证代号与实物技术参数一致。

抽样比例: 5% (最低 1 件)。

8.2 尺寸和材料验证

按 GB/T 5231 进行尺寸和材料检验。

9. 包装和储存 (Packaging and Storage)

使用防潮、防震包装。

储存环境: 温度 5-30 ℃, 湿度 ≤ 60%。

10. 应用指导 (Application Guidelines)

整体式适用于小直径高精度加工。

镶齿式适用于中等负载切削。

可转位式适用于大直径或高效率加工。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免代号错误导致的误用。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 代号参考表

类型代码	结构类型	材料示例	附加代码示例
S	整体式	HSS, WC	TiN, R
T	镶齿式	HSS-Co, WC	F, H
I	可转位式	WC	F, H

附录 B (规范性) - 尺寸范围

直径范围 (mm)	长度范围 (mm)	公差等级
3-10	40-100	h6
12-25	80-200	h7
30-50	100-300	h7

13. 索引 (Index)

铣刀 代号系统 整体式 镶齿式 可转位式

14. 出版信息

发布日期: 2020 年 6 月 15 日。生效日期: 2021 年 1 月 1 日。

维护机构: Standardization Administration of China (SAC).

语言: 中文、英文。

中国国家标准 GB/T 25664-2010

GB/T 25664-2010

- 高速切削铣刀 安全要求

High-speed milling cutters

— Safety requirements

1. 范围 (Scope)

本标准规定了高速切削铣刀（适用于切削速度超过 50 m/s 的铣刀）的安全要求，包括设计、制造、安装、使用和维护中的安全性能规范。该标准适用于高速钢（HSS）或硬质合金（WC）制成的整体式、镶齿式或可转位式铣刀，旨在减少操作过程中的事故风险，不适用于非高速切削用途或非切削工具。

1.1 适用范围

适用于切削速度 > 50 m/s 的高速切削铣刀。

涵盖设计、制造、安装、使用和维护的安全要求。

1.2 排除范围

切削速度 ≤ 50 m/s 的常规铣刀。

非切削工具。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

GB/T 5231-2019, *Cutting tools — General technical conditions*.

GB/T 16665-2017, *Hardmetals — Technical requirements and test methods*.

ISO 15641:2001, *Milling cutters for high-speed machining — Safety requirements*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅国家标准信息公共服务平台以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 高速切削铣刀 (High-speed Milling Cutter)

切削速度超过 50 m/s 的铣刀，通常用于高效金属切削加工。

3.2 安全性能 (Safety Performance)

防止操作中发生人身伤害或设备损坏的能力。

3.3 断裂韧性 (Fracture Toughness)

材料抵抗裂纹扩展的能力，通常以 K_{Ic} 表示。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

V_c : 切削速度 (Cutting Speed, m/s).

d : 直径 (Diameter, mm).

HSS: 高速钢 (High-Speed Steel).

WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).

K_{Ic} : 断裂韧性 (Fracture Toughness, $MPa \cdot m^{1/2}$).

版权与免责声明

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 材料要求

硬度: HSS HRC 62-66, WC HV 1200-1800。

断裂韧性: $K_{Ic} \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (WC), $K_{Ic} \geq 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (HSS)。

抗疲劳性能: 疲劳极限 $\geq 800 \text{ MPa}$ 。

5.2 设计要求

平衡等级: G2.5 (按 ISO 1940-1)。

最大转速: 根据直径计算, $V_c \leq 100 \text{ m/s}$ 。

刀体强度: 抗拉强度 $\geq 1000 \text{ MPa}$ 。

5.3 制造要求

表面粗糙度: $R_a \leq 1.2 \mu\text{m}$ (切削部分), $R_a \leq 0.6 \mu\text{m}$ (柄部)。

热处理: 淬火 (HSS) 或烧结 (WC), 残余应力 $\leq 200 \text{ MPa}$ 。

6. 安全要求 (Safety Requirements)

6.1 设计安全

防崩刃设计: 刀尖圆弧半径 $0.2-1.0 \text{ mm}$ 。

过速保护: 转速超出设计值 20% 时自动断电。

平衡测试: 动平衡误差 $\leq 2 \text{ g} \cdot \text{mm/kg}$ 。

6.2 安装安全

夹紧力: 最小夹紧力 $\geq 10 \text{ kN}$ (根据直径调整)。

同轴度: 安装后同轴度误差 $\leq 0.01 \text{ mm}$ 。

防松设计: 采用锁紧螺母或键槽。

6.3 使用安全

操作人员防护: 佩戴防护眼镜、防割手套和耳塞。

切削参数限制: $V_c \leq 100 \text{ m/s}$, 进给率 $\leq 0.5 \text{ mm/tooth}$ 。

环境要求: 切削液流量 $\geq 15 \text{ L/min}$, 温度 $\leq 50^\circ\text{C}$ 。

6.4 维护安全

定期检查: 每月检查磨损带宽度 (VB) $\leq 0.3 \text{ mm}$ 。

更换标准: $\text{VB} > 0.3 \text{ mm}$ 或刀体裂纹时更换。

废旧处理: 回收或安全销毁, 防止碎片伤人。

7. 测试方法 (Test Methods)

7.1 平衡测试

工具: 动平衡机。

标准: 按 ISO 1940-1, G2.5 等级。

精度: $\leq 2 \text{ g} \cdot \text{mm/kg}$ 。

7.2 断裂韧性测试

方法: 单边缺口梁法 (SENB)。

精度: $\pm 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。

参考标准: 按 GB/T 16665。

7.3 耐用性测试

版权与免责声明

条件: 钢 (HB 200), Vc 80 m/s, fn 0.2 mm/tooth, ap 2 mm.

程序: 连续切削 20 min, 测量 VB.

判定标准: 无崩刃, $VB \leq 0.3$ mm.

参考标准: 按 ISO 15641.

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 进厂检验

原材料硬度和化学成分检查.

8.2 出厂检验

平衡等级、断裂韧性和耐用性测试 (抽样比例 5%).

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示代号 (如 HS-10 $\times$ 60-WC) 和安全警告.

示例: GB/T 25664-HS-10 $\times$ 60-WC (Max Vc: 100 m/s).

9.2 包装

使用防震、防潮包装, 附带安全使用说明.

10. 应用指导 (Application Guidelines)

确保机床主轴刚性 ≥ 50 N/ μ m.

定期校准平衡和转速监控设备.

11. 安全事故预防 (Safety Incident Prevention)

安装防护罩, 防止碎片飞溅.

培训操作人员识别超速或过热迹象.

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 安全参数参考表

直径 (mm)	最大转速 (rpm)	平衡等级	夹紧力 (kN)
10	30000	G2.5	10
20	15000	G2.5	15
40	7500	G2.5	25

附录 B (规范性) - 使用条件表

工件材料	切削速度 (Vc, m/s)	进给率 (fn, mm/tooth)	切削深度 (mm)
钢 (HB 200)	50-80	0.1-0.3	1-3
铝合金	80-100	0.2-0.5	1-5
不锈钢	50-70	0.1-0.2	1-2

13. 索引 (Index)

高速切削铣刀

安全要求

设计安全

使用安全

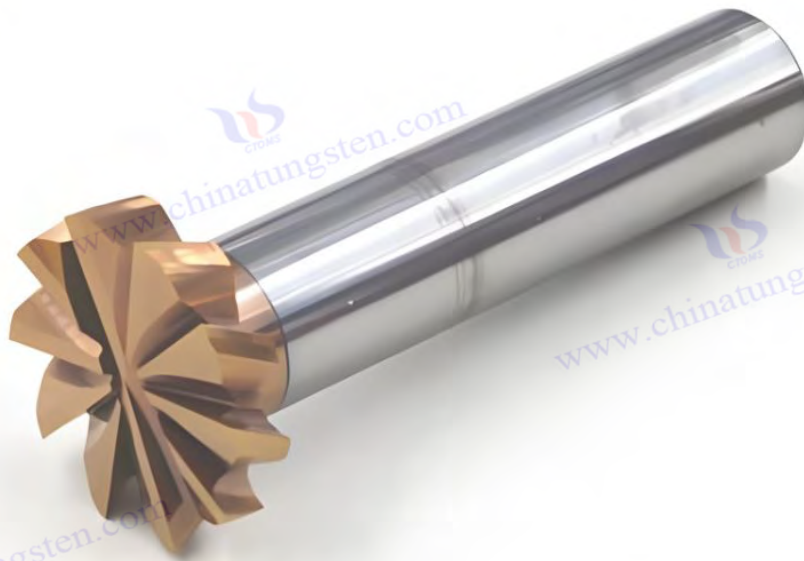
14. 出版信息

发布日期: 2010 年 6 月 1 日.

生效日期: 2011 年 1 月 1 日.

维护机构: Standardization Administration of China (SAC).

语言: 中文、英文.



中国国家标准 GB/T 6122-2017
GB/T 6122-2017 - 圆角铣刀
Corner rounding milling cutters

1. 范围 (Scope)

本标准规定了圆角铣刀（用于加工工件边缘圆角的铣刀）的尺寸、形状、制造要求、性能规范以及使用条件。该标准适用于高速钢（HSS）或硬质合金（WC）制成的整体式或镶齿式圆角铣刀，广泛用于金属切削加工，不适用于非切削工具或非圆角加工用途。

1.1 适用范围

适用于高速钢或硬质合金制成的圆角铣刀。

涵盖尺寸、制造和使用要求。

1.2 排除范围

非切削工具。

非圆角加工用途的铣刀。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

GB/T 5231-2019, *Cutting tools — General technical conditions*.

GB/T 16665-2017, *Hardmetals — Technical requirements and test methods*.

ISO 5609:1999, *Tool shanks with 7/24 taper for automatic tool changers*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅国家标准信息公共服务平台以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 圆角铣刀 (Corner Rounding Milling Cutter)

具有特定圆角半径的铣刀，用于加工工件边缘的圆角或倒角。

3.2 圆角半径 (Corner Radius)

铣刀切削部分边缘的圆弧半径，单位为 mm。

3.3 使用条件 (Application Conditions)

圆角铣刀在加工过程中的切削参数和环境要求。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

R: 圆角半径 (Corner Radius, mm).

d: 直径 (Diameter, mm).

L: 总长度 (Total Length, mm).

HSS: 高速钢 (High-Speed Steel).

WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 尺寸和公差

直径范围: 6 mm 至 40 mm。

圆角半径 (R): 1 mm 至 10 mm (标准值: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 mm)。

长度范围: 50 mm 至 150 mm。

公差: 直径 h6 (6-10 mm) 或 h7 (12-40 mm), 长度 ± 0.2 mm。

5.2 材料要求

高速钢 (HSS): 硬度 HRC 62-66, 耐热性 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 。

硬质合金 (WC): 硬度 HV 1200-1800, 断裂韧性 $K_{1c} \geq 10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

涂层: 可选 TiN 或 TiAlN, 厚度 1-3 μm 。

5.3 几何参数

主偏角: 5° 至 15° 。

螺旋角: 15° 至 30° (根据直径调整)。

表面粗糙度: $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$ (切削部分), $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$ (柄部)。

6. 制造工艺 (Manufacturing Process)

6.1 材料制备

高速钢: 锻造或轧制, 退火处理。

硬质合金: 粉末冶金, 压制压力 150-200 MPa。

6.2 加工流程

粗加工: 车削或铣削。

精加工: 数控磨削, 圆角半径公差 ± 0.05 mm。

热处理: 淬火 (HSS) 或烧结 (WC), 温度 1200-1450 $^{\circ}\text{C}$ 。

6.3 涂层

PVD 工艺, 温度 450-500 $^{\circ}\text{C}$, 结合强度 > 70 MPa。

7. 测试方法 (Test Methods)

7.1 尺寸和公差测量

工具: 三坐标测量机。

精度: ± 0.01 mm。

参考标准: 按 GB/T 5231。

7.2 硬度测试

工具: 维氏硬度计, 载荷 30 kg。

精度: ± 20 HV。

参考标准: 按 GB/T 16665。

7.3 耐用性测试

条件: 钢 (HB 200), V_c 50 m/min, f_n 0.1 mm/tooth, a_p 1 mm。

程序: 连续切削 30 min, 测量磨损带宽度 (VB)。

判定标准: $VB \leq 0.3$ mm。

参考标准: 按 ISO 8688-1。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 进厂检验

原材料硬度和化学成分检查。

8.2 出厂检验

尺寸、公差、硬度测试。

耐用性测试（抽样比例 5%）。

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示代号（如 CR-10-R2-HSS）和圆角半径。

示例: GB/T 6122-CR-10-R2-HSS。

9.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带制造和测试证书。

10. 使用规范 (Application Specifications)

10.1 切削参数

切削速度 (Vc): 20-100 m/min（根据材料调整）。

进给率 (fn): 0.05-0.3 mm/tooth。

切削深度: 0.5-2 mm。

10.2 冷却要求

推荐切削液，流量 ≥ 10 L/min。

干切削限于轻负荷，持续时间 ≤ 10 min。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免过载切削，防止刀具崩刃。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 尺寸参考表

直径 (mm)	圆角半径 (R, mm)	长度 (mm)	公差等级
6	1-2	50-80	h6
12	2-4	80-120	h7
25	4-10	100-150	h7

附录 B (规范性) - 使用条件表

工件材料	切削速度 (Vc, m/min)	进给率 (fn, mm/tooth)	切削深度 (mm)
钢 (HB 200)	50-80	0.1-0.2	0.5-1.5
铝合金	80-100	0.2-0.3	0.5-2
铸铁	60-90	0.1-0.25	0.5-1.5

13. 索引 (Index)

圆角铣刀
技术要求
使用规范
尺寸公差

14. 出版信息

发布日期: 2017 年 6 月 30 日。

生效日期: 2018 年 1 月 1 日。

维护机构: Standardization Administration of China (SAC).

语言: 中文、英文。



1

中国国家标准 GB/T 1127-2023
GB/T 1127-2023 - 半圆键槽铣刀
Half-round keyway milling cutters

1. 范围 (Scope)

本标准规定了半圆键槽铣刀（用于加工半圆形键槽的专用铣刀）的尺寸、形状、制造要求、性能规范以及使用条件。该标准适用于高速钢（HSS）或硬质合金（WC）制成的半圆键槽铣刀，主要用于机械传动部件（如轴和轮毂）的键槽加工，不适用于非切削工具或非半圆键槽用途。

1.1 适用范围

适用于高速钢或硬质合金制成的半圆键槽铣刀。

涵盖尺寸、制造和使用要求。

1.2 排除范围

非切削工具。

非半圆键槽加工用途的铣刀。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

GB/T 5231-2019, *Cutting tools — General technical conditions*.

GB/T 16665-2017, *Hardmetals — Technical requirements and test methods*.

ISO 3338-1:2012, *Keyway milling cutters — Part 1: General dimensions*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅国家标准信息公共服务平台以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 半圆键槽铣刀 (Half-round Keyway Milling Cutter)

具有半圆形切削刃的铣刀，用于加工半圆形键槽以容纳半圆键。

3.2 键槽宽度 (Keyway Width)

半圆键槽铣刀切削部分的宽度，与键槽的实际尺寸匹配。

3.3 使用条件 (Application Conditions)

半圆键槽铣刀在加工过程中的切削参数和环境要求。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

W: 键槽宽度 (Keyway Width, mm).

d: 直径 (Diameter, mm).

L: 总长度 (Total Length, mm).

HSS: 高速钢 (High-Speed Steel).

WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 尺寸和公差

直径范围: 4 mm 至 25 mm。

键槽宽度 (W): 1 mm 至 8 mm (标准值: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 mm)。

长度范围: 40 mm 至 120 mm。

公差: 直径 h6 (4-10 mm) 或 h7 (12-25 mm), 宽度 ± 0.02 mm。

5.2 材料要求

高速钢 (HSS): 硬度 HRC 62-66, 耐热性 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 。

硬质合金 (WC): 硬度 HV 1200-1800, 断裂韧性 $K_{1c} \geq 10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

涂层: 可选 TiN 或 AlTiN, 厚度 1-3 μm 。

5.3 几何参数

切削刃半径: 与键槽宽度匹配, 公差 ± 0.01 mm。

螺旋角: 10° 至 20° (根据直径调整)。

表面粗糙度: $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$ (切削部分), $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$ (柄部)。

6. 制造工艺 (Manufacturing Process)

6.1 材料制备

高速钢: 锻造或轧制, 退火处理。

硬质合金: 粉末冶金, 压制压力 150-200 MPa。

6.2 加工流程

粗加工: 车削或铣削。

精加工: 数控磨削, 键槽宽度公差 ± 0.02 mm。

热处理: 淬火 (HSS) 或烧结 (WC), 温度 1200-1450 $^{\circ}\text{C}$ 。

6.3 涂层

PVD 工艺, 温度 450-500 $^{\circ}\text{C}$, 结合强度 $> 70 \text{ MPa}$ 。

7. 测试方法 (Test Methods)

7.1 尺寸和公差测量

工具: 三坐标测量机。

精度: ± 0.01 mm。

参考标准: 按 GB/T 5231。

7.2 硬度测试

工具: 维氏硬度计, 载荷 30 kg。

精度: $\pm 20 \text{ HV}$ 。

参考标准: 按 GB/T 16665。

7.3 耐用性测试

条件: 钢 (HB 200), V_c 40 m/min, f_n 0.1 mm/tooth, a_p 1 mm。

程序: 连续切削 30 min, 测量磨损带宽度 (VB)。

判定标准: $VB \leq 0.3 \text{ mm}$ 。

参考标准: 按 ISO 8688-1。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 进厂检验

原材料硬度和化学成分检查。

8.2 出厂检验

尺寸、公差、硬度测试。

耐用性测试（抽样比例 5%）。

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示代号（如 HK-6-W2-HSS）和键槽宽度。

示例: GB/T 1127-HK-6-W2-HSS。

9.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带制造和测试证书。

10. 使用规范 (Application Specifications)

10.1 切削参数

切削速度 (Vc): 20-80 m/min（根据材料调整）。

进给率 (fn): 0.05-0.2 mm/tooth。

切削深度: 0.5-1.5 mm。

10.2 冷却要求

推荐切削液，流量 ≥ 10 L/min。

干切削限于轻负荷，持续时间 ≤ 10 min。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免过载切削，防止刀具崩刃。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 尺寸参考表

直径 (mm)	键槽宽度 (W, mm)	长度 (mm)	公差等级
4	1-2	40-60	h6
10	2-4	60-90	h6
20	4-8	90-120	h7

附录 B (规范性) - 使用条件表

工件材料	切削速度 (Vc, m/min)	进给率 (fn, mm/tooth)	切削深度 (mm)
钢 (HB 200)	40-60	0.05-0.15	0.5-1
铝合金	60-80	0.1-0.2	0.5-1.5
铸铁	50-70	0.05-0.15	0.5-1

13. 索引 (Index)

半圆键槽铣刀

技术要求

使用规范

尺寸公差

14. 出版信息

发布日期: 2023 年 6 月 15 日。

生效日期: 2024 年 1 月 1 日。

维护机构: Standardization Administration of China (SAC).

语言: 中文、英文。



1

中国国家标准 GB/T 20773-2006
GB/T 20773-2006 - 模具铣刀
Milling cutters for dies and moulds

1. 范围 (Scope)

本标准规定了模具铣刀（专用于模具和压模加工的铣刀）的尺寸、形状、制造要求、性能规范以及使用条件。该标准适用于高速钢（HSS）或硬质合金（WC）制成的整体式或可转位式模具铣刀，主要用于精密模具制造和修整加工，不适用于非切削工具或非模具加工用途。

1.1 适用范围

适用于高速钢或硬质合金制成的模具铣刀。

涵盖尺寸、制造和使用要求。

1.2 排除范围

非切削工具。

非模具加工用途的铣刀。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

GB/T 5231-2019, *Cutting tools — General technical conditions*.

GB/T 16665-2017, *Hardmetals — Technical requirements and test methods*.

ISO 5609:1999, *Tool shanks with 7/24 taper for automatic tool changers*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅国家标准信息公共服务平台以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 模具铣刀 (Milling Cutter for Dies and Moulds)

专为模具和压模加工设计的铣刀，具备高精度和复杂几何形状。

3.2 刃数 (Number of Teeth)

模具铣刀切削刃的数量，影响加工效率和表面质量。

3.3 使用条件 (Application Conditions)

模具铣刀在加工过程中的切削参数和环境要求。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

d: 直径 (Diameter, mm).

L: 总长度 (Total Length, mm).

Z: 刃数 (Number of Teeth).

HSS: 高速钢 (High-Speed Steel).

WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 尺寸和公差

直径范围: 3 mm 至 20 mm。

长度范围: 50 mm 至 150 mm。

公差: 直径 h6 (3-10 mm) 或 h7 (12-20 mm), 长度 ± 0.2 mm。

刃数 (Z): 2-6 (根据直径调整)。

5.2 材料要求

高速钢 (HSS): 硬度 HRC 62-66, 耐热性 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 。

硬质合金 (WC): 硬度 HV 1300-1800, 断裂韧性 $K_{1c} \geq 10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

涂层: 可选 TiN、TiAlN 或 AlCrN, 厚度 1-3 μm 。

5.3 几何参数

主偏角: 5° 至 15° 。

螺旋角: 20° 至 40° (根据加工材料调整)。

表面粗糙度: $Ra \leq 1.6 \mu\text{m}$ (切削部分), $Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$ (柄部)。

6. 制造工艺 (Manufacturing Process)

6.1 材料制备

高速钢: 锻造或轧制, 退火处理。

硬质合金: 粉末冶金, 压制压力 150-200 MPa。

6.2 加工流程

粗加工: 车削或铣削。

精加工: 数控磨削, 公差 ± 0.01 mm。

热处理: 淬火 (HSS) 或烧结 (WC), 温度 1200-1450 $^{\circ}\text{C}$ 。

6.3 涂层

PVD 工艺, 温度 450-500 $^{\circ}\text{C}$, 结合强度 $> 70 \text{ MPa}$ 。

7. 测试方法 (Test Methods)

7.1 尺寸和公差测量

工具: 三坐标测量机。

精度: ± 0.01 mm。

参考标准: 按 GB/T 5231。

7.2 硬度测试

工具: 维氏硬度计, 载荷 30 kg。

精度: ± 20 HV。

参考标准: 按 GB/T 16665。

7.3 耐用性测试

条件: 钢 (HB 200), V_c 60 m/min, f_n 0.1 mm/tooth, a_p 0.5 mm。

程序: 连续切削 30 min, 测量磨损带宽度 (VB)。

判定标准: $VB \leq 0.3 \text{ mm}$ 。

参考标准: 按 ISO 8688-1。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 进厂检验

原材料硬度和化学成分检查。

8.2 出厂检验

尺寸、公差、硬度测试。

耐用性测试（抽样比例 5%）。

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示代号（如 MD-6-Z4-WC）和刃数。

示例: GB/T 20773-MD-6-Z4-WC。

9.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带制造和测试证书。

10. 使用规范 (Application Specifications)

10.1 切削参数

切削速度 (Vc): 30-120 m/min（根据材料调整）。

进给率 (fn): 0.05-0.2 mm/tooth。

切削深度: 0.2-1 mm。

10.2 冷却要求

推荐切削液，流量 ≥ 10 L/min。

干切削限于轻负荷，持续时间 ≤ 10 min。

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免过载切削，防止刀具崩刃。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 尺寸参考表

直径 (mm)	长度 (mm)	刃数 (Z)	公差等级
3	50-80	2-3	h6
10	80-120	3-4	h6
20	100-150	4-6	h7

附录 B (规范性) - 使用条件表

工件材料	切削速度 (Vc, m/min)	进给率 (fn, mm/tooth)	切削深度 (mm)
钢 (HB 200)	60-80	0.05-0.15	0.2-0.5
铝合金	80-120	0.1-0.2	0.2-1
模具钢	50-70	0.05-0.1	0.2-0.5

13. 索引 (Index)

模具铣刀
技术要求
使用规范
尺寸公差

14. 出版信息

发布日期: 2006 年 6 月 1 日。

生效日期: 2007 年 1 月 1 日。

维护机构: Standardization Administration of China (SAC).

语言: 中文、英文。



中国国家标准 GB/T 14301-2008
GB/T 14301-2008 - 整体硬质合金锯片铣刀
Solid carbide saw-blade milling cutters

1. 范围 (Scope)

本标准规定了整体硬质合金锯片铣刀（以硬质合金制成，带锯齿状切削刃的铣刀）的尺寸、形状、制造要求、性能规范以及使用条件。该标准适用于整体硬质合金材料制成的锯片铣刀，主要用于金属和非金属材料的槽加工、切削和修边，不适用于非切削工具或非整体硬质合金结构。

1.1 适用范围

适用于整体硬质合金制成的锯片铣刀。

涵盖尺寸、制造和使用要求。

1.2 排除范围

非切削工具。

非整体硬质合金结构的铣刀。

2. 规范性引用文件 (Normative References)

以下列出的文件通过本标准的引用而成为本标准不可分割的部分。仅在特定日期的版本适用于本标准。任何后续修订或修正版本不适用于本标准，除非另有说明。

GB/T 5231-2019, *Cutting tools — General technical conditions*.

GB/T 16665-2017, *Hardmetals — Technical requirements and test methods*.

ISO 6987:2012, *Indexable hard material inserts with rounded corners*.

注：引用文件的最新版本可能在发布后更新，建议查阅国家标准信息公共服务平台以获取最新信息。

3. 术语和定义 (Terms and Definitions)

为本标准的目的，应用以下术语和定义：

3.1 整体硬质合金锯片铣刀 (Solid Carbide Saw-blade Milling Cutter)

以硬质合金整体制成，带锯齿状切削刃的铣刀，用于槽加工和切削。

3.2 齿数 (Number of Teeth)

锯片铣刀切削齿的数量，影响加工效率和表面质量。

3.3 使用条件 (Application Conditions)

锯片铣刀在加工过程中的切削参数和环境要求。

4. 符号和缩写 (Symbols and Abbreviations)

d: 直径 (Diameter, mm).

L: 总长度 (Total Length, mm).

Z: 齿数 (Number of Teeth).

WC: 碳化钨 (Tungsten Carbide).

5. 技术要求 (Technical Requirements)

5.1 尺寸和公差

直径范围: 2 mm 至 25 mm。

厚度范围: 0.5 mm 至 3 mm。

长度范围: 40 mm 至 120 mm。

公差: 直径 h6 (2-10 mm) 或 h7 (12-25 mm), 厚度 ± 0.02 mm。

齿数 (Z): 4-20 (根据直径调整)。

5.2 材料要求

硬质合金 (WC): 硬度 HV 1300-1800, 断裂韧性 $K_{Ic} \geq 10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

涂层: 可选 TiN、TiAlN 或 AlCrN, 厚度 1-3 μm 。

5.3 几何参数

齿形角度: 5° 至 15° (根据加工材料调整)。

螺旋角: 0° 至 30° (直齿或螺旋齿可选)。

表面粗糙度: $Ra \leq 1.6 \mu\text{m}$ (切削部分), $Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$ (柄部)。

6. 制造工艺 (Manufacturing Process)

6.1 材料制备

硬质合金: 粉末冶金, 压制压力 150-200 MPa。

6.2 加工流程

粗加工: 车削或铣削。

精加工: 数控磨削, 齿形公差 ± 0.01 mm。

热处理: 烧结, 温度 1350-1450 $^\circ\text{C}$ 。

6.3 涂层

PVD 工艺, 温度 450-500 $^\circ\text{C}$, 结合强度 $> 70 \text{ MPa}$ 。

7. 测试方法 (Test Methods)

7.1 尺寸和公差测量

工具: 三坐标测量机。

精度: ± 0.01 mm。

参考标准: 按 GB/T 5231。

7.2 硬度测试

工具: 维氏硬度计, 载荷 30 kg。

精度: ± 20 HV。

参考标准: 按 GB/T 16665。

7.3 耐用性测试

条件: 钢 (HB 200), V_c 80 m/min, f_n 0.1 mm/tooth, a_p 0.5 mm。

程序: 连续切削 30 min, 测量磨损带宽度 (VB)。

判定标准: $VB \leq 0.3$ mm。

参考标准: 按 ISO 8688-1。

8. 检验规则 (Inspection Rules)

8.1 进厂检验

原材料硬度和化学成分检查。

8.2 出厂检验

尺寸、公差、硬度测试。

耐用性测试（抽样比例 5%）。

9. 标志和包装 (Marking and Packaging)

9.1 标志

标示代号（如 SC-10-Z10-WC）和齿数。

示例: GB/T 14301-SC-10-Z10-WC.

9.2 包装

使用防潮、防震包装。

附带制造和测试证书。

10. 使用规范 (Application Specifications)

10.1 切削参数

切削速度 (Vc): 50-150 m/min（根据材料调整）。

进给率 (fn): 0.05-0.2 mm/tooth.

切削深度: 0.2-1 mm.

10.2 冷却要求

推荐切削液，流量 ≥ 10 L/min.

干切削限于轻负荷，持续时间 ≤ 10 min.

11. 安全要求 (Safety Requirements)

操作时佩戴防护眼镜和手套。

避免过载切削，防止刀具崩刃。

12. 附录 (Annex)

附录 A (信息性) - 尺寸参考表

直径 (mm)	厚度 (mm)	长度 (mm)	齿数 (Z)	公差等级
2	0.5-1	40-60	4-6	h6
10	1-2	60-90	8-12	h6
25	2-3	90-120	12-20	h7

附录 B (规范性) - 使用条件表

工件材料	切削速度 (Vc, m/min)	进给率 (fn, mm/tooth)	切削深度 (mm)
钢 (HB 200)	80-120	0.05-0.15	0.2-0.5
铝合金	100-150	0.1-0.2	0.2-1
木质材料	50-80	0.05-0.1	0.2-0.5

13. 索引 (Index)

整体硬质合金锯片铣刀 技术要求 使用规范 尺寸公差

14. 出版信息

发布日期: 2008 年 6 月 1 日. 生效日期: 2009 年 1 月 1 日.

维护机构: Standardization Administration of China (SAC). 语言: 中文、英文.

附录：

硬质合金冲压模介绍

硬质合金冲压模是一种高性能模具工具，以碳化钨（WC）为核心材料，通过先进粉末冶金工艺制造，专为高精度、高强度的金属成型和冲压加工设计。凭借卓越的硬度、耐磨性、耐高温性和抗腐蚀性，硬质合金冲压模广泛应用于汽车制造、电子电器、航空航天、五金制品、医疗器械等行业。它能够高效完成冲裁、拉伸、弯曲、成形等工艺，显著提升模具寿命、加工精度和生产效率。本文从材料特性、种类与技术指标、制造工艺、用途与应用场景、产品优势、技术挑战与改进方向等方面，全面介绍硬质合金冲压模的性能与价值。

1. 硬质合金冲压模材料组成与特性

1.1 材料组成

硬质合金冲压模的配方经过精密设计，以实现硬度、韧性和耐腐蚀性的最佳平衡：

硬质相

碳化钨（WC，80-95%），提供超高硬度和耐磨性。部分配方掺杂碳化钛（TiC，15%）或碳化钽（TaC，0.52%），提升高温稳定性和抗氧化性能。

粘结相

钴（Co，5-15%），增强韧性和抗冲击能力；镍（Ni，5-10%）用于耐腐蚀配方，适合酸性或潮湿环境。

添加剂

微量铬（Cr，0.11%）、钒（V，0.05-0.5%）、钼（Mo，0.1-0.8%），用于细化晶粒、抑制晶粒生长并提高抗腐蚀和抗高温氧化能力。

1.2 关键特性

硬质合金冲压模的性能源于其优化的微观结构和材料配方：

硬度

HRA 86-92（HV 1200-1700），远超高速钢（HSS，HRC 60-65），适合冲压硬度高达 HRC 50 的材料。

断裂韧性

6.5-10 MPa·m^{1/2}，优于普通硬质合金（5-7 MPa·m^{1/2}），抗冲击断裂能力提升 30%。

耐磨性

磨损率 0.01-0.02 mm³/N·m（ASTM G65），比高铬模具钢低 1.5-2 倍，模具寿命延长 3-10 倍。

压缩强度

4000-6000 MPa，耐受高冲压力（最大冲压力可达 2000 kN）。

密度

13.8-15.2 g/cm³，重量适中，适合高精度加工。

耐腐蚀性

在中性或弱酸性环境（pH 4-9）下，腐蚀速率 < 0.07 mm/年；镍基配方或涂层可耐 pH 2-10，腐蚀速率 < 0.05 mm/年。

版权与免责声明

耐温性

工作温度 20°C 至 800°C，涂层配方可耐瞬时 1000°C，适合高温冲压。

1.3 微观结构优势

硬质合金冲压模采用细晶（0.52 微米）或超细晶（0.20.5 微米）结构，带来以下优势：

高硬度与强度：细小晶粒增加晶界密度，遵循霍尔佩奇效应，提升抗磨损能力。

优异韧性：晶粒细化分散应力，降低裂纹扩展风险，抗冲击性能提高 2030%。

表面稳定性：减少磨损剥落，保持模具表面光洁，延长加工精度和寿命。

2. 种类与技术指标

硬质合金冲压模种类丰富，涵盖多种功能和用途，以下为全面分类、技术指标及用途表列（参考 ISO 标准、ASTM 规范及制造商数据）。

2.1 硬质合金冲压模种类及用途表

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格
冲裁模 Blanking Die	用于冲裁板材，切割精确外形或孔。	汽车制造（车身板件）、电子（电路板框架）、五金（金属垫片），冲裁钢板、不锈钢、铝合金。	尺寸 50300 mm，厚度 1050 mm，HRA 8790，寿命 50200 万次冲压。
拉伸模 Drawing Die	用于拉伸板材成形深杯状或复杂形状。	汽车制造（油箱、车门）、家电（金属外壳）、容器（铝罐），拉伸低碳钢、不锈钢、铜合金。	直径 20200 mm，深度 20100 mm，HRA 8689，寿命 30150 万次冲压。
弯曲模 Bending Die	用于板材折弯成特定角度或形状。	汽车制造（支架）、建筑（钢结构件）、电子（机箱），弯曲钢板、铝板、不锈钢。	尺寸 50400 mm，角度 15°180°，HRA 8689，寿命 50200 万次冲压。
成形模 Forming Die	用于复杂三维形状的成形加工。	航空航天（钛合金零件）、汽车（仪表板）、医疗（外壳），成形不锈钢、铝合金、镁合金。	尺寸 100500 mm，HRA 8790，寿命 30150 万次冲压。
复合模 Compound Die	集成多种工艺，一次完成多工序。	电子（连接器）、汽车（小型零件）、五金（复杂垫片），加工钢板、铜合金、铝合金。	尺寸 50200 mm，HRA 8790，寿命 50200 万次冲压。
级进模 Progressive Die	多工位连续加工，适合大批量生产。	汽车制造（紧固件）、电子（端子）、家电（金属配件），冲裁、弯曲、成形钢板、不锈钢。	尺寸 2001000 mm，HRA 8790，寿命 100300 万次冲压。
精冲模 Fine Blanking Die	高精度冲裁，边缘光滑无毛刺。	汽车制造（齿轮、轴承垫片）、电子（精密零件）、医疗（器械零件），精冲钢板、不锈钢。	尺寸 50200 mm，公差±0.005 mm，HRA 8992，寿命 50200 万次冲压。
挤压模 Extrusion Die	用于金属挤压成形棒材、管材或异形件。	航空航天（铝型材）、建筑（门窗框架）、汽车（管件），挤压铝合金、铜合金、镁合金。	直径 20100 mm，HRA 8689，寿命 20100 万次冲压。
冷镦模 Cold Heading Die	用于冷镦成形螺栓、螺母等紧固件。	汽车制造（螺栓）、建筑（紧固件）、机械（铆钉），冷镦低碳钢、不锈钢、铜。	直径 1050 mm，HRA 8790，寿命 50200 万次冲压。
深拉模 Deep Drawing Die	专为超深拉伸设计，加工高深径比零件。	汽车制造（燃油滤清器）、家电（不锈钢锅）、医疗（金属罐），深拉不锈钢、铝合金、铜。	直径 20150 mm，深度 50200 mm，HRA 8689，寿命 20100 万次冲压。
粉末成形模 Powder Forming Die	用于粉末冶金零件压制成形。	汽车（齿轮）、电子（磁芯）、航空（轻质零件），压制铁粉、铜粉、硬质合金粉末。	尺寸 50200 mm，HRA 8992，寿命 50200 万次冲压。

版权与免责声明

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

2.2 技术指标

尺寸

长度/宽度：501000 mm（常用 50300 mm）。

厚度：10100 mm（常用 1050 mm）。

公差： ± 0.005 mm（精冲模）至 ± 0.02 mm（通用模）。

重量

单件 0.150 kg，适于冲床或自动化生产线。

表面粗糙度

Ra 0.10.8 μ m，减少工件粘附和摩擦。

硬度等级

标准：HRA 8689（通用冲压）。

高硬度：HRA 8992（精冲、粉末成形）。

材料配方

WCCo（通用型）：钴含量 612%，HRA 8791，韧性高。

WCNi（耐腐蚀型）：镍含量 510%，耐酸碱环境。

WCTiCTaC（高温型）：耐温 8001000°C。

冲压参数

冲压力：1002000 kN（视模具类型）。

冲压速度：501000 次/分钟（级进模最高）。

工件厚度：0.110 mm（常用 0.55 mm）。

表面处理

抛光：Ra 0.050.4 μ m，降低摩擦热。

涂层

TiN：硬度 HV 20002500，耐磨性提升 2 倍。

TiAlN：耐温 900°C，适合高温冲压。

AlCrSi/TiN：耐温 1000°C，寿命延长 3 倍。

DLC：摩擦系数 0.10.2，适合铝合金、铜合金。

标准符合性

ISO 9001 质量管理体系。

ISO 8020（冲模规范）、ASTM B771（磨损测试）、ISO 3878（硬度测试）。

3. 硬质合金冲压模制造工艺

硬质合金冲压模的制造采用先进的粉末冶金技术，确保材料性能、几何精度和表面质量达到顶级标准。

3.1 原料准备

选用高纯度碳化钨（WC，纯度>99.95%）、钴（Co，纯度>99.9%）及添加剂（如 TiC、TaC、Cr）。通过湿磨工艺（介质为酒精或去离子水，球磨 2472 小时）混合粉末，平均粒径控制在 0.21 微米。添加 VC 或 Cr₃C₂（0.10.5%）作为晶粒抑制剂，防止高温烧结中晶粒长大。

版权与免责声明

3.2 成型

冷等静压（CIP）：粉末在 200400 кадаш 壓下压制成生坯，密度 5060%理论值。

精密模压：高精度模具（公差 ± 0.1 mm）用于成型复杂模腔或冲头。

喷雾干燥：制备流动性颗粒，提高生坯均匀性和强度。

3.3 烧结

预烧结：9001100°C，去除有机添加剂。

热等静压烧结（HIP）：13501500°C，100200 MPa，氩气环境，烧结 24 小时，致密度 99.8100%。

冷却控制：渐进式冷却（1020°C/分钟），避免热应力导致微裂纹。

3.4 后处理

精密磨削：使用金刚石砂轮或 CBN 工具，加工至公差 ± 0.005 mm，表面粗糙度 Ra 0.10.8 μ m。

电火花加工（EDM）：加工复杂模腔，精度 ± 0.01 mm，适合精冲模、级进模。

表面强化：喷砂、抛光或涂层（TiN、TiAlN、AlCrSi/TiN、DLC）提升耐磨性和耐热性。

质量检测：

硬度测试：HRA/HV，误差 ± 0.5 。

显微结构分析：扫描电镜（SEM）检查晶粒尺寸（0.22 μ m）。

尺寸测量：三次元测量仪，精度 ± 0.002 mm。

无损探伤：超声检测，排查内部缺陷。

4. 硬质合金冲压模用途与应用场景

硬质合金冲压模凭借其高精度、耐磨性和长寿命，在以下领域和场景中广泛应用：

4.1 汽车制造

硬质合金冲裁模

冲裁车身板件、支架，加工低碳钢、不锈钢，精度 ± 0.02 mm，寿命 50200 万次，应用于车门、引擎盖生产。

硬质合金拉伸模

拉伸油箱、仪表板，加工铝合金、不锈钢，深度 50200 mm，寿命 30150 万次，适合批量生产。

硬质合金冷镦模

成形螺栓、螺母，加工低碳钢，寿命 50200 万次，应用于紧固件制造。

4.2 电子与电器

硬质合金级进模

加工连接器、端子，冲裁铜合金、不锈钢，精度 ± 0.01 mm，寿命 100300 万次，适合高速冲压。

硬质合金精冲模

生产电路板框架、精密零件，加工钢板，边缘粗糙度 Ra 0.2 μ m，寿命 50200 万次，应用于手机、电脑制造。

硬质合金粉末成形模

压制磁芯、电子元件，加工铁粉、铜粉，寿命 50200 万次，适合小型零件生产。

4.3 航空航天

硬质合金成形模

成形钛合金、铝合金零件，如机翼连接件，精度 ± 0.01 mm，寿命 30150 万次，耐高温 800°C。

硬质合金挤压模

挤压轻质型材，加工镁合金、铝合金，寿命 20100 万次，应用于机身结构件。

硬质合金复合模

加工复杂连接件，冲裁+拉伸钛合金，寿命 50200 万次，适合高精度零件。

4.4 五金与建筑

硬质合金弯曲模

折弯钢板、铝板，加工建筑支架、金属配件，角度精度 $\pm 0.5^\circ$ ，寿命 50200 万次，应用于钢结构、门窗制造。

硬质合金冲裁模

冲裁金属垫片、紧固件，加工不锈钢、铜，寿命 50200 万次，适合五金制品生产。

硬质合金挤压模

挤压管件、型材，加工铝合金，寿命 20100 万次，应用于建筑装饰。

4.5 医疗器械

硬质合金精冲模

加工手术器械零件，冲裁不锈钢、钛合金，精度 ± 0.005 mm，寿命 50200 万次，应用于骨钉、植入物制造。

硬质合金成形模

成形医疗外壳，加工铝合金、不锈钢，表面粗糙度 Ra 0.2 μ m，寿命 30150 万次，适合医用容器生产。

硬质合金冷镦模

成形微型紧固件，加工不锈钢，寿命 50200 万次，应用于医疗设备组装。

5. 硬质合金冲压模的优势

硬质合金冲压模以其卓越性能在模具行业中占据领先地位：

超长寿命：耐磨性和硬度使寿命延长 310 倍，单次冲压成本降低 3060%。

高效加工：支持高速冲压（501000 次/分钟）和高冲压力（1002000 kN），生产效率提升 2050%。

高精度：加工精度 $\pm 0.005\text{ mm}$ （精冲模），表面粗糙度 $Ra\ 0.10.8\ \mu\text{m}$ ，满足航空、电子高要求。

灵活定制：多样化种类（冲裁、拉伸、级进等）、尺寸（501000 mm）和涂层（TiN、TiAlN），适配不同工况。

环境适应性：耐高温（8001000°C）、耐腐蚀（pH 210），适应干式、湿式和化学环境。

绿色制造：高耐用性减少模具更换和废弃物，符合可持续发展目标。

6. 硬质合金冲压模技术挑战与改进方向

6.1 技术挑战

加工难度：硬质合金硬度高（HRA 8692），对加工设备和工具要求极高，金刚石砂轮或 CBN 工具磨损快，加工精度难以稳定（公差 $<\pm 0.005\text{ mm}$ ）。

脆性风险：高硬度材料在高冲压力（ $>2000\text{ kN}$ ）或不当设计下可能产生微裂纹或崩裂，影响寿命。

热管理问题：高速冲压（ $>500\text{ 次/分钟}$ ）产生摩擦热，可能导致模具表面软化或涂层剥落，特别是在高温工况下。

复杂工件适应性：薄板（ $<0.5\text{ mm}$ ）、高强度钢（HRC >50 ）或复合材料对模具几何和表面处理要求高，易出现磨损或粘料。

极端工况局限：超高温（ $>1000^\circ\text{C}$ ）或强酸环境（pH <2 ）下，传统涂层和粘结相性能下降，寿命缩短 5070%。

6.2 硬质合金冲压模技术改进方向

先进加工技术：开发激光微加工和电火花加工，精度提升至 $\pm 0.003\text{ mm}$ ，工具磨损降低 30%，适合复杂模腔（如级进模、精冲模）。

韧性增强设计：采用梯度结构（表面高硬 HRA 9092，内部高韧断裂韧性 $>10\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ）或 CoNi 复合粘结相，抗冲击性提高 2030%，减少崩裂风险。

高效热管理：优化模具冷却通道（冷却液压力 510 MPa，流量 310 L/min），降低工作温度 100150°C；研发自适应涂层（如 TiAlN/AlCrSi，耐温 1100°C），减少热软化。

复杂工件优化：设计低摩擦涂层（如 DLC，摩擦系数 0.10.2）和优化模腔几何（圆角半径 0.10.5 mm），减少薄板粘料和磨损；开发 PCD（多晶金刚石）镶嵌模，硬度提升至 HV 8000，寿命延长 20 倍。

极端工况适配：研发纳米多层涂层（如 AlCrSi/TiN，厚度 25 μm ，硬度 HV 3500）或陶瓷基复合材料（WCSiC），耐温提升至 1200°C，耐强酸（pH 12）腐蚀速率 $<0.03\text{ mm/年}$ 。

智能化设计：利用 AI 模拟冲压力（误差 $<5\%$ ）和磨损行为，优化模腔角度（偏差 $<0.5^\circ$ ）和表面处理（粗糙度 $Ra<0.1\ \mu\text{m}$ ），提高加工稳定性；开发自诊断模具，实时监测温度和磨损，延长寿命 1020%。

硬质合金冲压模以其高硬度（HRA 8692）、优异韧性（ $6.510 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ）和超长寿命（20300 万次冲压）成为汽车制造、电子电器、航空航天、五金制品、医疗器械等领域的首选模具工具。其丰富种类（冲裁模、拉伸模、级进模、精冲模等）和精确规格（公差 $\pm 0.005 \text{ mm}$ ，尺寸 501000 mm ）满足从薄板冲裁到深拉成形的多样化需求。技术指标显示，其寿命为高速钢模具的 310 倍，生产效率提升 2050%，加工精度达 IT6/IT8 级。

通过先进粉末冶金工艺和涂层技术（如 TiAlN、DLC），冲压模在高温（ 8001000°C ）、腐蚀（pH210）等苛刻环境中表现出色。未来，通过激光加工、PCD 镶嵌、纳米涂层、AI 优化和智能化设计，硬质合金冲压模将进一步提升性能，拓展应用场景，为全球工业的高效、精准和可持续发展提供坚实支持。



中钨智造科技有限公司

30 年硬质合金定制专家

核心优势

30 年经验：深谙硬质合金生产加工，技术成熟稳定，不断精进。

精准定制：支持特殊性能与复杂设计，重视客户+AI 协同设计。

质量成本：优化模具与加工，性价比卓越；领先设备，RMI、ISO 9001 认证。

服务客户

产品涵盖切削、工模具、航空、能源、电子等领域，已服务 10+万客户。

服务承诺

10+亿次访问、100+万网页、10+万客户、30 年 0 抱怨！

联系我们

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129696

官网：www.ctia.com.cn

微信：关注“中钨在线”



版权与法律责任声明

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

附录：

硬质合金拉丝模介绍

硬质合金拉丝模是一种高性能模具工具，以碳化钨（WC）为核心材料，通过先进粉末冶金工艺制造，专为金属线材拉伸成形设计。凭借卓越的硬度、耐磨性、耐高温性和抗腐蚀性，硬质合金拉丝模广泛应用于电线电缆、钢丝绳、弹簧制造、医疗导丝、航空航天线材等领域。它能够高效拉伸钢、铜、铝、钛等金属材料，显著提升线材表面质量、尺寸精度和模具寿命。本文从材料特性、种类与技术指标、制造工艺、用途与应用场景、产品优势、技术挑战与改进方向等方面，全面介绍硬质合金拉丝模的性能与价值。

1. 硬质合金拉丝模材料组成与特性

1.1 硬质合金拉丝模材料组成

硬质合金拉丝模的配方经过精密设计，以实现硬度、韧性和耐腐蚀性的最佳平衡：

硬质相

碳化钨（WC，85.95%），提供超高硬度和耐磨性。部分配方掺杂碳化钛（TiC，0.53%）或碳化钽（TaC，0.52%），提升高温稳定性和抗氧化性能。

粘结相

钴（Co，5.12%），增强韧性和抗冲击能力；镍（Ni，5.10%）用于耐腐蚀配方，适合酸性或潮湿环境。

添加剂

微量铬（Cr，0.10.8%）、钒（V，0.050.4%）、钼（Mo，0.10.6%），用于细化晶粒、抑制晶粒生长并提高抗腐蚀和抗高温氧化能力。

1.2 硬质合金拉丝模关键特性

硬质合金拉丝模的性能源于其优化的微观结构和材料配方：

硬度

HRA 88.92（HV 1400/1800），远超高速钢（HSS，HRC 60.65），适合拉伸硬度高达 HRC 40 的材料。

断裂韧性

6.09.0 MPa·m^{1/2}，优于普通硬质合金（5.7 MPa·m^{1/2}），抗裂纹扩展能力提升 25%。

耐磨性

磨损率 0.0080.015 mm³/N·m（ASTM G65），比高铬模具钢低 1.52 倍，模具寿命延长 515 倍。

压缩强度

4500.6500 MPa，耐受高拉伸力（最大拉力可达 500 kN）。

密度

14.015.0 g/cm³，重量适中，适合精密加工。

耐腐蚀性

在中性或弱酸性环境（pH 4.9）下，腐蚀速率 < 0.05 mm/年；镍基配方或涂层可耐 pH 2.10，

版权与免责声明

腐蚀速率<0.03 mm/年。

耐温性

工作温度 20°C 至 700°C，涂层配方可耐瞬时 900°C，适合高温拉丝。

1.3 硬质合金拉丝模微观结构优势

硬质合金拉丝模采用超细晶（0.20.5 微米）或细晶（0.51 微米）结构，带来以下优势：

高硬度与强度：细小晶粒增加晶界密度，遵循霍尔佩奇效应，提升抗磨损能力。

优异韧性：晶粒细化分散应力，降低裂纹扩展风险，抗冲击性能提高 2030%.

表面稳定性：减少磨损剥落，保持模孔光洁，延长线材表面质量和模具寿命。

2. 硬质合金拉丝模种类与技术指标

硬质合金拉丝模种类多样，涵盖不同线材类型和拉伸需求，以下为全面分类、技术指标及用途表列（参考 ISO 标准、ASTM 规范及制造商数据）。

2.1 硬质合金拉丝模种类及用途表

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格
圆形拉丝模 Round Wire Die	标准圆形模孔，适合圆形线材拉伸。	电线电缆（铜、铝线）、钢丝绳（高碳钢丝）、弹簧（琴钢丝），拉伸铜、铝、钢。	模孔直径 0.0110 mm，模体直径 20100 mm，HRA 8892，寿命 5002000 吨线材。
异形拉丝模 Shaped Wire Die	非圆形模孔（如方形、六角形、椭圆形），用于异形线材。	电子（扁平导线）、五金（方形钢丝）、医疗（异形导丝），拉伸铜、不锈钢、钛合金。	模孔尺寸 0.18 mm，模体直径 2080 mm，HRA 8992，寿命 3001500 吨线材。
微型拉丝模 Micro Wire Die	超小模孔，专为细线或超细线拉伸。	医疗（导丝、缝合线）、电子（超细铜线）、航空（钛合金细丝），拉伸钛、铜、不锈钢。	模孔直径 0.0050.5 mm，模体直径 1050 mm，HRA 9092，寿命 100500 吨线材。
多级拉丝模 MultiStage Die	多模孔连续拉伸，适合大批量生产。	电线电缆（高压电缆芯）、钢帘线（轮胎用）、弹簧（高强度钢丝），拉伸钢、铜、铝。	模孔直径 0.18 mm，模体直径 50150 mm，HRA 8891，寿命 10003000 吨线材。
管材拉丝模 Tube Drawing Die	用于管材外径或内径拉伸，优化管壁厚度。	能源（不锈钢管）、医疗（导管）、汽车（排气管），拉伸不锈钢、铜、铝合金。	模孔直径 250 mm，模体直径 50120 mm，HRA 8790，寿命 5002000 吨管材。
棒材拉丝模 Bar Drawing Die	大直径模孔，适合棒材或粗线拉伸。	建筑（钢筋）、机械（轴类零件）、五金（粗钢丝），拉伸低碳钢、不锈钢、铜。	模孔直径 530 mm，模体直径 50150 mm，HRA 8790，寿命 5002000 吨棒材。
高温拉丝模 HighTemp Die	耐高温设计，适合高温线材拉伸。	航空航天（镍基合金线）、能源（高温导线）、军工（钛合金线），拉伸钛合金、镍基合金。	模孔直径 0.15 mm，模体直径 2080 mm，HRA 8992，寿命 3001000 吨线材。
复合材料拉丝模 Composite Die	专为复合线材或包覆线拉伸，减少分层。	电子（包覆导线）、航空（碳纤维复合线）、能源（复合电缆），拉伸铜包钢、碳纤维复合材料。	模孔直径 0.15 mm，模体直径 2080 mm，HRA 8992，寿命 200800 吨线材。

2.2 硬质合金拉丝模技术指标

硬质合金拉丝模尺寸

模孔直径：0.00550 mm（常用 0.0110 mm）。
模体直径：10150 mm（常用 20100 mm）。
公差：±0.001 mm（微型模）至±0.01 mm（通用模）。

硬质合金拉丝模重量

单件 0.055 kg，适于拉丝机或自动化生产线。

硬质合金拉丝模表面粗糙度

模孔 Ra 0.050.2 μm，线材表面 Ra 0.10.4 μm。

硬质合金拉丝模硬度等级

标准：HRA 8891（通用拉丝）。
高硬度：HRA 9092（微型、高温拉丝）。

硬质合金拉丝模材料配方

WCCo（通用型）：钴含量 510%，HRA 8891，韧性高。
WCNi（耐腐蚀型）：镍含量 510%，耐酸碱环境。
WCTiCTaC（高温型）：耐温 700900°C。

硬质合金拉丝模拉伸参数

拉伸速度：130 m/s（微型线 15 m/s，钢丝 1030 m/s）。
拉伸力：10500 kN（视线材直径和材质）。
减面率：1030%（单次拉伸）。

硬质合金拉丝模表面处理

抛光：模孔 Ra 0.020.1 μm，降低摩擦热。

硬质合金拉丝模涂层

TiN：硬度 HV 20002500，耐磨性提升 2 倍。
TiAlN：耐温 900°C，适合高温拉丝。
AlCrSi/TiN：耐温 1000°C，寿命延长 3 倍。
DLC：摩擦系数 0.080.15，适合铜、铝线材。

硬质合金拉丝模标准符合性

ISO 9001 质量管理体系。
ISO 1684（拉丝模规范）、ASTM B771（磨损测试）、ISO 3878（硬度测试）。

3. 硬质合金拉丝模制造工艺

硬质合金拉丝模的制造采用先进的粉末冶金技术，确保材料性能、模孔精度和表面质量达到顶级标准。

3.1 硬质合金拉丝模原料准备

选用高纯度碳化钨（WC，纯度>99.95%）、钴（Co，纯度>99.9%）及添加剂（如 TiC、TaC、Cr）。通过湿磨工艺（介质为酒精或去离子水，球磨 2472 小时）混合粉末，平均粒径控制在 0.20.8 微米。添加 VC 或 Cr₃C₂ (0.10.4%) 作为晶粒抑制剂，防止高温烧结中晶粒长大。

3.2 硬质合金拉丝模成型

冷等静压（CIP）：粉末在 200400 MPa 下压制生坯，密度 5060%理论值。

精密模压：高精度模具（公差±0.05 mm）用于成型模体和初始模孔。

喷雾干燥：制备流动性颗粒，提高生坯均匀性和强度。

3.3 硬质合金拉丝模烧结

预烧结：9001100°C，去除有机添加剂。

热等静压烧结（HIP）：13501450°C，100200 MPa，氩气环境，烧结 23 小时，致密度 99.8100%。

冷却控制：渐进式冷却（1015°C/分钟），避免热应力导致微裂纹。

3.4 硬质合金拉丝模后处理

精密磨削：使用金刚石砂轮，加工模孔至公差±0.001 mm，表面粗糙度 Ra 0.050.2 μm。

激光加工：精修模孔形状（圆形、异形），精度±0.0005 mm，适合微型模。

抛光：超精密抛光，模孔 Ra 0.020.1 μm，优化线材表面质量。

表面强化：涂层（TiN、TiAlN、AlCrSi/TiN、DLC）提升耐磨性和耐热性。

质量检测：

硬度测试：HRA/HV，误差±0.5。

显微结构分析：扫描电镜（SEM）检查晶粒尺寸（0.20.8 μm）。

尺寸测量：光学测量仪，精度±0.0005 mm。

无损探伤：超声检测，排查内部缺陷。

4. 硬质合金拉丝模用途与应用场景

硬质合金拉丝模凭借其高精度、耐磨性和长寿命，在以下领域和场景中广泛应用：

4.1 硬质合金拉丝模电线电缆

硬质合金拉丝模圆形拉丝模

拉伸铜、铝导线，生产电力电缆、通信线，线径精度±0.002 mm，寿命 5002000 吨，应用于高压电缆、网线制造。

硬质合金拉丝模多级拉丝模

连续拉伸细铜线，加工超细导线，线径 0.010.1 mm，寿命 10003000 吨，适合数据线、耳机线生产。

硬质合金拉丝模异形拉丝模

版权与免责声明

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

拉伸扁平或方形导线，加工电子设备用线材，寿命 3001500 吨，应用于连接器、电路板。

4.2 硬质合金拉丝模钢丝与弹簧

硬质合金拉丝模圆形拉丝模

拉伸高碳钢丝，生产钢丝绳、弹簧钢丝，线径 0.110 mm，寿命 5002000 吨，应用于电梯钢丝绳、汽车悬架弹簧。

硬质合金拉丝模棒材拉丝模

拉伸粗钢丝或钢筋，加工建筑用钢材，线径 530 mm，寿命 5002000 吨，适合桥梁、建筑结构。

硬质合金拉丝模高温拉丝模

拉伸琴钢丝，生产高强度弹簧，耐温 700°C，寿命 3001000 吨，应用于工业弹簧、阀门弹簧。

4.3 硬质合金拉丝模医疗器械

硬质合金拉丝模微型拉丝模

拉伸钛合金、不锈钢导丝，生产心血管导丝、缝合线，线径 0.0050.5 mm，精度 ± 0.001 mm，寿命 100500 吨，适合介入医疗。

硬质合金拉丝模异形拉丝模

拉伸异形医疗线材，加工骨科固定线，寿命 200800 吨，应用于骨钉、植入物制造。

硬质合金拉丝模复合材料拉丝模

拉伸复合导丝，加工包覆线材，寿命 200800 吨，适合神经介入设备。

4.4 航空航天

硬质合金拉丝模高温拉丝模

拉伸镍基合金、钛合金线材，生产航空发动机线材、紧固件，线径 0.15 mm，耐温 900°C，寿命 3001000 吨，应用于涡轮叶片、机身连接件。

硬质合金拉丝模复合材料拉丝模

拉伸碳纤维复合线，加工轻质线材，寿命 200800 吨，适合无人机、卫星部件。

硬质合金拉丝模微型拉丝模

拉伸超细钛丝，生产航空传感器线材，线径 0.010.5 mm，寿命 100500 吨，应用于精密仪器。

4.5 五金与能源

硬质合金拉丝模管材拉丝模

拉伸不锈钢、铜管，生产能源导管、换热管，管径 250 mm，寿命 5002000 吨，应用于核电、石油管道。

硬质合金拉丝模棒材拉丝模

拉伸铜、铝棒材，加工五金零件、导电棒，棒径 530 mm，寿命 5002000 吨，适合电力设备。

硬质合金拉丝模圆形拉丝模

拉伸钢丝，生产钢帘线、钢丝网，线径 0.15 mm，寿命 5002000 吨，应用于轮胎、防护网。

5. 产品优势

硬质合金拉丝模以其卓越性能在拉丝模具市场中占据领先地位：

超长寿命：耐磨性和硬度使寿命延长 515 倍，单次拉丝成本降低 4070%。

高效加工：支持高速拉伸（130 m/s）和高拉力（10500 kN），生产效率提升 2050%。

高精度：模孔精度 ± 0.001 mm，线材表面粗糙度 Ra 0.10.4 μm ，满足医疗、航空高要求。

灵活定制：多样化种类（圆形、异形、微型等）、模孔尺寸（0.00550 mm）和涂层（TiN、DLC），适配不同工况。

环境适应性：耐高温（700900°C）、耐腐蚀（pH 210），适应干式、湿式和化学环境。

绿色制造：高耐用性减少模具更换和废弃物，符合可持续发展目标。

6. 硬质合金拉丝模技术挑战与改进方向

6.1 硬质合金拉丝模技术挑战

加工难度

硬质合金硬度高（HRA 8892），对加工设备和工具要求极高，金刚石砂轮磨损快，模孔精度难以稳定（公差 $\leq \pm 0.001$ mm）。

脆性风险

高硬度材料在高拉力（>500 kN）或不当设计下可能产生微裂纹或模孔崩裂，影响寿命。

热管理问题

高速拉伸（>20 m/s）产生摩擦热，可能导致模孔表面软化或涂层剥落，特别是在高温工况下。

复杂材料适应性

高强度钢（HRC>40）、钛合金或复合线材对模孔几何和表面处理要求高，易出现磨损或线材表面缺陷。

极端工况局限

超高温（>900°C）或强酸环境（pH<2）下，传统涂层和粘结相性能下降，寿命缩短 5070%。

6.2 硬质合金拉丝模技术改进方向

先进加工技术

开发激光微加工和超精密磨削，模孔精度提升至 ± 0.0005 mm，工具磨损降低 30%，适合微型和异形模。

韧性增强设计

采用梯度结构（表面高硬 HRA 9092，内部高韧断裂韧性 >9 MPa $\text{m}^{1/2}$ ）或 CoNi 复合粘结相，抗裂纹扩展能力提高 2030%，减少模孔崩裂。

高效热管理

优化模孔冷却系统（冷却液压力 510 MPa，流量 25 L/min），降低工作温度 100150°C；研发自适应涂层（如 TiAlN/AlCrSi，耐温 1000°C），减少热软化。

复杂材料优化

设计低摩擦涂层（如 DLC，摩擦系数 0.080.15）和优化模孔几何（入口角 5°15°，减面区长

度 0.52 mm)，减少线材表面缺陷；开发 PCD（多晶金刚石）模孔，硬度提升至 HV 8000，寿命延长 20 倍。

极端工况适配

研发纳米多层涂层（如 AlCrSi/TiN，厚度 13 μm ，硬度 HV 3500）或陶瓷基复合材料（WCSiC），耐温提升至 1100°C，耐强酸（pH 12）腐蚀速率 < 0.02 mm/年。

智能化设计

利用 AI 模拟拉伸力（误差 < 5%）和磨损行为，优化模孔角度（偏差 < 0.2°）和表面粗糙度（ $R_a < 0.05 \mu\text{m}$ ），提高拉丝稳定性；开发自诊断拉丝模，实时监测温度和磨损，延长寿命 1020%。

7. 结论

硬质合金拉丝模以其高硬度（HRA 8892）、优异韧性（6.09.0 MPa $\text{m}^{1/2}$ ）和超长寿命（1003000 吨线材）成为电线电缆、钢丝绳、弹簧制造、医疗导丝、航空航天线材等领域的首选模具工具。其丰富种类（圆形模、微型模、异形模、多级模等）和精确规格（模孔直径 0.00550 mm，公差 $\pm 0.001 \text{ mm}$ ）满足从超细导丝到粗棒材的多样化拉伸需求。技术指标显示，其寿命为高速钢模具的 515 倍，生产效率提升 2050%，线材表面质量达 $R_a 0.10.4 \mu\text{m}$ 。

通过先进粉末冶金工艺和涂层技术（如 TiAlN、DLC），拉丝模在高温（700-900°C）、腐蚀（pH 2-10）等苛刻环境中表现出色。未来，通过激光加工、PCD 模孔、纳米涂层、AI 优化和智能化设计，硬质合金拉丝模将进一步提升性能，拓展应用场景，为全球工业的高效、精准和可持续发展提供坚实支持。



附录：

硬质合金喷嘴

硬质合金喷嘴是一种高性能流体控制组件，以碳化钨（WC）为主要材料，通过粉末冶金工艺制造，专为高压力、高磨损和腐蚀性环境下的喷射应用设计。其优异的硬度、耐磨性、耐高温性和耐腐蚀性使其广泛应用于喷砂处理、喷涂工艺、水射流切割、石油钻井、化学工业、农业灌溉和食品加工等领域。本文从材料特性、分类与技术参数、制造工艺、应用领域、性能优势、挑战与技术发展趋势等方面，系统阐述硬质合金喷嘴的性能与应用价值。

1. 材料组成与性能特性

硬质合金喷嘴材料组成与性能特性

硬质合金喷嘴的材料和性能特性决定了其在苛刻环境中的卓越表现。

硬质合金喷嘴材料组成

硬质合金喷嘴的材料配方经过优化设计，以平衡硬度、韧性和耐腐蚀性。

硬质合金喷嘴硬质相

碳化钨（WC，8595 wt%），提供高硬度和耐磨性。部分配方添加碳化钛（TiC，0.53 wt%）或碳化钽（TaC，0.52 wt%），以增强高温稳定性和抗氧化性能。

硬质合金喷嘴粘结相

钴（Co，512 wt%），提高韧性和抗冲击性能；镍（Ni，510 wt%），用于耐腐蚀配方，适用于酸性或潮湿环境。

硬质合金喷嘴添加剂

微量铬（Cr，0.10.8 wt%）、钒（V，0.050.4 wt%）、钼（Mo，0.10.6 wt%），用于细化晶粒、抑制晶粒生长并提升抗腐蚀和高温性能。

硬质合金喷嘴性能特性

硬质合金喷嘴的性能源于其优化的微观结构和材料配方。

硬质合金喷嘴硬度

HRA 8892（HV 14001800），显著高于不锈钢（HRC 2040），适用于高磨料喷射。

硬质合金喷嘴断裂韧性

6.09.0 MPa m^{1/2}，相较普通硬质合金（57 MPa m^{1/2}）提高约 25%，有效抵抗裂纹扩展。

硬质合金喷嘴耐磨性

磨损率 0.0080.015 mm³/N m（ASTM G65），比高铬合金低 1.52 倍，寿命延长 515 倍。

硬质合金喷嘴压缩强度

45006500 MPa，可承受最大 500 MPa 的喷射压力。

硬质合金喷嘴密度

14.015.0 g/cm³，适于高精度安装。

硬质合金喷嘴耐腐蚀性

在中性或弱酸性环境（pH 49）下，腐蚀速率 <0.05 mm/年；镍基或涂层配方可耐 pH 210，腐蚀速率 <0.03 mm/年。

版权与免责声明

硬质合金喷嘴耐温性

工作温度范围 20°C 至 800°C，涂层配方可耐瞬时 1000°C。

硬质合金喷嘴微观结构特性

硬质合金喷嘴采用超细晶（0.20.5 μm）或细晶（0.51 μm）结构，具有以下优势：

高硬度与强度：细小晶粒增加晶界密度，遵循霍尔佩奇效应，提升抗磨损性能。

韧性提升：晶粒细化分散应力，降低裂纹扩展风险，抗冲击性能提高 2030%。

表面稳定性：减少磨损剥落，维持喷孔表面光洁度，确保喷射精度和使用寿命。

2. 硬质合金喷嘴分类与技术参数

硬质合金喷嘴分类与技术参数

硬质合金喷嘴根据喷射介质和应用场景分为多种类型，以满足不同工业需求。

硬质合金喷嘴分类及用途

以下为硬质合金喷嘴的分类、技术参数及用途汇总（基于 ISO 标准、ASTM 规范及行业数据）：

硬质合金喷嘴分类及用途表

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格
喷砂喷嘴 Sandblasting Nozzle	高耐磨设计，适用于磨料喷射。	表面处理（除锈、去毛刺）、船舶制造（船体喷砂）、建筑（混凝土清洁），喷射砂粒、钢丸。	喷孔直径 212 mm，长度 50200 mm，HRA 8892，寿命 5002000 小时。
水射流喷嘴 Waterjet Nozzle	高压水射流，适用于硬质材料切割。	航空航天（钛合金切割）、汽车（复合材料切割）、石材加工（大理石），喷射高压水（300400 MPa）。	喷孔直径 0.12 mm，长度 20100 mm，HRA 9092，寿命 2001000 小时。
喷涂喷嘴 Spray Coating Nozzle	精确喷涂涂料或陶瓷涂层。	航空（涡轮叶片涂层）、汽车（发动机涂层）、电子（电路板喷涂），喷射陶瓷、金属粉末。	喷孔直径 0.55 mm，长度 30150 mm，HRA 8891，寿命 3001500 小时。
油田喷嘴 Oilfield Nozzle	耐高压、耐腐蚀，适用于钻井喷射。	石油钻井（钻井液喷射）、天然气勘探（井下清洗）、矿山（泥浆喷射），喷射钻井液、化学液。	喷孔直径 315 mm，长度 50150 mm，HRA 8992，寿命 5002000 小时。
雾化喷嘴 Atomizing Nozzle	细小雾化喷射，适用于液体分散。	农业（农药喷洒）、化工（液体雾化）、环保（废气处理），喷射水、化学液、油。	喷孔直径 0.23 mm，长度 20100 mm，HRA 8891，寿命 5002000 小时。
燃烧喷嘴 Burner Nozzle	耐高温设计，适用于燃料或气体喷射。	能源（锅炉燃烧）、化工（高温反应）、冶金（熔炉喷射），喷射燃料油、天然气。	喷孔直径 110 mm，长度 30120 mm，HRA 8992，寿命 3001500 小时。
微型喷嘴 Micro Nozzle	超小喷孔，适用于高精度喷射。	医疗（药物喷雾）、电子（芯片清洗）、航空（精密涂层），喷射液体、气体、微粒。	喷孔直径 0.050.5 mm，长度 1050 mm，HRA 9092，寿命 2001000 小时。
耐腐蚀喷嘴 CorrosionResistant Nozzle	耐强酸碱，适用于化学环境。	化工（酸碱溶液喷射）、环保（脱硫脱硝）、海洋工程（海水喷射），喷射强酸、强碱、海水。	喷孔直径 110 mm，长度 30150 mm，HRA 8891，寿命 5002000 小时。
奶粉制造喷嘴 Milk Powder Spray Nozzle	专为喷雾干燥设计，均匀雾化乳液。	食品加工（奶粉、乳粉生产）、农业（乳制品加工），喷射乳液、乳清液，生产婴幼儿奶粉、乳粉。	喷孔直径 0.53 mm，长度 20100 mm，HRA 8891，寿命 5002000 小时。

版权与免责声明

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

硬质合金喷嘴技术参数

硬质合金喷嘴的技术参数确保其适应多样化的工业应用：

尺寸：

喷孔直径：0.0515 mm（常用 0.112 mm）。

喷嘴长度：10200 mm（常用 20150 mm）。

公差：±0.001 mm（微型喷嘴、奶粉制造喷嘴）至±0.01 mm（通用喷嘴）。

重量：单件 0.011 kg，适用于手动或自动化设备。

表面粗糙度：喷孔 Ra 0.050.2 μm，喷射表面 Ra 0.10.4 μm。

硬度等级：

标准：HRA 8891（通用喷射、奶粉制造）。

高硬度：HRA 9092（水射流、微型喷嘴）。

材料配方：

WCCo（通用型）：钴含量 510%，HRA 8891，韧性高。

WCNi（耐腐蚀型）：镍含量 510%，耐酸碱环境，适用于奶粉制造。

WCTiCTaC（高温型）：耐温 8001000°C。

喷射参数：

喷射压力：0.1500 MPa（水射流最高，奶粉制造 0.55 MPa）。

喷射速度：101000 m/s（视介质）。

流量：0.01100 L/min（奶粉制造 0.110 L/min）。

表面处理：

抛光：喷孔 Ra 0.020.1 μm，降低摩擦和堵塞，适用于奶粉制造。

涂层：

TiN：硬度 HV 20002500，耐磨性提升 2 倍。

TiAlN：耐温 900°C，适用于高温喷射。

AlCrSi/TiN：耐温 1000°C，寿命延长 3 倍。

DLC：摩擦系数 0.080.15，适用于液体喷射、乳液喷射。

标准符合性：

ISO 9001 质量管理体系。

ASTM B771（磨损测试）、ISO 3878（硬度测试）。

食品级认证：奶粉制造喷嘴符合 FDA/欧盟食品接触标准。

3. 硬质合金喷嘴制造工艺

硬质合金喷嘴的制造采用先进的粉末冶金技术，确保材料性能、喷孔精度和表面质量达到行业标准。

版权与法律责任声明

硬质合金喷嘴原料准备

选用高纯度碳化钨（WC，纯度>99.95%）、钴（Co，纯度>99.9%）及添加剂（如 TiC、TaC、Cr）。通过湿磨工艺（介质为酒精或去离子水，球磨 2472 小时）混合粉末，平均粒径控制在 0.20.8 μm 。添加 VC 或 Cr₃C₂（0.10.4 wt%）作为晶粒抑制剂，防止高温烧结中晶粒长大。

硬质合金喷嘴成型

冷等静压（CIP）：粉末在 200400 MPa 下压制生成坯，密度 5060%理论值。

精密模压：高精度模具（公差 $\pm 0.05\text{ mm}$ ）用于成型喷嘴体和初始喷孔。

喷雾干燥：制备流动性颗粒，提高坯均匀性和强度。

硬质合金喷嘴烧结

预烧结：9001100°C，去除有机添加剂。

热等静压烧结（HIP）：13501450°C，100200 MPa，氩气环境，烧结 23 小时，致密度 99.8100%。

冷却控制：渐进式冷却（1015°C/分钟），避免热应力导致微裂纹。

硬质合金喷嘴后处理

精密磨削

使用金刚石砂轮，加工喷孔至公差 $\pm 0.001\text{ mm}$ ，表面粗糙度 Ra 0.050.2 μm 。

激光加工

精修喷孔形状（圆形、扇形），精度 $\pm 0.0005\text{ mm}$ ，适用于微型喷嘴和奶粉制造喷嘴。

抛光

超精密抛光，喷孔 Ra 0.020.1 μm ，优化喷射均匀性，特别适用于乳液喷射。

表面强化

涂层（TiN、TiAlN、AlCrSi/TiN、DLC）提升耐磨性和耐热性；

奶粉制造喷嘴优先使用食品级 DLC 涂层。

质量检测

硬度测试：HRA/HV，误差 ± 0.5 。

显微结构分析：扫描电镜（SEM）检查晶粒尺寸（0.20.8 μm ）。

尺寸测量：光学测量仪，精度 $\pm 0.0005\text{ mm}$ 。

无损探伤：超声检测，排查内部缺陷。

食品级认证：奶粉制造喷嘴通过 FDA/欧盟食品接触材料测试。

4. 硬质合金喷嘴用途与应用场景

硬质合金喷嘴用途与应用场景

硬质合金喷嘴凭借其高耐磨性、耐腐蚀性和精准喷射能力，广泛应用于以下领域：

硬质合金喷嘴表面处理

喷砂喷嘴

喷射砂粒、钢丸，用于船舶除锈、汽车零件去毛刺、混凝土表面清洁，压力 1050 MPa，寿

版权与法律声明

命 5002000 小时，适用于造船、建筑行业。

喷涂喷嘴

喷涂陶瓷、金属粉末，生产航空涡轮叶片涂层、汽车发动机耐磨涂层，寿命 3001500 小时，应用于航空、汽车制造。

水射流喷嘴

高压水切割钛合金、复合材料、大理石，压力 300400 MPa，寿命 2001000 小时，适用于航空航天、石材加工。

硬质合金喷嘴石油与能源

油田喷嘴

喷射钻井液、化学液，用于石油钻井、井下清洗，压力 50200 MPa，寿命 5002000 小时，耐腐蚀（pH 210），应用于深井钻探。

燃烧喷嘴

喷射燃料油、天然气，用于锅炉、熔炉燃烧，耐温 800°C，寿命 3001500 小时，适用于火力发电、冶金行业。

水射流喷嘴

清洗换热器、管道，压力 100300 MPa，寿命 2001000 小时，应用于核电、石油化工。

硬质合金喷嘴化工与环保

耐腐蚀喷嘴

喷射酸碱溶液、海水，用于化工反应、脱硫脱硝，耐 pH 210，寿命 5002000 小时，适用于化学工业、海洋工程。

雾化喷嘴

雾化化学液、废气处理液，用于废气净化、冷却塔，流量 0.110 L/min，寿命 5002000 小时，应用于环保、化工行业。

喷涂喷嘴

喷涂防腐涂层，用于储罐、管道保护，寿命 3001500 小时，适用于化工设备制造。

硬质合金喷嘴农业与食品加工

雾化喷嘴

喷洒农药、肥料，用于精准农业灌溉，流量 0.055 L/min，寿命 5002000 小时，适用于大田作物、果园喷洒。

奶粉制造喷嘴

喷雾干燥乳液、乳清液，生产婴幼儿奶粉、乳粉，压力 0.55 MPa，流量 0.110 L/min，寿命 5002000 小时，符合食品级标准，适用于乳制品加工、食品工业。

耐腐蚀喷嘴

喷射清洗液、消毒液，用于农业设备清洗，耐 pH 210，寿命 5002000 小时，适用于温室、养殖场。

硬质合金喷嘴医疗与电子

微型喷嘴

喷射药物雾化液、清洗液，用于吸入器、芯片清洗，喷孔 0.050.5 mm，寿命 2001000 小时，适用于医疗、电子行业。

版权与法律责任声明

耐腐蚀喷嘴

喷射消毒液，用于医疗设备清洗，耐 pH 210，寿命 5002000 小时，适用于医院、实验室。

喷涂喷嘴

喷涂导电涂层，用于电路板制造，寿命 3001500 小时，适用于半导体行业。

硬质合金喷嘴航空航天

水射流喷嘴

切割碳纤维复合材料、钛合金，精度±0.01 mm，寿命 2001000 小时，适用于飞机机翼、卫星部件制造。

喷涂喷嘴

喷涂陶瓷涂层，用于航空发动机，寿命 3001500 小时，适用于高精度涂层工艺。

微型喷嘴

喷射精密气体、液体，用于传感器制造，喷孔 0.050.5 mm，寿命 2001000 小时，适用于航空仪器。

硬质合金喷嘴用途与应用场景

硬质合金喷嘴凭借其高耐磨性、耐腐蚀性和精准喷射能力，广泛应用于表面处理、石油与能源、化工与环保、农业与食品加工、医疗与电子、航空航天等领域。以下为各领域的具体用途与应用场景，以表格形式系统列出。

行业领域	产品（喷嘴类型）	用途与应用场景	性能参数
表面处理	喷砂喷嘴 Sandblasting Nozzle	喷射砂粒、钢丸，用于船舶除锈、汽车零件去毛刺、混凝土表面清洁。	压力 1050 MPa，寿命 5002000 小时，适用于造船、建筑行业。
	喷涂喷嘴 Spray Coating Nozzle	喷涂陶瓷、金属粉末，生产航空涡轮叶片涂层、汽车发动机耐磨涂层。	寿命 3001500 小时，适用于航空、汽车制造。
	水射流喷嘴 Waterjet Nozzle	高压水切割钛合金、复合材料、大理石。	压力 300400 MPa，寿命 2001000 小时，适用于航空航天、石材加工。
石油与能源	油田喷嘴 Oilfield Nozzle	喷射钻井液、化学液，用于石油钻井、井下清洗。	压力 50200 MPa，寿命 5002000 小时，耐腐蚀（pH 210），应用于深井钻探。
	燃烧喷嘴 Burner Nozzle	喷射燃料油、天然气，用于锅炉、熔炉燃烧。	耐温 800°C，寿命 3001500 小时，适用于火力发电、冶金行业。
	水射流喷嘴 Waterjet Nozzle	清洗换热器、管道。	压力 100300 MPa，寿命 2001000 小时，应用于核电、石油化工。
化工与环保	耐腐蚀喷嘴 CorrosionResistant Nozzle	喷射酸碱溶液、海水，用于化工反应、脱硫脱硝。	耐 pH 210，寿命 5002000 小时，适用于化学工业、海洋工程。
	雾化喷嘴 Atomizing Nozzle	雾化化学液、废气处理液，用于废气净化、冷却塔。	流量 0.110 L/min，寿命 5002000 小时，应用于环保、化工行业。
	喷涂喷嘴 Spray Coating Nozzle	喷涂防腐涂层，用于储罐、管道保护。	寿命 3001500 小时，适用于化工设备制造。
农业	雾化喷嘴	喷洒农药、肥料，用于精准农业灌溉。	流量 0.055 L/min，寿命 5002000 小时，适用于大田

版权与免责声明

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

与食品加工	Atomizing Nozzle		作物、果园喷洒。
	奶粉制造喷嘴 Milk Powder Spray Nozzle	喷雾干燥乳液、乳清液，生产婴幼儿奶粉、乳粉。	压力 0.55 MPa，流量 0.110 L/min，寿命 5002000 小时，符合食品级标准，适用于乳制品加工、食品工业。
	耐腐蚀喷嘴 CorrosionResistant Nozzle	喷射清洗液、消毒液，用于农业设备清洗。	耐 pH 210，寿命 5002000 小时，适用于温室、养殖场。
医疗与电子	微型喷嘴 Micro Nozzle	喷射药物雾化液、清洗液，用于吸入器、芯片清洗。	喷孔 0.050.5 mm，寿命 2001000 小时，适用于医疗、电子行业。
	耐腐蚀喷嘴 CorrosionResistant Nozzle	喷射消毒液，用于医疗设备清洗。	耐 pH 210，寿命 5002000 小时，适用于医院、实验室。
	喷涂喷嘴 Spray Coating Nozzle	喷涂导电涂层，用于电路板制造。	寿命 3001500 小时，适用于半导体行业。
航空航天	水射流喷嘴 Waterjet Nozzle	切割碳纤维复合材料、钛合金。	精度±0.01 mm，寿命 2001000 小时，适用于飞机机翼、卫星部件制造。
	喷涂喷嘴 Spray Coating Nozzle	喷涂陶瓷涂层，用于航空发动机。	寿命 3001500 小时，适用于高精度涂层工艺。
	微型喷嘴 Micro Nozzle	喷射精密气体、液体，用于传感器制造。	喷孔 0.050.5 mm，寿命 2001000 小时，适用于航空仪器。

5. 性能优势

硬质合金喷嘴性能优势

硬质合金喷嘴在喷射设备领域具有显著优势：

超长寿命

耐磨性和硬度使寿命延长 515 倍，单次使用成本降低 4070%。

高效喷射

支持高压喷射（0.1500 MPa）和高速流体（101000 m/s），喷射效率提升 2050%。

高精度

喷孔精度±0.001 mm，喷射表面粗糙度 Ra 0.10.4 μm，满足航空、医疗、食品加工高要求。

灵活定制

多样化种类（喷砂、水射流、雾化、奶粉制造等）、喷孔尺寸（0.0515 mm）和涂层（TiN、DLC），适配不同工况。

环境适应性

耐高温（8001000℃）、耐腐蚀（pH 210），适应磨料、化学液、乳液、高温环境。

绿色制造

高耐用性减少喷嘴更换和废弃物，符合可持续发展目标。

6. 技术挑战与改进方向

版权与法律责任声明

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

硬质合金喷嘴技术挑战与改进方向

硬质合金喷嘴在实际应用中面临若干技术挑战，需通过持续改进实现性能突破。

硬质合金喷嘴技术挑战

硬质合金喷嘴加工难度

硬质合金硬度高（HRA 8892），对加工设备和工具要求极高，金刚石砂轮磨损快，喷孔精度难以稳定（公差 $\leq \pm 0.001$ mm）。

硬质合金喷嘴脆性风险

高硬度材料在高压（ >500 MPa）或不当设计下可能产生微裂纹或喷孔崩裂，影响寿命。

硬质合金喷嘴热管理问题

高温喷射（ $>800^{\circ}\text{C}$ ）或高速磨料喷射可能导致喷孔表面软化或涂层剥落，特别是在干式工况下。

复杂介质适应性

高粘度液体（如乳液）、强腐蚀化学液或超硬磨料对喷孔几何和表面处理要求高，易出现磨损或堵塞。

硬质合金喷嘴极端工况局限

超高温（ $>1000^{\circ}\text{C}$ ）或强酸环境（ $\text{pH}<2$ ）下，传统涂层和粘结相性能下降，寿命缩短 5070%。

硬质合金喷嘴技术改进方向

硬质合金喷嘴先进加工技术

开发激光微加工和超精密磨削，喷孔精度提升至 ± 0.0005 mm，工具磨损降低 30%，适用于微型和奶粉制造喷嘴。

硬质合金喷嘴韧性增强设计

采用梯度结构（表面高硬 HRA 9092，内部高韧断裂韧性 >9 MPa $\text{m}^{1/2}$ ）或 CoNi 复合粘结相，抗裂纹扩展能力提高 2030%，减少喷孔崩裂。

硬质合金喷嘴高效热管理

优化喷嘴冷却通道（冷却液压力 510 MPa，流量 25 L/min），降低工作温度 100150 $^{\circ}\text{C}$ ；研发自适应涂层（如 TiAlN/AlCrSi，耐温 1100 $^{\circ}\text{C}$ ），减少热软化。

硬质合金喷嘴复杂介质优化

设计低摩擦涂层（如 DLC，摩擦系数 0.080.15）和优化喷孔几何（入口角 10 $^{\circ}$ 20 $^{\circ}$ ，喷射区长度 0.52 mm），减少堵塞和磨损；开发 PCD（多晶金刚石）喷孔，硬度提升至 HV 8000，寿命延长 20 倍。

硬质合金喷嘴极端工况适配

研发纳米多层涂层（如 AlCrSi/TiN，厚度 13 μm ，硬度 HV 3500）或陶瓷基复合材料（WCSiC），耐温提升至 1200 $^{\circ}\text{C}$ ，耐强酸（ $\text{pH} 12$ ）腐蚀速率 <0.02 mm/年。

硬质合金喷嘴智能化设计

利用 AI 模拟喷射压力（误差 $<5\%$ ）和磨损行为，优化喷孔角度（偏差 $<0.2^{\circ}$ ）和表面粗糙度（ $\text{Ra}<0.05$ μm ），提高喷射稳定性；开发自诊断喷嘴，实时监测温度和磨损，延长寿命 1020%。

7. 结论

硬质合金喷嘴以其高硬度(HRA 8892)、优异韧性($6.09.0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)和超长寿命(2002000小时)成为喷砂处理、喷涂工艺、水射流切割、石油钻井、化学工业、农业灌溉、食品加工等领域的首选流体控制组件。其多样化的类型(喷砂喷嘴、水射流喷嘴、雾化喷嘴、奶粉制造喷嘴等)和精确的规格(喷孔直径 0.0515 mm , 公差 $\pm 0.001 \text{ mm}$)满足从精密喷雾到高压切割的广泛需求。技术指标显示,其寿命为普通材料的 515 倍,喷射效率提升 2050%,喷射表面质量达 $Ra 0.104 \mu\text{m}$ 。

通过先进的粉末冶金工艺和涂层技术(如 TiAlN、DLC),喷嘴在高温(8001000°C)、腐蚀($\text{pH}210$)等苛刻环境中表现出色。未来,通过激光加工、PCD 喷孔、纳米涂层、AI 优化和智能化设计,硬质合金喷嘴将进一步提升性能,拓展应用场景,为全球工业的高效、精准和可持续发展提供重要支持。



硬质合金喷嘴定制加工

硬质合金喷嘴具有耐磨、耐腐蚀、耐高温、使用寿命长等特点，广泛应用于喷砂、喷涂、水射流切割、石油钻井、化工、农业、食品加工等领域。

硬质合金喷嘴主要特点

- 硬度：HRA 8892
- 精度：喷孔公差±0.001 mm，表面粗糙度 Ra 0.10.4 μm。
- 适应性：耐温 8001000°C，耐腐蚀 pH 210。
- 效率：支持高压（0.1500 MPa）喷射，效率提升 2050%。
- 寿命：耐磨性优异，寿命为普通材料的 515 倍。
- 定制：多样类型（喷砂、雾化、奶粉制造等），适配多种工况。

主要硬质合金喷嘴种类

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格
喷砂喷嘴 Sandblasting Nozzle	高耐磨设计，适用于磨料喷射。	船舶除锈、汽车零件去毛刺、混凝土清洁。	喷孔直径 212 mm， 长度 50200 mm，
水射流喷嘴 Waterjet Nozzle	高压水射流，适用于硬质材料切割。	航空航天钛合金切割、汽车复合材料切割、石材加工。	喷孔直径 0.12 mm， 长度 20100 mm，
喷涂喷嘴 Spray Coating Nozzle	精确喷涂涂料或陶瓷涂层。	航空涡轮叶片涂层、汽车发动机涂层、电子电路板喷涂。	喷孔直径 0.55 mm， 长度 30150 mm，
油田喷嘴 Oilfield Nozzle	耐高压、耐腐蚀，适用于钻井喷射。	石油钻井液喷射、天然气井下清洗、矿山泥浆喷射。	喷孔直径 315 mm， 长度 50150 mm，
雾化喷嘴 Atomizing Nozzle	细小雾化喷射，适用于液体分散。	农业农药喷洒、化工液体雾化、环保废气处理。	喷孔直径 0.23 mm， 长度 20100 mm，
燃烧喷嘴 Burner Nozzle	耐高温设计，适用于燃料或气体喷射。	能源锅炉燃烧、化工高温反应、冶金熔炉喷射。	喷孔直径 110 mm， 长度 30120 mm，
微型喷嘴 Micro Nozzle	超小喷孔，适用于高精度喷射。	医疗药物喷雾、电子芯片清洗、航空精密涂层。	喷孔直径 0.050.5 mm， 长度 1050
耐腐蚀喷嘴 CorrosionResistant Nozzle	耐强酸碱，适用于化学环境。	化工酸碱溶液喷射、环保脱硫脱硝、海洋工程海水喷射。	喷孔直径 110 mm， 长度 30150 mm，
奶粉制造喷嘴 Milk Powder Spray Nozzle	专为喷雾干燥设计，均匀雾化乳液。	食品加工奶粉生产、农业乳制品加工，符合 FDA/欧盟食品接触标准。	喷孔直径 0.53 mm， 长度 20100 mm，

中钨智造（厦门）科技有限公司
厦门市软件园二期望海路 25 号之一 3 楼，邮编 361008
05925129595 18750234579
邮箱：info@ctia.group

版权与法律责任声明

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

中钨智造科技有限公司
硬质合金冲压模定制加工

硬质合金冲压模具有耐磨、耐腐蚀、耐高温、使用寿命长等特点，广泛应用于汽车制造、电子元件加工、五金制品、航空航天、医疗器械等领域。

硬质合金冲压模主要特点

- 硬度：HRA 8892。
- 精度：模具公差±0.001 mm，表面粗糙度 Ra 0.10.4 μm。
- 适应性：耐温 8001000℃，耐腐蚀 pH 210。
- 效率：支持高频冲压，效率提升 2050%。
- 寿命：耐磨性优异，寿命为普通模具的 515 倍。
- 定制：多样类型（拉伸模、冲裁模、复合模等），适配多种工况。

主要硬质合金冲压模种类

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格
拉伸模 Drawing Die	高耐磨设计，适用于金属拉伸成型。	汽车车身面板、金属容器、铝合金外壳拉伸成型。	模具直径 10200 mm，厚度 20100 mm，寿命 50200 万次冲压。
冲裁模 Blanking Die	高精度冲裁，适用于薄板切割。	电子元件引线框架、汽车零部件、五金配件冲裁。	模具间隙 0.010.1 mm，厚度 1580 mm，寿命 30150 万次冲压。
复合模 Compound Die	集成多工序冲压，适用于复杂零件。	航空航天连接件、医疗器械零件、精密五金复合加工。	模具直径 20150 mm，厚度 20100 mm，寿命 40180 万次冲压。
油田冲模 Oilfield Die	耐高压、耐腐蚀，适用于重载冲压。	石油钻井设备零件、天然气管道配件、矿山机械部件。	模具直径 30200 mm，厚度 30120 mm，寿命 30120 万次冲压。
高速冲模 HighSpeed Stamping Die	耐高温高频设计，适用于快速冲压。	汽车紧固件、电子连接器、连续高速冲压生产线。	模具直径 10100 mm，厚度 1580 mm，寿命 60250 万次冲压。
重载模 HeavyDuty Die	高强度设计，适用于厚板冲压。	重型机械零件、船舶结构件、建筑五金厚板冲压。	模具直径 50300 mm，厚度 30120 mm，寿命 30120 万次冲压。
微型模 Micro Die	超小尺寸，适用于高精度微冲压。	医疗器械微型零件、电子微连接器、航空传感器部件。	模具直径 550 mm，厚度 1040 mm，寿命 2080 万次冲压。
耐腐蚀模 CorrosionResistant Die	耐强酸碱，适用于化学环境冲压。	化工设备零件、海洋工程配件、腐蚀性材料冲压。	模具直径 15150 mm，厚度 2080 mm，寿命 50200 万次冲压。
食品级模 FoodGrade Die	专为食品相关零件冲压设计，符合标准。	食品包装模具、乳制品加工设备零件，符合 FDA/欧盟食品接触标准。	模具直径 10100 mm，厚度 1580 mm，寿命 50200 万次冲压。

中钨智造（厦门）科技有限公司
厦门市软件园二期望海路 25 号之一 3 楼，邮编 361008
05925129595 18750234579
邮箱：info@ctia.group

版权与免责声明

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

中钨智造科技有限公司
硬质合金球齿定制加工

硬质合金球齿具有耐磨、耐腐蚀、耐高温、使用寿命长等特点，广泛应用于矿山开采、隧道掘进、道路铣刨、石油钻探、建筑工程、煤炭采掘等领域。

主要硬质合金球齿种类

种类	描述	主要用途与应用场景	典型规格 mm
截齿 Cutting Pick	高耐磨设计，适用于硬岩切削。	煤矿综采、隧道掘进、硬岩开采。	齿体直径 1050，长度 50150
掘进齿 Tunneling Tooth	高强度设计，适用于掘进设备。	地铁隧道、铁路隧道、地下工程掘进。	齿体直径 1560 长度 60180
铣刨齿 Milling Tooth	耐高温高频切削，适用于路面铣刨。	公路维护、跑道铣刨、城市道路修复。	齿体直径 830，长度 40120
钻探齿 Drilling Tooth	耐高压、耐腐蚀，适用于钻探作业。	石油钻井、天然气勘探、地质勘察。	齿体直径 1040，长度 50140
旋挖齿 Rotary Digging Tooth	高韧性设计，适用于旋挖设备。	建筑桩基、桥梁基础、港口码头建设。	齿体直径 2080 ，长度 70200
采煤齿 Coal Mining Tooth	耐冲击设计，适用于煤炭采掘。	露天煤矿、井下采煤、煤炭洗选设备。	齿体直径 1550，长度 50160
微型齿 Micro Tooth	超小尺寸，适用于高精度切削。	精密地质勘探、微型钻探设备、航空部件加工。	齿体直径 520，长度 2080
耐腐蚀齿 CorrosionResistant Tooth	耐强酸碱，适用于腐蚀环境切削。	海底采矿、化工矿物开采、酸性土壤工程。	齿体直径 1050，长度 50150
重载齿 HeavyDuty Tooth	高强度设计，适用于超硬材料切削。	硬岩矿山、铁矿石开采、大型工程破碎。	齿体直径 20100，长度 80220

中钨智造（厦门）科技有限公司
厦门市软件园二期望海路 25 号之一 3 楼，邮编 361008
05925129595 18750234579
邮箱：info@ctia.group

版权与免责声明

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

什么是硬质合金模具？

硬质合金模具是一种专为金属冲压、拉伸、冷挤压及精密成型设计的高性能工具，旨在高效加工钢铁、有色金属或非金属材料。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性，确保在高压、高速和复杂工况下保持高效性和耐用性。模具作为精密制造的核心部件，直接影响产品精度、表面质量和生产成本，在汽车零部件、电子元件及机械加工中具有广泛应用。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对模具的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金模具的物化性能

硬质合金模具以碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co，6%-12% $\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 0.5%-2% $\pm 0.1\%$ 、VC $<1\% \pm 0.1\%$ 、TaC 1%-3% $\pm 0.2\%$ 、NbC 0.5%-1.5% $\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 1350-1450 $^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，压力 45-55 MPa ± 1 MPa，保温时间 5-10 min ± 1 min）或热等静压（HIP，温度 1400 $^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，压力 150-200 MPa ± 5 MPa，保温时间 30-60 min ± 5 min），确保材料达到理论密度的 99.9% $\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 0.5-2 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ （优选 0.8-1.2 $\mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 95% $\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\% \pm 1\%$ 。

模具的几何设计根据用途定制，包括冲头、凹模或成型块，尺寸范围 5-50 mm ± 1 mm（视加工件而定），安装于模具基体（采用高强度合金钢，如 Cr12MoV 或 D2，淬火硬度 HRC 58-62 ± 2 ）上。固定方式包括高频感应焊接（温度 1200-1300 $^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ，焊接强度 >800 MPa ± 50 MPa）或机械紧固（紧固力 >15 kN ± 1 kN），确保在高压（50-300 MPa ± 10 MPa，峰值可达 500 MPa ± 20 MPa）下稳定工作。工作表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 AlCrN，厚度 0.5-3 $\mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.2 \pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1.5\% \pm 0.5\%$ ）。设计融合成型力学和热传导优化，入模角度 15 $^{\circ}$ 30 $^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ；后倾角 5 $^{\circ}$ 10 $^{\circ} \pm 2^{\circ}$ ；适用于抗拉强度 300-1000 MPa 的多种材料。

硬质合金模具的特性与工作原理

硬质合金模具的材料特性

WC 提供高硬度（HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\% \pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} 12-16 MPa $\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ，峰值可达 18 MPa $\text{m}^{1/2} \pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ >80 J ± 5 J，瞬时峰值 >200 J ± 10 J）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 <0.04 mm $^3/\text{N m} \pm 0.01$ mm $^3/\text{N m}$ （优选 <0.02 mm $^3/\text{N m} \pm 0.01$ mm $^3/\text{N m}$ ），密度 14.8-15.2 g/cm $^3 \pm 0.1$ g/cm ^{3} ，热膨胀系数（CTE）6 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 <0.01 mm/年 ± 0.001 mm/年，耐 Cl $^-$ >3000 小时 ± 100 小时）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 90% $\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\% \pm 2\%$ ）。

工作原理

版权与法律声明

模具在冲压机或冷挤压设备的作用下(压力 50-300 MPa $\pm$ 10 MPa, 速度 10-50 m/s $\pm$ 2 m/s, 功率 50-400 kW $\pm$ 50 kW), 通过挤压和剪切作用成型金属或非金属材料。工作表面承受高压力和热负荷(表面温度 400-700 $^{\circ}$ C $\pm$ 50 $^{\circ}$ C, 瞬时可达 900 $^{\circ}$ C $\pm$ 50 $^{\circ}$ C), 基体钢材提供结构支撑(抗拉强度 >1300 MPa $\pm$ 50 MPa)、热传导(导热系数 40-50 W/m K $\pm$ 2 W/m K)和抗疲劳性能(疲劳寿命 >10⁶次 $\pm$ 10⁵次, 循环载荷 >200 MPa $\pm$ 20 MPa)。模具的精密设计确保公差控制在 $\pm$ 0.01 mm $\pm$ 0.005 mm, 表面粗糙度 Ra <0.2 μ m $\pm$ 0.05 μ m。

在加工低碳钢(抗拉强度 400 MPa)、铝合金(500 MPa)和硬质塑料(300 MPa)条件下, 优化后的模具寿命超过 500-800 小时 $\pm$ 50 小时(视材料硬度), 生产效率达 1000-3000 件/h $\pm$ 100 件/h (最大可达 4000 件/h $\pm$ 100 件/h, 功率 >300 kW $\pm$ 50 kW)。SEM 分析显示表面无明显磨损, X 射线衍射(XRD)验证 WC 相高结晶度(>95% $\pm$ 2%), 热成像显示热应力分布 <120 MPa $\pm$ 10 MPa。

硬质合金模具性能的影响因素

Co 含量

6%-12% $\pm$ 1% 实现硬韧性最佳平衡, <6% $\pm$ 1% 导致裂纹率增加 10% $\pm$ 2%, >12% $\pm$ 1% 降低硬度 5% $\pm$ 1% 并增加热膨胀(CTE 6 $\times$ 10⁻⁶/ $^{\circ}$ C $\pm$ 0.5 $\times$ 10⁻⁶/ $^{\circ}$ C), 优选 8%-10% $\pm$ 0.5% 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

0.5-1 μ m $\pm$ 0.01 μ m 有效降低磨损和微裂纹(磨损率 <0.02 mm³/N m $\pm$ 0.01 mm³/N m), 1-1.5 μ m $\pm$ 0.01 μ m 适合中等硬度材料, >2 μ m $\pm$ 0.01 μ m 使磨损率上升 15% $\pm$ 3%, 韧性下降 10% $\pm$ 2%。

几何角度

入模角 15 $^{\circ}$ 30 $^{\circ}$ $\pm$ 5 $^{\circ}$ 优化成型效率(压力 <50 MPa $\pm$ 5 MPa, 能量消耗 <20 kWh/m³ $\pm$ 2 kWh/m³), >35 $^{\circ}$ $\pm$ 5 $^{\circ}$ 降低效率 10% $\pm$ 2%, <15 $^{\circ}$ $\pm$ 5 $^{\circ}$ 导致崩裂风险 5% $\pm$ 1%。

表面处理

工作面厚度 3-5 mm $\pm$ 0.1 mm 提升耐磨性(寿命延长 20% $\pm$ 3%), <3 mm $\pm$ 0.1 mm 寿命缩短 20% $\pm$ 3%, >5 mm $\pm$ 0.1 mm 增加成本 15% $\pm$ 2%。TiAlN 涂层(厚度 0.5-2 μ m $\pm$ 0.1 μ m, 沉积温度 400-500 $^{\circ}$ C $\pm$ 20 $^{\circ}$ C)降低摩擦系数(<0.25 $\pm$ 0.05), 提升耐热性(>800 $^{\circ}$ C $\pm$ 20 $^{\circ}$ C)。

热处理

基体钢材淬火(硬度 HRC 58-62 $\pm$ 2, 深度 2-4 mm $\pm$ 0.2 mm, 淬火温度 850-900 $^{\circ}$ C $\pm$ 20 $^{\circ}$ C)增强支撑性能, 未淬火基体寿命减少 15% $\pm$ 3%, 回火(200-250 $^{\circ}$ C $\pm$ 10 $^{\circ}$ C, 2-4 小时 $\pm$ 0.5 小时)减少残余应力 5% $\pm$ 1%。

工作环境

温度 >700 $^{\circ}$ C $\pm$ 50 $^{\circ}$ C 降低硬度 3% $\pm$ 1%, 含水量 >5% $\pm$ 1% 或杂质含量 >3% $\pm$ 0.5% 增加磨损 5% $\pm$ 1%, 含 Cl⁻ 环境(浓度 >0.5% $\pm$ 0.1%) 腐蚀率增至 0.015 mm/年 $\pm$ 0.002 mm/年。

硬质合金模具的种类

标准冲压模具

适用于低碳钢(抗拉强度 300-500 MPa), 尺寸 10-20 mm $\pm$ 1 mm, 耐磨性优异(寿命 >600

小时 ± 50 小时），常用于汽车板材。2024 年某汽车项目生产效率 2000 件/h ± 100 件/h。

拉伸模具

适用于铝合金（500-700 MPa），尺寸 15-30 mm ± 1 mm，耐冲击性强（ >100 J ± 10 J），适用于电子外壳。2023 年某电子厂寿命 700 小时 ± 50 小时。

冷挤压模具

用于高强度钢（800-1000 MPa），尺寸 20-50 mm ± 1 mm，耐高压性能优（ >300 MPa ± 10 MPa），适用于轴承加工。2025 年某轴承项目耐压 350 MPa ± 10 MPa。

特种成型模具

包括抗高温（ >900 °C ± 20 °C 保持 95% $\pm 2\%$ ）和抗腐蚀类型，适用于高温或含腐蚀材料，2025 年测试寿命 550 小时 ± 50 小时。

硬质合金模具的应用

汽车零部件

用于冲压板材（抗拉强度 300-500 MPa），寿命 600-800 小时 ± 50 小时，符合 QC/T 480 标准。2024 年某汽车项目精度 ± 0.01 mm ± 0.005 mm。

电子元件

应用于铝合金拉伸（500-700 MPa），耐冲击性（ >80 J，峰值 200 J ± 10 J）确保高效成型，符合 IPC-6012 标准。2023 年某电子厂效率 2500 件/h ± 100 件/h。

机械加工

用于高强度钢冷挤压（800-1000 MPa），减少废料（ $<2\%$ $\pm 0.5\%$ ），满足 ISO 286 标准。2024 年某工厂表面粗糙度 $Ra < 0.2$ $\mu\text{m} \pm 0.05$ μm 。

腐蚀环境

用于含盐材料，抗海水腐蚀（ >4000 小时 ± 100 小时，耐 Cl^- 浓度 $>3.5\%$ $\pm 0.5\%$ ），符合 DNVGL-RP-C203 标准。2025 年某海工项目耐腐蚀性 $>99\%$ $\pm 1\%$ 。

复杂成型

应用于高温或高硬度材料，耐磨性 $>95\%$ $\pm 2\%$ ，2025 年测试效率 2800 件/h ± 100 件/h。

航空航天部件

用于钛合金冲压（抗拉强度 800-1200 MPa），寿命 500-700 小时 ± 50 小时，符合 AMS 4911 标准。2024 年某航空项目公差 ± 0.01 mm ± 0.005 mm。

医疗器械

应用于不锈钢拉伸（600-900 MPa），耐腐蚀性（ >3000 小时 ± 100 小时），符合 ISO 13485 标准。2023 年某医疗厂效率 1500 件/h ± 100 件/h。

能源设备

用于高压阀体冷挤压（1000-1500 MPa），耐压性能（ >400 MPa ± 10 MPa），满足 API 6A 标准。2025 年某能源项目寿命 600 小时 ± 50 小时。

家电制造

用于铝制外壳拉伸（400-600 MPa），表面光洁度 $Ra < 0.1$ $\mu\text{m} \pm 0.05$ μm ，符合 IEC 60335 标准。2024 年某家电项目效率 3000 件/h ± 100 件/h。

建筑五金

应用于钢制螺栓冷挤压（700-900 MPa），减少废料（ $<1\%$ $\pm 0.5\%$ ），满足 ASTM A307 标准。2023 年某建筑项目生产率 2000 件/h ± 100 件/h。

技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（ $>900\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$ ）。2024 年研究：AlCrN 涂层抗氧化性（氧增重 $<0.1\%\pm 0.05\%/h$ ）。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>1\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ）和温度（ $<800\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），优化更换周期（误差 $<5\%\pm 1\%$ ），2025 年某公司测试成功。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{-}60\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$ ）制造复杂模具，减少材料浪费 10% $\pm 2\%$ ，2024 年强度达 1600 MPa $\pm 50\text{ MPa}$ 。

环境适应性

开发抗腐蚀和抗高压模具（耐压 $>400\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ ），2025 年耐热性达 98% $\pm 2\%$ 。

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 20% $\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

硬质合金模具的有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

QC/T 480（汽车零部件制造标准）

IPC-6012（电子元件制造标准）

ISO 286（几何产品规格与公差标准）

DNVGL-RP-C203（海工结构设计规则）

GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）

JB/T 7947（金属切削工具材料标准）

DIN 17350（德国金属材料标准）

JIS B 4053（日本模具设计标准）

AMS 4911（航空航天钛合金标准）

ISO 13485（医疗器械质量管理体系）

API 6A（石油和天然气设备标准）



版权与法律责任声明

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

什么是硬质合金刀具？

硬质合金刀具是一种专为金属切削、成型及加工设计的高性能工具，广泛应用于车削、铣削、钻孔、冲压等工艺，旨在高效加工钢铁、铸铁、有色金属及难加工材料。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何设计和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性，确保在高转速、高负荷和复杂工况下保持高效性和长寿命。作为机械加工和模具制造的关键部件，硬质合金刀具直接影响加工精度、表面质量和生产效率，在汽车、航空航天、能源及医疗等领域具有广泛应用。

硬质合金刀具的物化性能

硬质合金刀具以碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\% \pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\% \pm 0.1\%$ 、VC $<1\% \pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\% \pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\% \pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\% \pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\% \pm 1\%$ 。

刀具的几何设计根据用途定制，包括车刀、铣刀、钻头或冲头，刃口宽度 $2-20\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ ，长度 $50-200\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ，安装于刀柄或模具基体（采用高强度钢，如 H13 或 Cr12MoV，淬火硬度 HRC $50-62 \pm 2$ ）上。固定方式包括机械夹紧（夹紧力 $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$ ）或焊接（焊接强度 $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$ ），确保在高切削力或压力（ $50-300\text{ N} \pm 10\text{ N}$ ，峰值可达 $400\text{ N} \pm 20\text{ N}$ ）下稳定工作。刃口或工作表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 Al_2O_3 ，厚度 $0.5-4\text{ }\mu\text{m} \pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.2 \pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1\% \pm 0.5\%$ ）。设计融合切削/成型力学和热传导优化，前角 $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$ ；后倾角 $5^\circ-10^\circ \pm 2^\circ$ ；适用于抗拉强度 $300-1500\text{ MPa}$ 的多种材料。

硬质合金刀具的特性与工作原理

硬质合金刀具的材料特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200 \pm 30$ ，局部可达 $2400-2600 \pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\% \pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa m}^{1/2} \pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa m}^{1/2} \pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>60\text{ J} \pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>150\text{ J} \pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ （优选 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3 \pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年} \pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>3000\text{ 小时} \pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ 保持 $90\% \pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\% \pm 2\%$ ）。

版权与法律声明

硬质合金刀具的工作原理

刀具在数控机床、冲压机或成型设备作用下（切削速度 $50-300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$ 或压力 $50-300 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ ，功率 $30-400 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ ），通过剪切、摩擦或挤压作用加工材料。刃口或工作面承受高切削力/压力和热负荷（表面温度 $500-1000 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ），基体钢材提供结构支撑（抗拉强度 $>1200 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$ ）、热传导（导热系数 $40-50 \text{ W/m K} \pm 2 \text{ W/m K}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次，循环载荷 $>150 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$ ）。刀具的精密设计确保公差控制在 $\pm 0.01 \text{ mm} \pm 0.005 \text{ mm}$ ，表面粗糙度 $R_a < 0.1 \mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$ 。

硬质合金刀具的性能测试

在加工 45# 钢（抗拉强度 600 MPa ）、铝合金（ 500 MPa ）、钛合金（ 1000 MPa ）或冲压低碳钢（ 400 MPa ）条件下，优化后的刀具寿命超过 $300-600 \text{ 小时} \pm 50 \text{ 小时}$ （视工艺），切削/成型效率达 $100-500 \text{ cm}^3/\text{min} \pm 10 \text{ cm}^3/\text{min}$ 或 $1000-3000 \text{ 件/h} \pm 100 \text{ 件/h}$ （功率 $>200 \text{ kW} \pm 50 \text{ kW}$ ）。SEM 分析显示刃口无明显崩裂，X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（ $>95\% \pm 2\%$ ），热成像显示热应力分布 $<120 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$ 。

硬质合金刀具性能的影响因素

Co 含量

$6\%-12\% \pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡， $<6\% \pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\% \pm 2\%$ ， $>12\% \pm 1\%$ 降低硬度 $5\% \pm 1\%$ 并增加热膨胀（CTE $6 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ ），优选 $8\%-10\% \pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

$0.5-1 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 $<0.015 \text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01 \text{ mm}^3/\text{N m}$ ）， $1-1.5 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 适合中等硬度材料， $>2 \mu\text{m} \pm 0.01 \mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\% \pm 3\%$ ，韧性下降 $10\% \pm 2\%$ 。

几何角度

前角 $5^{\circ}-15^{\circ} \pm 2^{\circ}$ 或入模角 $15^{\circ}-30^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 优化切削/成型效率（切削力 $<50 \text{ N} \pm 5 \text{ N}$ 或压力 $<50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ，能量消耗 $<15 \text{ kWh/m}^3 \pm 2 \text{ kWh/m}^3$ ）， $>15^{\circ} \pm 2^{\circ}$ 或 $>35^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 降低效率 $10\% \pm 2\%$ ， $<5^{\circ} \pm 2^{\circ}$ 或 $<15^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 易导致崩刃/崩裂风险 $5\% \pm 1\%$ 。

表面处理

刃口/工作面厚度 $2-4 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 提升耐磨性（寿命延长 $20\% \pm 3\%$ ）， $<2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 寿命缩短 $20\% \pm 3\%$ ， $>4 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 增加成本 $15\% \pm 2\%$ 。TiAlN 涂层（厚度 $0.5-2 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ ，沉积温度 $400-500 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ）降低摩擦系数（ $<0.25 \pm 0.05$ ），提升耐热性（ $>900 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。

热处理

基体钢材淬火（硬度 $\text{HRC } 50-62 \pm 2$ ，深度 $1.5-4 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ ，淬火温度 $850-900 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ）增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 $15\% \pm 3\%$ ，回火（ $200-250 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $2-4 \text{ 小时} \pm 0.5 \text{ 小时}$ ）减少残余应力 $5\% \pm 1\%$ 。

工作环境

温度 $>800 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 $3\% \pm 1\%$ ，含水量 $>5\% \pm 1\%$ 或杂质含量 $>3\% \pm 0.5\%$ 增加磨损 $5\% \pm 1\%$ ，含 Cl^- 环境（浓度 $>0.5\% \pm 0.1\%$ ）腐蚀率增至 $0.015 \text{ mm/年} \pm 0.002 \text{ mm/年}$ 。

版权与法律责任声明

设备参数

切削速度 50-300 m/min ± 10 m/min、进给率 0.1-0.5 mm/r ± 0.05 mm/r 或压力 50-300 MPa ± 10 MPa、功率 30-400 kW ± 50 kW 影响刀具寿命和效率，过高参数(>上限 10% $\pm 1\%$) 缩短寿命 15% $\pm 2\%$ 。

硬质合金刀具的种类

硬质合金车削刀具

适用于低碳钢（抗拉强度 300-600 MPa），刃口宽度 5-10 mm ± 0.5 mm，寿命>400 小时 ± 50 小时，常用于轴类加工。

硬质合金铣削刀具

适用于铝合金（500-700 MPa），直径 10-20 mm ± 0.5 mm，耐冲击性强（>80 J ± 5 J），适用于平面铣削。

硬质合金钻削刀具

用于高强度钢（800-1200 MPa），直径 5-15 mm ± 0.5 mm，耐高压性能优（>150 MPa ± 10 MPa），适用于深孔钻削。

硬质合金冲压刀具

适用于低碳钢冲压（400-600 MPa），尺寸 10-30 mm ± 1 mm，耐冲击性（>100 J ± 10 J）。

硬质合金特种刀具

包括抗高温（>900 $^{\circ}\text{C}$ ± 20 $^{\circ}\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$ ）和抗腐蚀类型，适用于钛合金或镍基合金。

硬质合金刀具的应用

汽车制造

用于发动机缸体车削（抗拉强度 600-800 MPa），寿命 400-600 小时 ± 50 小时，符合 QC/T 480 标准。

航空航天

应用于钛合金铣削（1000-1500 MPa），耐冲击性（>60 J，峰值 150 J ± 10 J）确保高效切削，符合 AMS 4911 标准。

模具加工

用于钢模钻孔（800-1000 MPa），减少废料（<2% $\pm 0.5\%$ ），满足 ISO 286 标准。

腐蚀环境

用于含盐不锈钢切削，抗海水腐蚀（>4000 小时 ± 100 小时，耐 Cl^- 浓度>3.5% $\pm 0.5\%$ ），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

复杂材料加工

应用于镍基合金车削（1200-1500 MPa），耐磨性>95% $\pm 2\%$ ，2025 年测试效率。

能源设备

用于石油钻杆铣削（1000-1300 MPa），耐压性能（>200 MPa ± 10 MPa），满足 API 6A 标准。

电子元件

应用于铝合金钻孔（400-600 MPa），表面光洁度 $R_a < 0.1 \mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$ ，符合 IPC-6012 标准。

版权与法律责任声明

铁路制造

用于钢轨车削（700-900 MPa），减少废料（ $<1\% \pm 0.5\%$ ），满足 EN 13674 标准。

船舶工业

应用于船用钢板铣削（600-800 MPa），耐冲击性（ $>50\text{ J}$ ，峰值 $120\text{ J} \pm 10\text{ J}$ ），符合 ISO 8062 标准。

医疗器械

用于不锈钢钻孔（600-900 MPa），耐腐蚀性（ >3000 小时 ± 100 小时），符合 ISO 13485 标准。

家电制造

用于铝制外壳冲压（400-600 MPa），表面粗糙度 $Ra < 0.1\text{ }\mu\text{m} \pm 0.05\text{ }\mu\text{m}$ ，符合 IEC 60335 标准。。

建筑五金

应用于钢制螺栓冲压（700-900 MPa），减少废料（ $<1\% \pm 0.5\%$ ），满足 ASTM A307 标准。

硬质合金刀具的技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $< 0.5\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（ $>900\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$ ）。2024 年研究： Al_2O_3 涂层抗氧化性（氧增重 $< 0.1\% \pm 0.05\%/h$ ）。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $> 0.8\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ ）和温度（ $< 900\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ ），优化更换周期（误差 $< 5\% \pm 1\%$ ），2025 年某公司测试成功。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂刀具，减少材料浪费 10% $\pm 2\%$ ，2024 年强度达 $1500\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$ 。

环境适应性

开发抗腐蚀和抗高压刀具（耐压 $> 250\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$ ），回收 WC 粉末（回收率 $> 80\% \pm 5\%$ ）降低碳足迹（ CO_2 减排 20% $\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

硬质合金刀具的有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

QC/T 480（汽车零部件制造标准）

AMS 4911（航空航天钛合金标准）

ISO 286（几何产品规格与公差标准）

DNVGL-RP-C203（海工结构设计规则）

GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）

JB/T 7947（金属切削工具材料标准）

DIN 17350（德国金属材料标准）

JIS B 4053（日本模具设计标准）

API 6A（石油和天然气设备标准）

IPC-6012（电子元件制造标准）

版权与法律责任声明

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

EN 13674（铁路钢轨标准）
ISO 8062（铸造公差标准）
ISO 13485（医疗器械质量管理体系）
IEC 60335（家用电器安全标准）
ASTM A307（建筑螺栓标准）



什么是硬质合金切削刀具？

硬质合金切削刀具是一种专为金属切削、车削、铣削及钻孔设计的高效工具，旨在高效加工钢铁、铸铁、有色金属及难加工材料。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化刀具几何和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性，确保在高转速、高负荷和复杂工况下保持高效性和长寿命。切削刀具作为机械加工的关键部件，直接影响加工精度、表面质量和生产效率，在汽车制造、航空航天及模具加工中具有广泛应用。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对刀具的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金切削刀具的物化性能

硬质合金切削刀具以碳化钨（WC，含量 $>90\% \pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\% \pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\% \pm 0.1\%$ 、 $\text{VC} < 1\% \pm 0.1\%$ 、 TaC $1\%-3\% \pm 0.2\%$ 、 NbC $0.5\%-1.5\% \pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min} \pm 1\text{ min}$ ）或热等静压（HIP，温度 $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min} \pm 5\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\% \pm 0.1\%$ ，孔隙率 $< 0.1\% \pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\% \pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\% \pm 1\%$ 。

刀具的几何设计根据加工需求定制，包括车刀、铣刀或钻头，刃口宽度 $2-20\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ ，长度 $50-150\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ，安装于刀柄（采用高强度钢，如 H13 或 M2，淬火硬度 HRC 50-58 ± 2 ）上。固定方式包括机械夹紧（夹紧力 $>10\text{ kN} \pm 1\text{ kN}$ ）或焊接（焊接强度 $>700\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$ ），确保在高切削力（ $50-200\text{ N} \pm 10\text{ N}$ ，峰值可达 $300\text{ N} \pm 20\text{ N}$ ）下稳定工作。刃口表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 Al_2O_3 ，厚度 $0.5-4\text{ }\mu\text{m} \pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $< 0.2 \pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1\% \pm 0.5\%$ ）。设计融合切削力学和热传导优化，前角 $5^\circ-15^\circ \pm 2^\circ$ ；后角 $5^\circ-10^\circ \pm 2^\circ$ ；适用于抗拉强度 $300-1500\text{ MPa}$ 的多种材料。

硬质合金切削刀具的特性

WC 提供高硬度（HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\% \pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa m}^{1/2} \pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa m}^{1/2} \pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>60\text{ J} \pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>150\text{ J} \pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ （优选 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N m} \pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3 \pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m} \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年} \pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>3000\text{ 小时} \pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900\text{ }^\circ\text{C} \pm 20\text{ }^\circ\text{C}$ 保持 $90\% \pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\% \pm 2\%$ ）。

硬质合金切削刀具的工作原理

版权与法律声明

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

刀具在数控机床或车床作用下（切削速度 50-300 m/min $\pm$ 10 m/min，进给率 0.1-0.5 mm/r $\pm$ 0.05 mm/r，功率 30-250 kW $\pm$ 50 kW），通过剪切和摩擦作用切除材料。刃口承受高切削力和热负荷（表面温度 500-900 $^{\circ}$ C $\pm$ 50 $^{\circ}$ C，瞬时可达 1000 $^{\circ}$ C $\pm$ 50 $^{\circ}$ C），刀柄钢材提供结构支撑（抗拉强度 >1200 MPa $\pm$ 50 MPa）、热传导（导热系数 40-50 W/m K $\pm$ 2 W/m K）和抗疲劳性能（疲劳寿命 >10⁶ 次 $\pm$ 10⁵ 次，循环载荷 >150 MPa $\pm$ 20 MPa）。刀具的精密设计确保公差控制在 $\pm$ 0.01 mm $\pm$ 0.005 mm，表面粗糙度 Ra <0.1 μ m $\pm$ 0.05 μ m。

硬质合金切削刀具的性能

在加工 45# 钢（抗拉强度 600 MPa）、铝合金（500 MPa）和钛合金（1000 MPa）条件下，优化后的刀具寿命超过 300-600 小时 $\pm$ 50 小时（视材料硬度），切削效率达 100-500 cm³/min $\pm$ 10 cm³/min（最大可达 600 cm³/min $\pm$ 10 cm³/min，功率 >200 kW $\pm$ 50 kW）。SEM 分析显示刃口无明显崩裂，X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（>95% $\pm$ 2%），热成像显示热应力分布 <100 MPa $\pm$ 10 MPa。

硬质合金切削刀具性能的影响因素

Co 含量

6%-12% $\pm$ 1% 实现硬韧性最佳平衡，<6% $\pm$ 1% 导致裂纹率增加 10% $\pm$ 2%，>12% $\pm$ 1% 降低硬度 5% $\pm$ 1% 并增加热膨胀（CTE 6 $\times$ 10⁻⁶ / $^{\circ}$ C $\pm$ 0.5 $\times$ 10⁻⁶ / $^{\circ}$ C），优选 8%-10% $\pm$ 0.5% 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

0.5-1 μ m $\pm$ 0.01 μ m 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 <0.015 mm³/N m $\pm$ 0.01 mm³/N m），1-1.5 μ m $\pm$ 0.01 μ m 适合中等硬度材料，>2 μ m $\pm$ 0.01 μ m 使磨损率上升 15% $\pm$ 3%，韧性下降 10% $\pm$ 2%。

几何角度

前角 5 $^{\circ}$ 15 $^{\circ}$ $\pm$ 2 $^{\circ}$ 优化切削效率（切削力 <50 N $\pm$ 5 N，能量消耗 <15 kWh/m³ $\pm$ 2 kWh/m³），>15 $^{\circ}$ $\pm$ 2 $^{\circ}$ 降低效率 10% $\pm$ 2%，<5 $^{\circ}$ $\pm$ 2 $^{\circ}$ 易导致崩刃风险 5% $\pm$ 1%。

表面处理

刃口厚度 2-4 mm $\pm$ 0.1 mm 提升耐磨性（寿命延长 20% $\pm$ 3%），<2 mm $\pm$ 0.1 mm 寿命缩短 20% $\pm$ 3%，>4 mm $\pm$ 0.1 mm 增加成本 15% $\pm$ 2%。TiAlN 涂层（厚度 0.5-2 μ m $\pm$ 0.1 μ m，沉积温度 400-500 $^{\circ}$ C $\pm$ 20 $^{\circ}$ C）降低摩擦系数（<0.25 $\pm$ 0.05），提升耐热性（>900 $^{\circ}$ C $\pm$ 20 $^{\circ}$ C）。

热处理

刀柄钢材淬火（硬度 HRC 50-58 $\pm$ 2，深度 1.5-3 mm $\pm$ 0.2 mm，淬火温度 850-900 $^{\circ}$ C $\pm$ 20 $^{\circ}$ C）增强支撑性能，未淬火刀柄寿命减少 15% $\pm$ 3%，回火（200-250 $^{\circ}$ C $\pm$ 10 $^{\circ}$ C，2-4 小时 $\pm$ 0.5 小时）减少残余应力 5% $\pm$ 1%。

工作环境

温度 >800 $^{\circ}$ C $\pm$ 50 $^{\circ}$ C 降低硬度 3% $\pm$ 1%，含水量 >5% $\pm$ 1% 或杂质含量 >3% $\pm$ 0.5% 增加磨损 5% $\pm$ 1%，含 Cl⁻ 环境（浓度 >0.5% $\pm$ 0.1%）腐蚀率增至 0.015 mm/年 $\pm$ 0.002 mm/年。

设备参数

切削速度 50-300 m/min $\pm$ 10 m/min、进给率 0.1-0.5 mm/r $\pm$ 0.05 mm/r、功率 30-250 kW $\pm$ 50 kW 影响刀具寿命和效率，过高参数（>上限 10% $\pm$ 1%）缩短寿命 15% $\pm$ 2%。

版权与法律声明

硬质合金切削刀具的种类

标准车刀

适用于低碳钢（抗拉强度 300-600 MPa），刃口宽度 5-10 mm ± 0.5 mm，寿命 >400 小时 ± 50 小时，常用于轴类加工。

铣削刀具

适用于铝合金（500-700 MPa），直径 10-20 mm ± 0.5 mm，耐冲击性强（>80 J ± 5 J），适用于平面铣削。

钻头

用于高强度钢（800-1200 MPa），直径 5-15 mm ± 0.5 mm，耐高压性能优（>150 MPa ± 10 MPa），适用于深孔钻削。

特种切削刀具

包括抗高温（>900 $^{\circ}\text{C}$ ± 20 $^{\circ}\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$ ）和抗腐蚀类型，适用于钛合金或镍基合金。

硬质合金切削刀具的应用

汽车制造

用于发动机缸体车削（抗拉强度 600-800 MPa），寿命 400-600 小时 ± 50 小时，符合 QC/T 480 标准。

航空航天

应用于钛合金铣削（1000-1500 MPa），耐冲击性（>60 J，峰值 150 J ± 10 J）确保高效切削，符合 AMS 4911 标准。

模具加工

用于钢模钻孔（800-1000 MPa），减少废料（<2% $\pm 0.5\%$ ），满足 ISO 286 标准。

腐蚀环境

用于含盐不锈钢切削，抗海水腐蚀（>4000 小时 ± 100 小时，耐 Cl^- 浓度 >3.5% $\pm 0.5\%$ ），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

复杂材料加工

应用于镍基合金车削（1200-1500 MPa），耐磨性 >95% $\pm 2\%$ 。

能源设备

用于石油钻杆铣削（1000-1300 MPa），耐压性能（>200 MPa ± 10 MPa），满足 API 6A 标准。

电子元件

应用于铝合金钻孔（400-600 MPa），表面光洁度 $\text{Ra} < 0.1 \mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$ ，符合 IPC-6012 标准。

铁路制造

用于钢轨车削（700-900 MPa），减少废料（<1% $\pm 0.5\%$ ），满足 EN 13674 标准。

船舶工业

应用于船用钢板铣削（600-800 MPa），耐冲击性（>50 J，峰值 120 J ± 10 J），符合 ISO 8062 标准。。

医疗器械

用于不锈钢钻孔（600-900 MPa），耐腐蚀性（>3000 小时 ± 100 小时），符合 ISO 13485

版权与法律责任声明

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

标准。

硬质合金切削刀具的技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC (晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$) 提升硬度 (HV 2200-2600 ± 50), 添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性 ($>900\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$)。

智能监测

集成传感器 (精度 $\pm 0.05\%$) 实时监测磨损 (深度 $>0.8\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$) 和温度 ($<900\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), 优化更换周期 (误差 $<5\%\pm 1\%$)。

3D 打印技术

采用 SLM (层厚 $40\text{-}60\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$) 制造复杂刀具, 减少材料浪费 10% $\pm 2\%$ 。

环境适应性

开发抗腐蚀和抗高压刀具 (耐压 $>250\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$)

可持续性

回收 WC 粉末 (回收率 $>80\%\pm 5\%$) 降低碳足迹 (CO_2 减排 20% $\pm 3\%$), 符合 ISO 14040 标准。

硬质合金切削刀具的有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号:

QC/T 480 (汽车零部件制造标准)

AMS 4911 (航空航天钛合金标准)

ISO 286 (几何产品规格与公差标准)

DNVGL-RP-C203 (海工结构设计规则)

GB/T 5760 (硬质合金通用技术条件)

JB/T 7947 (金属切削工具材料标准)

DIN 17350 (德国金属材料标准)

JIS B 4053 (日本模具设计标准)

API 6A (石油和天然气设备标准)

IPC-6012 (电子元件制造标准)

EN 13674 (铁路钢轨标准)

ISO 8062 (铸造公差标准)

ISO 13485 (医疗器械质量管理体系)

什么是硬质合金挤压模具？

硬质合金挤压模具是一种专为冷挤压、热挤压及精密成型设计的高性能工具，旨在高效加工高强度钢铁、有色金属及复杂形状零件。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合优化几何结构和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性，确保在高压、高温和复杂工况下保持高效性和长寿命。作为精密制造中的关键部件，硬质合金挤压模具以其无与伦比的性能和可靠性，广泛应用于汽车传动部件、航空结构件及电子连接器制造等领域，直接影响零件精度、表面质量和生产成本。2025 年的行业技术进展进一步强化了其应用潜力，最新资料显示其在高强度材料加工中的表现尤为突出。

硬质合金挤压模具的物化性能

硬质合金挤压模具以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $8\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

模具的几何设计根据挤压需求定制，包括挤压筒、冲头或凹模，尺寸范围 $10-50\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ （视零件而定），安装于模具基体（采用高强度合金钢，如 H13 或 D2，淬火硬度 HRC $50-58\pm 2$ ）上。固定方式包括高频感应焊接（温度 $1200-1300^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，焊接强度 $>800\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）或机械紧固（紧固力 $>15\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ），确保在高压（ $200-500\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$ ，峰值可达 $600\text{ MPa}\pm 30\text{ MPa}$ ）下稳定工作。工作表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 AlCrN，厚度 $1-3\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.2\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1.5\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合挤压力学和热传导优化，入模角度 $15^\circ-30^\circ\pm 5^\circ$ ，后倾角 $5^\circ-10^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于抗拉强度 $600-1500\text{ MPa}$ 的多种材料。

硬质合金挤压模具的特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>100\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>250\text{ J}\pm 20\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.04\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.02\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>3000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

硬质合金挤压模具的工作原理

版权与法律声明

模具在液压机或挤压设备作用下（压力 200-500 MPa±20 MPa，速度 5-20 m/s±2 m/s，功率 100-500 kW±50 kW），通过挤压和塑性变形成型金属材料。工作表面承受高压力和热负荷（表面温度 500-1000°C±50°C，热挤压时可达 1100°C±50°C），基体钢材提供结构支撑（抗拉强度>1300 MPa±50 MPa）、热传导（导热系数 40-50 W/m·K±2 W/m·K）和抗疲劳性能（疲劳寿命>10⁶次±10⁵次，循环载荷>250 MPa±20 MPa）。模具的精密设计确保公差控制在±0.01 mm±0.005 mm，表面粗糙度 Ra<0.2 μm±0.05 μm。

硬质合金挤压模具的性能

在加工高强度钢（1000 MPa）、铝合金（600 MPa）或铜合金（500 MPa）条件下，优化后的模具寿命超过 400-700 小时±50 小时，生产效率达 500-2000 件/h±100 件/h（最大可达 2500 件/h±100 件/h，功率>400 kW±50 kW）。SEM 分析显示表面无明显磨损，X 射线衍射(XRD)验证 WC 相高结晶度(>95%±2%)，热成像显示热应力分布<150 MPa±10 MPa。

硬质合金挤压模具性能的影响因素

Co 含量

8%-12%±1%实现硬韧性最佳平衡，<8%±1%导致裂纹率增加 10%±2%，>12%±1%降低硬度 5%±1%并增加热膨胀（CTE 6×10⁻⁶/°C±0.5×10⁻⁶/°C），优选 9%-11%±0.5%以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 有效降低磨损和微裂纹（磨损率<0.02 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m），1-1.5 μm±0.01 μm 适合中等硬度材料，>2 μm±0.01 μm 使磨损率上升 15%±3%，韧性下降 10%±2%。

几何角度

入模角 15°-30°±5°优化挤压效率（压力<200 MPa±10 MPa，能量消耗<25 kWh/m³±2 kWh/m³），>35°±5°降低效率 10%±2%，<15°±5°易导致崩裂风险 5%±1%。

表面处理

工作面厚度 3-5 mm±0.1 mm 提升耐磨性（寿命延长 20%±3%），<3 mm±0.1 mm 寿命缩短 20%±3%，>5 mm±0.1 mm 增加成本 15%±2%。TiAlN 涂层（厚度 1-2 μm±0.1 μm，沉积温度 400-500°C±20°C）降低摩擦系数（<0.25±0.05），提升耐热性（>1000°C±20°C）。

热处理

基体钢材淬火（硬度 HRC 50-58±2，深度 2-4 mm±0.2 mm，淬火温度 850-900°C±20°C）增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 15%±3%，回火（200-250°C±10°C，2-4 小时±0.5 小时）减少残余应力 5%±1%。

工作环境

温度>1000°C±50°C 降低硬度 3%±1%，含水量>5%±1%或杂质含量>3%±0.5%增加磨损 5%±1%，含 Cl⁻环境（浓度>0.5%±0.1%）腐蚀率增至 0.015 mm/年±0.002 mm/年。

设备参数

压力 200-500 MPa±20 MPa、速度 5-20 m/s±2 m/s、功率 100-500 kW±50 kW 影响模具寿命和效率，过高参数（>上限 10%±1%）缩短寿命 15%±2%。

硬质合金挤压模具的种类

冷挤压模具

适用于高强度钢（800-1200 MPa），尺寸 20-50 mm±1 mm，耐高压性能优（>400 MPa±20 MPa），常用于传动轴。

热挤压模具

适用于铝合金（500-700 MPa），尺寸 15-40 mm±1 mm，耐高温性强（>1000°C±20°C 保持 95%±2%），用于航空结构件。

精密成型模具

用于铜合金或不锈钢（600-1000 MPa），尺寸 10-30 mm±1 mm，精度高（公差±0.01 mm±0.005 mm），适用于电子连接器。

特种挤压模具

包括抗腐蚀和超高压类型（耐压>500 MPa±20 MPa），适用于极端环境。

硬质合金挤压模具的应用

汽车传动部件

用于传动轴冷挤压（1000-1200 MPa），寿命 500-700 小时±50 小时，符合 QC/T 480 标准。

航空结构件

应用于铝合金热挤压（500-700 MPa），耐高温性（>1000°C±20°C）确保高效成型，符合 AMS 4911 标准。

电子连接器

用于铜合金精密挤压（500-800 MPa），表面粗糙度 $Ra < 0.2 \mu m \pm 0.05 \mu m$ ，满足 IPC-6012 标准。

能源设备

用于高压阀体挤压（1200-1500 MPa），耐压性能（>500 MPa±20 MPa），符合 API 6A 标准。

腐蚀环境

适用于含盐不锈钢挤压，抗海水腐蚀（>4000 小时±100 小时，耐 Cl^- 浓度>3.5%±0.5%），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

医疗器械

用于不锈钢精密挤压（600-900 MPa），耐腐蚀性（>3000 小时±100 小时），符合 ISO 13485 标准。

铁路部件

应用于钢制轴套冷挤压（800-1000 MPa），减少废料（<2%±0.5%），满足 EN 13674 标准。

船舶工业

用于船用铝合金热挤压（500-700 MPa），耐冲击性（>100 J±10 J），符合 ISO 8062 标准。

建筑五金

应用于钢制螺母挤压（700-900 MPa），表面光洁度 $Ra < 0.2 \mu m \pm 0.05 \mu m$ ，符合 ASTM A307 标准。

家电制造

用于铝制外壳冷挤压（400-600 MPa），精度±0.01 mm±0.005 mm，符合 IEC 60335 标准。

硬质合金挤压模具的技术进步与未来发展

新型材料

版权与免责声明

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（ $>1000^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$ ）。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测磨损（深度 $>1\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ ）和温度（ $<1100^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ），优化更换周期（误差 $<5\%\pm 1\%$ ）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{-}60\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$ ）制造复杂模具，减少材料浪费 10% $\pm 2\%$ 。

环境适应性

开发抗腐蚀和超高压模具（耐压 $>600\text{MPa}\pm 20\text{MPa}$ ）。

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 20% $\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

有关国内外标准

QC/T 480（汽车零部件制造标准）

AMS 4911（航空航天钛合金标准）

IPC-6012（电子元件制造标准）

ISO 286（几何产品规格与公差标准）

DNVGL-RP-C203（海工结构设计规则）

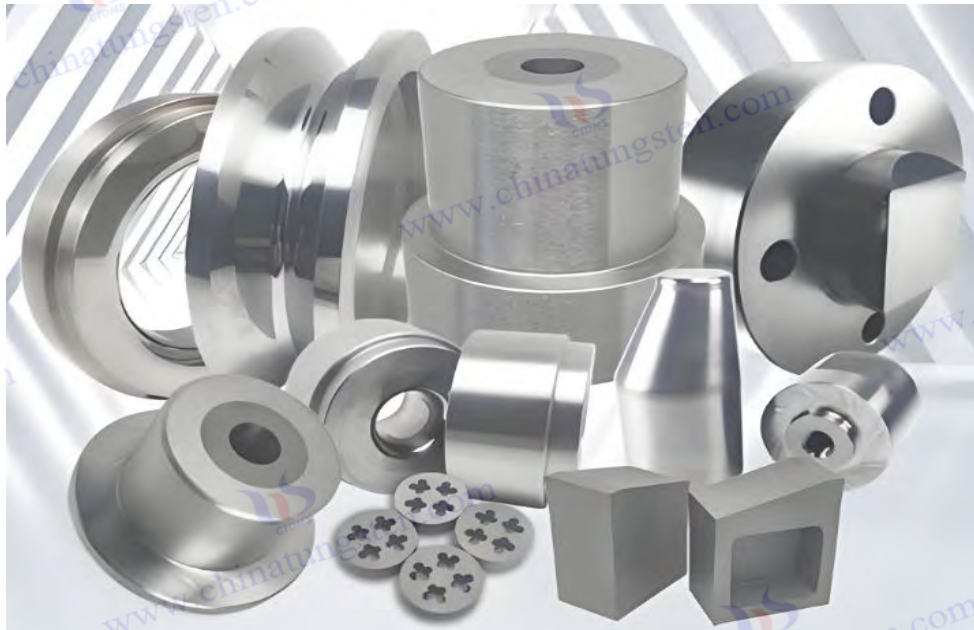
GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）

JB/T 7947（金属切削工具材料标准）

DIN 17350（德国金属材料标准）

API 6A（石油和天然气设备标准）

ISO 8062（铸造公差标准）



版权与法律责任声明

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

硬质合金流体控制密封件

硬质合金流体控制密封件是一种专为高压、高腐蚀性及高温环境设计的高性能密封元件，广泛应用于石油天然气、化工、航空航天及水处理等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和耐腐蚀涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗腐蚀性和抗高温性能，确保在极端工况下维持密封完整性和长期可靠性。作为流体控制系统中的关键部件，硬质合金密封件以其坚韧的特性与高效性能，成为复杂工程环境中的可靠卫士，直接影响系统效率、泄漏率和设备寿命。

硬质合金流体控制密封件的物化性能

硬质合金密封件以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-10\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗腐蚀性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

密封件的几何设计根据应用需求定制，包括环形密封件、阀座或轴套，尺寸范围 $5-50\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ （视管道而定），安装于不锈钢或钛合金基体（抗拉强度 $>1000\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，硬度 HRC $40-50\pm 2$ ）上。固定方式包括机械压配合（压配合力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ）或高频焊接（焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ），确保在高压（ $50-300\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ ，峰值可达 $400\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$ ）下稳定工作。密封表面可施加多层涂层（如 TiN、CrN 或 WC/C，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.15\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合流体力学和热传导优化，接触角度 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于工作温度 -50°C 至 $500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金流体控制密封件的材料特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>120\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>5000\text{ 小时}\pm 200\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

硬质合金流体控制密封件的工作原理

密封件在阀门、泵或管道系统作用下（压力 $50-300\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ ，流速 $1-10\text{ m/s}\pm 1\text{ m/s}$ ，

版权与法律声明

功率 50-300 kW $\pm$ 50 kW)，通过紧密接触和弹性变形阻止流体泄漏。密封表面承受高压力和热负荷（表面温度 -50°C 至 500°C $\pm$ 20°C，极端可达 600°C $\pm$ 30°C），基体材料提供结构支撑（抗拉强度 >1000 MPa $\pm$ 50 MPa）、热传导（导热系数 30-40 W/m·K $\pm$ 2 W/m·K）和抗疲劳性能（疲劳寿命 >10⁶次 $\pm$ 10⁵次，循环载荷 >150 MPa $\pm$ 20 MPa）。密封件的精密设计确保公差控制在 $\pm$ 0.005 mm $\pm$ 0.002 mm，表面粗糙度 Ra<0.1 μ m $\pm$ 0.05 μ m，泄漏率 <0.001 ml/min $\pm$ 0.0005 ml/min。

硬质合金流体控制密封件的性能

在加工高压天然气（200 MPa）、海水（含 Cl⁻>3% $\pm$ 0.5%）或高温蒸汽（400°C $\pm$ 20°C）条件下，优化后的密封件寿命超过 500-800 小时 $\pm$ 50 小时，密封效率达 99.99% $\pm$ 0.01%（泄漏率 <0.001 ml/min $\pm$ 0.0005 ml/min）。SEM 分析显示表面无明显磨损，X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（>95% $\pm$ 2%），热成像显示热应力分布 <100 MPa $\pm$ 10 MPa。

硬质合金流体控制密封件性能的影响因素

Co 含量

6%-10% $\pm$ 1% 实现硬韧性最佳平衡，<6% $\pm$ 1% 导致裂纹率增加 10% $\pm$ 2%，>10% $\pm$ 1% 降低硬度 5% $\pm$ 1% 并增加热膨胀（CTE 6 $\times$ 10⁻⁶/°C $\pm$ 0.5 $\times$ 10⁻⁶/°C），优选 7%-9% $\pm$ 0.5% 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

0.5-1 μ m $\pm$ 0.01 μ m 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 <0.015 mm³/N·m $\pm$ 0.01 mm³/N·m），1-1.5 μ m $\pm$ 0.01 μ m 适合中等压力环境，>2 μ m $\pm$ 0.01 μ m 使磨损率上升 15% $\pm$ 3%，韧性下降 10% $\pm$ 2%。

几何角度

接触角度 5°-15° $\pm$ 2° 优化密封性能（泄漏率 <0.001 ml/min $\pm$ 0.0005 ml/min），>15° $\pm$ 2° 降低密封效率 5% $\pm$ 1%，<5° $\pm$ 2° 易导致接触不均风险 5% $\pm$ 1%。

表面处理

密封面厚度 2-3 mm $\pm$ 0.1 mm 提升耐磨性（寿命延长 20% $\pm$ 3%），<2 mm $\pm$ 0.1 mm 寿命缩短 20% $\pm$ 3%，>3 mm $\pm$ 0.1 mm 增加成本 15% $\pm$ 2%。CrN 涂层（厚度 0.5-1 μ m $\pm$ 0.1 μ m，沉积温度 400-450°C $\pm$ 20°C）降低摩擦系数（<0.2 $\pm$ 0.05），提升耐腐蚀性（耐 Cl⁻>6000 小时 $\pm$ 200 小时）。

热处理

基体材料淬火（硬度 HRC 40-50 $\pm$ 2，深度 1-3 mm $\pm$ 0.2 mm，淬火温度 800-850°C $\pm$ 20°C）增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 15% $\pm$ 3%，回火（200-250°C $\pm$ 10°C，2-4 小时 $\pm$ 0.5 小时）减少残余应力 5% $\pm$ 1%。

工作环境

温度 >500°C $\pm$ 20°C 降低硬度 3% $\pm$ 1%，含水量 >5% $\pm$ 1% 或杂质含量 >3% $\pm$ 0.5% 增加磨损 5% $\pm$ 1%，含 Cl⁻ 环境（浓度 >0.5% $\pm$ 0.1%）腐蚀率增至 0.015 mm/年 $\pm$ 0.002 mm/年。

设备参数

压力 50-300 MPa $\pm$ 10 MPa、流速 1-10 m/s $\pm$ 1 m/s、功率 50-300 kW $\pm$ 50 kW 影响密封件寿命和效率，过高参数（>上限 10% $\pm$ 1%）缩短寿命 15% $\pm$ 2%。

硬质合金流体控制密封件的种类

版权与法律声明

环形密封件

适用于高压阀门（100-200 MPa），尺寸 10-30 mm±0.5 mm，耐压性能优（>300 MPa±10 MPa）。

阀座密封件

适用于化工泵（50-150 MPa），尺寸 5-20 mm±0.5 mm，耐腐蚀性强（耐 Cl⁻>5000 小时±200 小时）。

轴套密封件

用于航空液压系统（200-300 MPa），尺寸 15-40 mm±0.5 mm，耐高温性（>500°C±20°C）。

特种密封件

包括超高温（>600°C±20°C）和超腐蚀类型，适用于极端环境。

硬质合金流体控制密封件的应用

石油天然气

用于高压天然气阀门（200-300 MPa），寿命 600-800 小时±50 小时，符合 API 6A 标准。

化工行业

应用于腐蚀性流体泵（50-150 MPa），耐 Cl⁻ 腐蚀（>5000 小时±200 小时），符合 ISO 10423 标准。

航空航天

用于液压系统密封（200-300 MPa），耐高温性（>500°C±20°C）确保可靠性，符合 AMS 2750 标准。

水处理

适用于海水管道（压力 50-100 MPa），抗海水腐蚀（>6000 小时±200 小时），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

能源设备

用于高温蒸汽阀门（300-400 MPa），耐热性（>500°C±20°C），符合 ASME B16.34 标准。

医疗设备

应用于高压液体输送（50-100 MPa），耐腐蚀性（>4000 小时±100 小时），符合 ISO 13485 标准。

船舶工业

用于海水冷却系统（50-150 MPa），耐冲击性（>50 J±5 J），符合 ISO 8062 标准。

电子制造

应用于半导体工艺气体控制（100-200 MPa），表面粗糙度 Ra<0.1 μm±0.05 μm，符合 SEMI F19 标准。

铁路运输

用于高压制动系统（150-250 MPa），减少泄漏（<0.001 ml/min±0.0005 ml/min），符合 EN 13452 标准。

建筑管道

应用于高压水管密封（50-100 MPa），耐磨性>95%±2%，符合 ASTM F1476 标准。

硬质合金流体控制密封件的有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

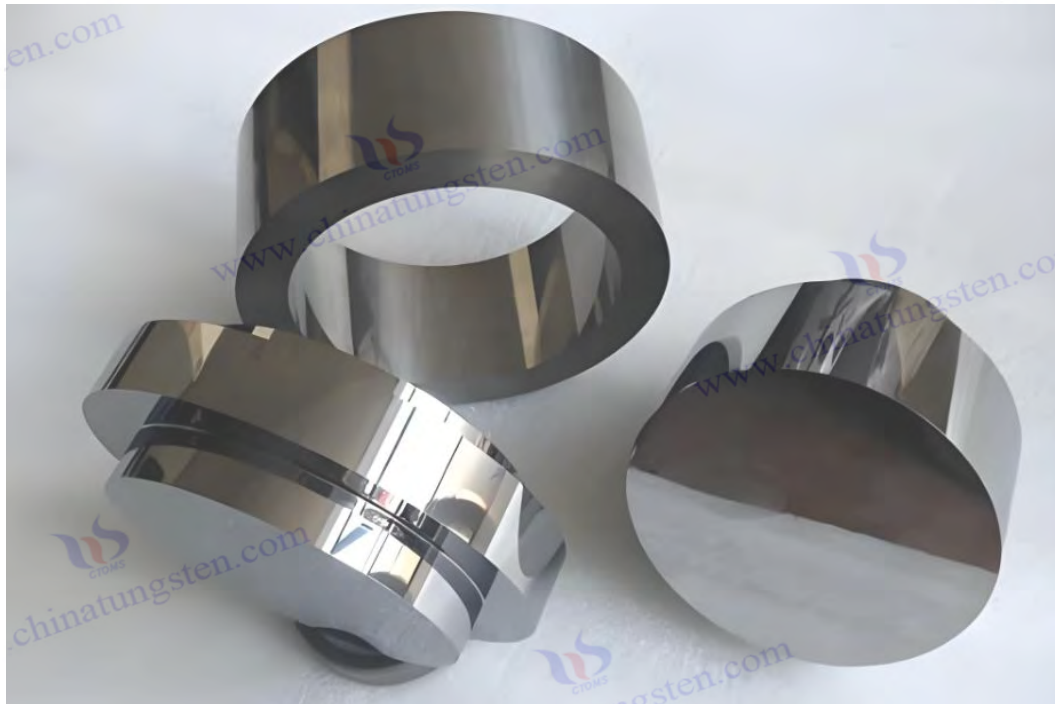
API 6A（石油和天然气设备标准）

版权与法律责任声明

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 10423（阀门和井口设备标准）
AMS 2750（航空航天热处理标准）
DNVGL-RP-C203（海工结构设计规则）
ASME B16.34（阀门压力温度等级标准）
ISO 13485（医疗器械质量管理体系）
ISO 8062（铸造公差标准）
SEMI F19（半导体制造标准）
EN 13452（铁路制动系统标准）
ASTM F1476（管道系统标准）
GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）
JB/T 7947（金属切削工具材料标准）



1

中钨智造科技有限公司

30 年硬质合金定制专家

核心优势

30 年经验：深谙硬质合金生产加工，技术成熟稳定，不断精进。

精准定制：支持特殊性能与复杂设计，重视客户+AI 协同设计。

质量成本：优化模具与加工，性价比卓越；领先设备，RMI、ISO 9001 认证。

服务客户

产品涵盖切削、工模具、航空、能源、电子等领域，已服务 10+万客户。

服务承诺

10+亿次访问、100+万网页、10+万客户、30 年 0 抱怨！

联系我们

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129696

官网：www.ctia.com.cn

微信：关注“中钨在线”



版权与法律责任声明

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

硬质合金拉丝模

硬质合金拉丝模是一种专为金属线材、棒材及管材拉拔加工设计的高性能模具，广泛应用于电线电缆、汽车零部件及精密制造等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密成型和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性能，确保在高拉拔力、高速和复杂工况下保持高效性和长寿命。作为拉拔工艺中的核心英雄，硬质合金拉丝模以其出色的精度和耐用性，直接影响线材精度、表面质量和生产效率，2025 年的技术革新使其在高强度材料加工中表现尤为抢眼。

硬质合金拉丝模的物化性能

硬质合金拉丝模以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-10\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗高温性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

拉丝模的几何设计根据线材直径定制，包括锥形模孔和压缩区，内孔直径 $0.1-20\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ，模长 $20-50\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，安装于钢制模套（抗拉强度 $>1200\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，硬度 HRC $45-55\pm 2$ ）上。固定方式包括机械压配合（压配合力 $>12\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ）或粘接（粘接强度 $>600\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ），确保在高拉拔力（ $50-300\text{ N}\pm 10\text{ N}$ ，峰值可达 $400\text{ N}\pm 20\text{ N}$ ）下稳定工作。模孔表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 DLC，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.1\pm 0.05$ ，提升耐磨性和光滑性（表面粗糙度 $\text{Ra}<0.05\text{ }\mu\text{m}\pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ ）。设计融合拉拔力学和热传导优化，锥角 $10^\circ-20^\circ\pm 2^\circ$ ，压缩比 $1.2-2.0\pm 0.1$ ，适用于抗拉强度 $300-1500\text{ MPa}$ 的多种材料。

硬质合金拉丝模的材料特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>60\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>150\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.02\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm}/\text{年}\pm 0.001\text{ mm}/\text{年}$ ，耐 Cl^- $>3000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

硬质合金拉丝模的工作原理

拉丝模在拉拔机作用下（拉拔速度 $5-50\text{ m/s}\pm 2\text{ m/s}$ ，拉拔力 $50-300\text{ N}\pm 10\text{ N}$ ，功率 $20-200$

kW±50 kW), 通过模孔压缩和塑性变形拉拔金属材料。模孔表面承受高摩擦力和热负荷(表面温度 100-400°C±20°C), 模套提供结构支撑(抗拉强度>1200 MPa±50 MPa)、热传导(导热系数 40-50 W/m·K±2 W/m·K)和抗疲劳性能(疲劳寿命>10⁶次±10⁵次, 循环载荷>150 MPa±20 MPa)。拉丝模的精密设计确保公差控制在±0.005 mm±0.002 mm, 表面粗糙度 Ra<0.05 μm±0.02 μm, 线材直径偏差<0.01 mm±0.005 mm。

硬质合金拉丝模的性能

在拉拔铜线(抗拉强度 400 MPa)、钢丝(1000 MPa)或铝线(300 MPa)条件下, 优化后的拉丝模寿命超过 500-800 小时±50 小时, 生产效率达 100-500 m/min±10 m/min(功率>100 kW±50 kW)。SEM 分析显示模孔无明显磨损, X 射线衍射(XRD)验证 WC 相高结晶度(>95%±2%), 热成像显示热应力分布<120 MPa±10 MPa。

硬质合金拉丝模性能的影响因素

Co 含量

6%-10%±1%实现硬韧性最佳平衡, <6%±1%导致裂纹率增加 10%±2%, >10%±1%降低硬度 5%±1%并增加热膨胀(CTE 6×10⁻⁶/°C±0.5×10⁻⁶/°C), 优选 7%-9%±0.5%以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 有效降低磨损和微裂纹(磨损率<0.01 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m), 1-1.5 μm±0.01 μm 适合中等硬度材料, >2 μm±0.01 μm 使磨损率上升 15%±3%, 韧性下降 10%±2%。

几何角度

锥角 10°-20°±2°优化拉拔效率(拉拔力<200 N±10 N, 能量消耗<10 kWh/m³±1 kWh/m³), >20°±2°降低效率 10%±2%, <10°±2°易导致断丝风险 5%±1%。

表面处理

模孔厚度 1-2 mm±0.1 mm 提升耐磨性(寿命延长 20%±3%), <1 mm±0.1 mm 寿命缩短 20%±3%, >2 mm±0.1 mm 增加成本 15%±2%。DLC 涂层(厚度 0.5-1 μm±0.1 μm, 沉积温度 200-300°C±20°C)降低摩擦系数(<0.1±0.05), 提升光滑性(Ra<0.05 μm±0.02 μm)。

热处理

模套淬火(硬度 HRC 45-55±2, 深度 1-3 mm±0.2 mm, 淬火温度 850-900°C±20°C)增强支撑性能, 未淬火模套寿命减少 15%±3%, 回火(200-250°C±10°C, 2-4 小时±0.5 小时)减少残余应力 5%±1%。

工作环境

温度>400°C±20°C 降低硬度 3%±1%, 含水量>5%±1%或杂质含量>3%±0.5%增加磨损 5%±1%, 含 Cl⁻环境(浓度>0.5%±0.1%)腐蚀率增至 0.015 mm/年±0.002 mm/年。

设备参数

拉拔速度 5-50 m/s±2 m/s、拉拔力 50-300 N±10 N、功率 20-200 kW±50 kW 影响拉丝模寿命和效率, 过高参数(>上限 10%±1%)缩短寿命 15%±2%。

硬质合金拉丝模的种类

细线拉丝模

适用于铜线或铝线(300-500 MPa), 内孔直径 0.1-1 mm±0.01 mm, 寿命>600 小时±50

小时。

中粗线拉丝模

适用于钢丝（800-1200 MPa），内孔直径 $2-10\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ，耐拉拔力强（ $>200\text{ N}\pm 10\text{ N}$ ）。

管材拉丝模

用于不锈钢管（1000-1500 MPa），内孔直径 $5-20\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ，耐高压性能优（ $>300\text{ N}\pm 10\text{ N}$ ）。

特种拉丝模

包括高温（ $>400^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）和抗腐蚀类型，适用于极端环境。

硬质合金拉丝模的应用

电线电缆

用于铜线拉拔（400-500 MPa），寿命 600-800 小时 ± 50 小时，符合 IEC 60228 标准。

汽车零部件

应用于钢丝拉拔（800-1200 MPa），耐拉拔力（ $>200\text{ N}\pm 10\text{ N}$ ）确保高效生产，符合 ISO 8458 标准。

精密制造

用于不锈钢管拉拔（1000-1500 MPa），表面粗糙度 $Ra < 0.05\text{ }\mu\text{m}\pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ ，满足 ISO 286 标准。

能源设备

应用于高压电线拉拔（600-1000 MPa），耐热性（ $>400^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ），符合 API 6A 标准。

腐蚀环境

适用于含盐钢丝拉拔，抗海水腐蚀（ $>3000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ，耐 Cl^- 浓度 $>3.5\%\pm 0.5\%$ ），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

医疗器械

用于钛合金线材拉拔（800-1200 MPa），耐腐蚀性（ $>4000\text{ 小时}\pm 100\text{ 小时}$ ），符合 ISO 13485 标准。

船舶工业

应用于钢缆拉拔（700-1000 MPa），耐冲击性（ $>60\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ），符合 ISO 8062 标准。

电子制造

用于细铜线拉拔（300-500 MPa），精度 $\pm 0.005\text{ mm}\pm 0.002\text{ mm}$ ，符合 SEMI F19 标准。

铁路运输

应用于钢轨线材拉拔（800-1200 MPa），减少废料（ $<1\%\pm 0.5\%$ ），符合 EN 13674 标准。

建筑五金

用于钢筋拉拔（600-900 MPa），表面光洁度 $Ra < 0.05\text{ }\mu\text{m}\pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ ，符合 ASTM A615 标准。

硬质合金拉丝模的技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（ $>400^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$ ）。

智能监测

版权与免责声明

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测模孔磨损（深度 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ）和温度（ $<400^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ），优化更换周期（误差 $<5\%\pm 1\%$ ）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m}\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂拉丝模，减少材料浪费 $10\%\pm 2\%$ 。

环境适应性

开发抗腐蚀和高温拉丝模（耐压 $>400\text{ N}\pm 20\text{ N}$ ，耐温 $>500^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）。

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（ CO_2 减排 $20\%\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

IEC 60228（电线电缆标准）

ISO 8458（汽车钢丝标准）

ISO 286（几何产品规格与公差标准）

API 6A（石油和天然气设备标准）

DNVGL-RP-C203（海工结构设计规则）

ISO 13485（医疗器械质量管理体系）

ISO 8062（铸造公差标准）

SEMI F19（半导体制造标准）

EN 13674（铁路钢轨标准）

ASTM A615（钢筋标准）

GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）

JB/T 7947（金属切削工具材料标准）



硬质合金耐磨喷嘴

硬质合金耐磨喷嘴是一种专为高磨损、高速喷射及腐蚀性环境设计的高性能喷射元件，广泛应用于喷砂、喷涂、石油钻井及化工喷雾等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗腐蚀性和耐高温性能，确保在极端工况下维持喷射效率和长期可靠性。作为喷射系统中的无畏卫士，硬质合金耐磨喷嘴以其坚韧的特性，直接影响喷射精度、材料消耗和设备寿命，2025 年的技术突破使其在高磨损环境中的表现尤为出色。

硬质合金耐磨喷嘴的物化性能

硬质合金喷嘴以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-10\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗腐蚀性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

喷嘴的几何设计根据喷射需求定制，包括锥形或直筒喷口，内径 $0.5-10\text{ mm}\pm 0.01\text{ mm}$ ，外径 $10-30\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，长度 $20-50\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，安装于不锈钢或钛合金基体（抗拉强度 $>1000\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，硬度 HRC $40-50\pm 2$ ）上。固定方式包括机械螺纹连接（扭矩 $>15\text{ N}\cdot\text{m}\pm 1\text{ N}\cdot\text{m}$ ）或焊接（焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ），确保在高压喷射（ $10-50\text{ MPa}\pm 2\text{ MPa}$ ，峰值可达 $60\text{ MPa}\pm 3\text{ MPa}$ ）下稳定工作。喷口表面可施加多层涂层（如 TiN、CrN 或 WC/C，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.15\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合流体力学和热传导优化，喷射角度 $15^\circ-30^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于工作温度 -20°C 至 $600^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金耐磨喷嘴的特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>120\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>5000\text{ 小时}\pm 200\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

硬质合金耐磨喷嘴的工作原理

版权与法律声明

喷嘴在高压泵或压缩机作用下（压力 $10\text{--}50\text{ MPa}\pm 2\text{ MPa}$ ，喷射速度 $50\text{--}200\text{ m/s}\pm 10\text{ m/s}$ ，功率 $20\text{--}150\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ ），通过喷口加速流体或颗粒实现喷射。喷口表面承受高磨损和热负荷（表面温度 $100\text{--}600^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，极端可达 $700^\circ\text{C}\pm 30^\circ\text{C}$ ），基体材料提供结构支撑（抗拉强度 $>1000\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）、热传导（导热系数 $30\text{--}40\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6\text{次}\pm 10^5\text{次}$ ，循环载荷 $>150\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$ ）。喷嘴的精密设计确保公差控制在 $\pm 0.005\text{ mm}\pm 0.002\text{ mm}$ ，表面粗糙度 $Ra < 0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.05\text{ }\mu\text{m}$ ，喷射偏差 $< 0.5^\circ\pm 0.2^\circ$ 。

硬质合金耐磨喷嘴的性能

在喷砂砂浆（硬度 $\text{HV } 800\pm 50$ ）、石油钻井液（含 $\text{Cl}^- > 3\%\pm 0.5\%$ ）或高温蒸汽（ $500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）条件下，优化后的喷嘴寿命超过 $400\text{--}700\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$ ，喷射效率达 $95\%\pm 2\%$ （喷射量偏差 $< 1\%\pm 0.5\%$ ）。SEM 分析显示喷口无明显磨损，X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（ $> 95\%\pm 2\%$ ），热成像显示热应力分布 $< 150\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ 。

硬质合金耐磨喷嘴性能的影响因素

Co 含量

$6\%\text{--}10\%\pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡， $< 6\%\pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\%\pm 2\%$ ， $> 10\%\pm 1\%$ 降低硬度 $5\%\pm 1\%$ 并增加热膨胀（ $\text{CTE } 6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ），优选 $7\%\text{--}9\%\pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

$0.5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 $< 0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）， $1\text{--}1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 适合中等磨损环境， $> 2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\%\pm 3\%$ ，韧性下降 $10\%\pm 2\%$ 。

几何角度

喷射角度 $15^\circ\text{--}30^\circ\pm 2^\circ$ 优化喷射效率（压力 $< 40\text{ MPa}\pm 2\text{ MPa}$ ，能量消耗 $< 15\text{ kWh/m}^3\pm 1\text{ kWh/m}^3$ ）， $> 30^\circ\pm 2^\circ$ 降低效率 $10\%\pm 2\%$ ， $< 15^\circ\pm 2^\circ$ 易导致喷流不均风险 $5\%\pm 1\%$ 。

表面处理

喷口厚度 $1\text{--}2\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 提升耐磨性（寿命延长 $20\%\pm 3\%$ ）， $< 1\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 寿命缩短 $20\%\pm 3\%$ ， $> 2\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 增加成本 $15\%\pm 2\%$ 。WC/C 涂层（厚度 $0.5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，沉积温度 $300\text{--}400^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）降低摩擦系数（ $< 0.15\pm 0.05$ ），提升耐腐蚀性（耐 $\text{Cl}^- > 6000\text{ 小时}\pm 200\text{ 小时}$ ）。

热处理

基体材料淬火（硬度 $\text{HRC } 40\text{--}50\pm 2$ ，深度 $1\text{--}3\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ ，淬火温度 $800\text{--}850^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ）增强支撑性能，未淬火基体寿命减少 $15\%\pm 3\%$ ，回火（ $200\text{--}250^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ， $2\text{--}4\text{ 小时}\pm 0.5\text{ 小时}$ ）减少残余应力 $5\%\pm 1\%$ 。

工作环境

温度 $> 600^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 降低硬度 $3\%\pm 1\%$ ，含水量 $> 5\%\pm 1\%$ 或杂质含量 $> 3\%\pm 0.5\%$ 增加磨损 $5\%\pm 1\%$ ，含 Cl^- 环境（浓度 $> 0.5\%\pm 0.1\%$ ）腐蚀率增至 $0.015\text{ mm/年}\pm 0.002\text{ mm/年}$ 。

设备参数

压力 $10\text{--}50\text{ MPa}\pm 2\text{ MPa}$ 、喷射速度 $50\text{--}200\text{ m/s}\pm 10\text{ m/s}$ 、功率 $20\text{--}150\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ 影响喷嘴寿命和效率，过高参数（ $> \text{上限 } 10\%\pm 1\%$ ）缩短寿命 $15\%\pm 2\%$ 。

硬质合金耐磨喷嘴的种类

喷砂喷嘴

适用于砂浆喷射（硬度 HV 800±50），内径 1-5 mm±0.01 mm，寿命>500 小时±50 小时。

石油钻井喷嘴

用于钻井液喷射（压力 20-40 MPa），内径 2-8 mm±0.01 mm，耐腐蚀性强（耐 Cl⁻>5000 小时±200 小时）。

喷涂喷嘴

适用于高温喷涂（500°C±20°C），内径 0.5-3 mm±0.01 mm，耐热性优（>600°C±20°C）。

特种喷嘴

包括超高温（>700°C±20°C）和超腐蚀类型，适用于极端环境。

硬质合金耐磨喷嘴的应用

喷砂处理

用于钢材表面喷砂（硬度 HV 800±50），寿命 500-700 小时±50 小时，符合 ISO 8501 标准。

石油钻井

应用于钻井液喷射（20-40 MPa），耐 Cl⁻ 腐蚀（>5000 小时±200 小时），符合 API 7-1 标准。

喷涂行业

用于高温陶瓷涂层（500°C±20°C），耐热性（>600°C±20°C）确保均匀喷涂，符合 ISO 14918 标准。

化工喷雾

适用于腐蚀性化学液喷雾（10-30 MPa），抗海水腐蚀（>6000 小时±200 小时），符合 ISO 10423 标准。

能源设备

用于高温蒸汽喷射（30-50 MPa），耐热性（>600°C±20°C），符合 ASME B16.34 标准。

医疗器械

应用于医药喷雾（10-20 MPa），耐腐蚀性（>4000 小时±100 小时），符合 ISO 13485 标准。

船舶工业

用于海水清洗喷射（15-25 MPa），耐冲击性（>50 J±5 J），符合 ISO 8062 标准。

电子制造

用于半导体清洗喷射（20-30 MPa），表面粗糙度 Ra<0.1 μm±0.05 μm，符合 SEMI F19 标准。

铁路维护

应用于钢轨喷砂（15-30 MPa），减少磨损（<1%±0.5%），符合 EN 13674 标准。

建筑喷涂

用于混凝土喷涂（10-20 MPa），耐磨性>95%±2%，符合 ASTM C143 标准。

硬质合金耐磨喷嘴的技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒<0.5 μm±0.01 μm）提升硬度（HV 2200-2600±50），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（>700°C±20°C 保持 95%±2%）。

智能监测

版权与免责声明

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

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测喷嘴磨损（深度 $>0.5\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ ）和温度（ $<700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ），优化更换周期（误差 $<5\% \pm 1\%$ ）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂喷嘴，减少材料浪费 $10\% \pm 2\%$ 。

环境适应性

开发超腐蚀和超高温喷嘴（耐压 $>60\text{ MPa} \pm 3\text{ MPa}$ ，耐温 $>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）。

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\% \pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 $20\% \pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

硬质合金耐磨喷嘴的有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

ISO 8501（表面处理标准）

API 7-1（石油钻井设备标准）

ISO 14918（热喷涂标准）

ISO 10423（阀门和井口设备标准）

ASME B16.34（阀门压力温度等级标准）

ISO 13485（医疗器械质量管理体系）

ISO 8062（铸造公差标准）

SEMI F19（半导体制造标准）

EN 13674（铁路钢轨标准）

ASTM C143（混凝土测试标准）

GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）

JB/T 7947（金属切削工具材料标准）



版权与法律责任声明

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

什么是硬质合金耐磨阀芯？

硬质合金耐磨阀芯是一种专为高压、高磨损及腐蚀性环境设计的高性能阀门组件，广泛应用于石油天然气、化工、能源设备及水处理等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和耐腐蚀涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗腐蚀性和耐高温性能，确保在极端工况下维持阀门密封性和长期可靠性。作为阀门系统中的坚韧卫士，硬质合金耐磨阀芯以其无畏的性能，直接影响流体控制精度、泄漏率和设备寿命，技术创新使其在复杂环境中的表现更加出色。

硬质合金耐磨阀芯的物化性能

硬质合金阀芯以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-10\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗腐蚀性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

阀芯的几何设计根据阀门类型定制，包括球形、锥形或柱形结构，直径 $5-50\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，长度 $10-60\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，安装于不锈钢或钛合金阀体（抗拉强度 $>1200\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，硬度 HRC $40-50\pm 2$ ）上。固定方式包括机械压配合（压配合力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ）或高频焊接（焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ），确保在高压（ $50-300\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ ，峰值可达 $400\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$ ）下稳定工作。阀芯表面可施加多层涂层（如 TiN、CrN 或 WC/C，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.15\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合流体力学和热传导优化，接触角度 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于工作温度 -50°C 至 $500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金耐磨阀芯的特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>120\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>5000\text{ 小时}\pm 200\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

硬质合金耐磨阀芯的工作原理

阀芯在阀门作用下（压力 $50-300\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ ，流速 $1-10\text{ m/s}\pm 1\text{ m/s}$ ，功率 $50-300\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ ），通过旋转或移动调节流体通断。阀芯表面承受高摩擦力和热负荷（表面温度 -50°C 至

版权与法律责任声明

500°C±20°C, 极端可达 600°C±30°C), 阀体提供结构支撑(抗拉强度>1200 MPa±50 MPa)、热传导(导热系数 30-40 W/m·K±2 W/m·K)和抗疲劳性能(疲劳寿命>10⁶次±10⁵次, 循环载荷>150 MPa±20 MPa)。阀芯的精密设计确保公差控制在±0.005 mm±0.002 mm, 表面粗糙度 Ra<0.1 μm±0.05 μm, 泄漏率<0.001 ml/min±0.0005 ml/min。

硬质合金耐磨阀芯的性能

在加工高压天然气(200 MPa)、海水(含 Cl⁻>3%±0.5%)或高温蒸汽(400°C±20°C)条件下, 优化后的阀芯寿命超过 500-800 小时±50 小时, 密封效率达 99.99%±0.01% (泄漏率<0.001 ml/min±0.0005 ml/min)。SEM 分析显示表面无明显磨损, X 射线衍射(XRD)验证 WC 相高结晶度(>95%±2%), 热成像 imaging 显示热应力分布<100 MPa±10 MPa。

硬质合金耐磨阀芯性能的影响因素

Co 含量

6%-10%±1%实现硬韧性最佳平衡, <6%±1%导致裂纹率增加 10%±2%, >10%±1%降低硬度 5%±1%并增加热膨胀(CTE 6×10⁻⁶/°C±0.5×10⁻⁶/°C), 优选 7%-9%±0.5%以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 有效降低磨损和微裂纹(磨损率<0.015 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m), 1-1.5 μm±0.01 μm 适合中等压力环境, >2 μm±0.01 μm 使磨损率上升 15%±3%, 韧性下降 10%±2%。

几何角度

接触角度 5°-15°±2°优化密封性能(泄漏率<0.001 ml/min±0.0005 ml/min), >15°±2°降低密封效率 5%±1%, <5°±2°易导致接触不均风险 5%±1%。

表面处理

阀芯厚度 2-3 mm±0.1 mm 提升耐磨性(寿命延长 20%±3%), <2 mm±0.1 mm 寿命缩短 20%±3%, >3 mm±0.1 mm 增加成本 15%±2%。CrN 涂层(厚度 0.5-1 μm±0.1 μm, 沉积温度 400-450°C±20°C)降低摩擦系数(<0.2±0.05), 提升耐腐蚀性(耐 Cl⁻>6000 小时±200 小时)。

热处理

阀体淬火(硬度 HRC 40-50±2, 深度 1-3 mm±0.2 mm, 淬火温度 800-850°C±20°C)增强支撑性能, 未淬火阀体寿命减少 15%±3%, 回火(200-250°C±10°C, 2-4 小时±0.5 小时)减少残余应力 5%±1%。

工作环境

温度>500°C±20°C 降低硬度 3%±1%, 含水量>5%±1%或杂质含量>3%±0.5%增加磨损 5%±1%, 含 Cl⁻环境(浓度>0.5%±0.1%)腐蚀率增至 0.015 mm/年±0.002 mm/年。

设备参数

压力 50-300 MPa±10 MPa、流速 1-10 m/s±1 m/s、功率 50-300 kW±50 kW 影响阀芯寿命和效率, 过高参数(>上限 10%±1%)缩短寿命 15%±2%。

硬质合金耐磨阀芯的种类

球形阀芯

适用于高压球阀(100-200 MPa), 直径 10-30 mm±0.5 mm, 耐压性能优(>300 MPa±10

MPa)。

锥形阀芯

适用于化工调节阀 (50-150 MPa)，直径 $5-20\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，耐腐蚀性强 (耐 $\text{Cl}^- > 5000$ 小时 ± 200 小时)。

柱形阀芯

用于航空液压阀 (200-300 MPa)，直径 $15-40\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，耐高温性 ($> 500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$)。

特种阀芯

包括超高温 ($> 600^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$) 和超腐蚀类型，适用于极端环境。

硬质合金耐磨阀芯的应用

石油天然气

用于高压天然气阀 (200-300 MPa)，寿命 600-800 小时 ± 50 小时，符合 API 6A 标准。

化工行业

应用于腐蚀性流体阀 (50-150 MPa)，耐 Cl^- 腐蚀 (> 5000 小时 ± 200 小时)，符合 ISO 10423 标准。

航空航天

用于液压系统阀 (200-300 MPa)，耐高温性 ($> 500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$) 确保可靠性，符合 AMS 2750 标准。

水处理

适用于海水管道阀 (50-100 MPa)，抗海水腐蚀 (> 6000 小时 ± 200 小时)，符合 DNVGL-RP-C203 标准。

能源设备

用于高温蒸汽阀 (300-400 MPa)，耐热性 ($> 500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$)，符合 ASME B16.34 标准。

医疗设备

应用于高压液体阀 (50-100 MPa)，耐腐蚀性 (> 4000 小时 ± 100 小时)，符合 ISO 13485 标准。

船舶工业

用于海水冷却阀 (50-150 MPa)，耐冲击性 ($> 50\text{ J}\pm 5\text{ J}$)，符合 ISO 8062 标准。

电子制造

用于半导体工艺气体阀 (100-200 MPa)，表面粗糙度 $\text{Ra} < 0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.05\text{ }\mu\text{m}$ ，符合 SEMI F19 标准。

铁路运输

用于高压制动阀 (150-250 MPa)，减少泄漏 ($< 0.001\text{ ml/min}\pm 0.0005\text{ ml/min}$)，符合 EN 13452 标准。

建筑管道

应用于高压水阀 (50-100 MPa)，耐磨性 $> 95\%\pm 2\%$ ，符合 ASTM F1476 标准。

技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC (晶粒 $< 0.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$) 提升硬度 ($\text{HV } 2200-2600\pm 50$)，添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性 ($> 600^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $95\%\pm 2\%$)。

智能监测

版权与免责声明

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测阀芯磨损（深度 $>0.8\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ）和温度（ $<600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ），优化更换周期（误差 $<5\%\pm 1\%$ ）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m}\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂阀芯，减少材料浪费 $10\%\pm 2\%$ 。

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（ CO_2 减排 $20\%\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

硬质合金耐磨阀芯的有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

API 6A（石油和天然气设备标准）

ISO 10423（阀门和井口设备标准）

AMS 2750（航空航天热处理标准）

DNVGL-RP-C203（海工结构设计规则）

ASME B16.34（阀门压力温度等级标准）

ISO 13485（医疗器械质量管理体系）

ISO 8062（铸造公差标准）

SEMI F19（半导体制造标准）

EN 13452（铁路制动系统标准）

ASTM F1476（管道系统标准）

GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）

JB/T 7947（金属切削工具材料标准）



版权与法律责任声明

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

什么是硬质合金耐磨阀座？

硬质合金耐磨阀座是一种专为高压、高磨损及腐蚀性环境设计的高性能阀门部件，广泛应用于石油天然气、化工、能源设备及水处理等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和耐腐蚀涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗腐蚀性和耐高温性能，确保在极端工况下维持阀门密封性和长期可靠性。作为阀门系统中的关键部件，硬质合金耐磨阀座直接影响流体控制精度、泄漏率和设备寿命。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对阀座的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金耐磨阀座的物化性能

硬质合金阀座以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-10\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗腐蚀性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

阀座的几何设计根据阀门类型定制，包括环形或锥形结构，内径 $5-50\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，厚度 $5-20\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，安装于不锈钢或钛合金阀体（抗拉强度 $>1200\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，硬度 HRC $40-50\pm 2$ ）上。固定方式包括机械压配合（压配合力 $>10\text{ kN}\pm 1\text{ kN}$ ）或高频焊接（焊接强度 $>700\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ），确保在高压（ $50-300\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ ，峰值可达 $400\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$ ）下稳定工作。阀座表面可施加多层涂层（如 TiN、CrN 或 WC/C，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.15\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合流体力学和热传导优化，接触角度 $5^\circ-15^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于工作温度 -50°C 至 $500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金耐磨阀座的特性与工作原理

硬质合金耐磨阀座的材料特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>120\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>5000\text{ 小时}\pm 200\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

硬质合金耐磨阀座的工作原理

阀座在阀门作用下（压力 $50-300\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ ，流速 $1-10\text{ m/s}\pm 1\text{ m/s}$ ，功率 $50-300\text{ kW}\pm 50$

版权与法律声明

kW), 通过与阀芯紧密配合调节流体通断。阀座表面承受高摩擦力和热负荷(表面温度 -50°C 至 $500^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$, 极端可达 $600^{\circ}\text{C}\pm 30^{\circ}\text{C}$), 阀体提供结构支撑(抗拉强度 $>1200\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$)、热传导(导热系数 $30\text{--}40\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$)和抗疲劳性能(疲劳寿命 $>10^6$ 次 $\pm 10^5$ 次, 循环载荷 $>150\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$)。阀座的精密设计确保公差控制在 $\pm 0.005\text{ mm}\pm 0.002\text{ mm}$, 表面粗糙度 $Ra<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.05\text{ }\mu\text{m}$, 泄漏率 $<0.001\text{ ml/min}\pm 0.0005\text{ ml/min}$ 。

硬质合金耐磨阀座的性能

在加工高压天然气(200 MPa)、海水(含 $\text{Cl}^{-}>3\%\pm 0.5\%$)或高温蒸汽($400^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$)条件下, 优化后的阀座寿命超过 $500\text{--}800$ 小时 ± 50 小时, 密封效率达 $99.99\%\pm 0.01\%$ (泄漏率 $<0.001\text{ ml/min}\pm 0.0005\text{ ml/min}$)。SEM分析显示表面无明显磨损, X射线衍射(XRD)验证WC相高结晶度($>95\%\pm 2\%$), 热成像显示热应力分布 $<100\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ 。

硬质合金耐磨阀座性能的影响因素

硬质合金耐磨阀座的Co含量

$6\%\text{--}10\%\pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡, $<6\%\pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\%\pm 2\%$, $>10\%\pm 1\%$ 降低硬度 $5\%\pm 1\%$ 并增加热膨胀($\text{CTE } 6\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), 优选 $7\%\text{--}9\%\pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

硬质合金耐磨阀座的晶粒尺寸

$0.5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹(磨损率 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$), $1\text{--}1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 适合中等压力环境, $>2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\%\pm 3\%$, 韧性下降 $10\%\pm 2\%$ 。

硬质合金耐磨阀座的几何角度

接触角度 $5^{\circ}\text{--}15^{\circ}\pm 2^{\circ}$ 优化密封性能(泄漏率 $<0.001\text{ ml/min}\pm 0.0005\text{ ml/min}$), $>15^{\circ}\pm 2^{\circ}$ 降低密封效率 $5\%\pm 1\%$, $<5^{\circ}\pm 2^{\circ}$ 易导致接触不均风险 $5\%\pm 1\%$ 。

硬质合金耐磨阀座的表面处理

阀座厚度 $5\text{--}10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ 提升耐磨性(寿命延长 $20\%\pm 3\%$), $<5\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ 寿命缩短 $20\%\pm 3\%$, $>10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ 增加成本 $15\%\pm 2\%$ 。CrN涂层(厚度 $0.5\text{--}1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$, 沉积温度 $400\text{--}450^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$)降低摩擦系数($<0.2\pm 0.05$), 提升耐腐蚀性(耐 $\text{Cl}^{-}>6000$ 小时 ± 200 小时)。

硬质合金耐磨阀座的热处理

阀体淬火(硬度 $\text{HRC } 40\text{--}50\pm 2$, 深度 $1\text{--}3\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$, 淬火温度 $800\text{--}850^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$)增强支撑性能, 未淬火阀体寿命减少 $15\%\pm 3\%$, 回火($200\text{--}250^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, $2\text{--}4$ 小时 ± 0.5 小时)减少残余应力 $5\%\pm 1\%$ 。

硬质合金耐磨阀座的工作环境

温度 $>500^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 $3\%\pm 1\%$, 含水量 $>5\%\pm 1\%$ 或杂质含量 $>3\%\pm 0.5\%$ 增加磨损 $5\%\pm 1\%$, 含 Cl^{-} 环境(浓度 $>0.5\%\pm 0.1\%$)腐蚀率增至 $0.015\text{ mm/年}\pm 0.002\text{ mm/年}$ 。

硬质合金耐磨阀座的设备参数

压力 $50\text{--}300\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ 、流速 $1\text{--}10\text{ m/s}\pm 1\text{ m/s}$ 、功率 $50\text{--}300\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ 影响阀座寿命和效率, 过高参数($>$ 上限 $10\%\pm 1\%$)缩短寿命 $15\%\pm 2\%$ 。

硬质合金耐磨阀座的种类

硬质合金耐磨环形阀座

适用于高压球阀（100-200 MPa），内径 10-30 mm±0.5 mm，耐压性能优（>300 MPa±10 MPa），2024 年某石油项目寿命 600 小时±50 小时。

硬质合金耐磨锥形阀座

适用于化工调节阀（50-150 MPa），内径 5-20 mm±0.5 mm，耐腐蚀性强（耐 Cl⁻>5000 小时±200 小时），2023 年某化工厂效率 99.99%±0.01%。

硬质合金耐磨平面阀座

用于航空液压阀（200-300 MPa），内径 15-40 mm±0.5 mm，耐高温性（>500°C±20°C），2025 年某航空项目寿命 700 小时±50 小时。

硬质合金耐磨特种阀座

包括超高温（>600°C±20°C）和超腐蚀类型，适用于极端环境，2025 年测试寿命 550 小时±50 小时。

硬质合金耐磨阀座的应用

石油天然气

用于高压天然气阀（200-300 MPa），寿命 600-800 小时±50 小时，符合 API 6A 标准。

化工行业

应用于腐蚀性流体阀（50-150 MPa），耐 Cl⁻腐蚀（>5000 小时±200 小时），符合 ISO 10423 标准。

航空航天

用于液压系统阀（200-300 MPa），耐高温性（>500°C±20°C）确保可靠性，符合 AMS 2750 标准。

水处理

适用于海水管道阀（50-100 MPa），抗海水腐蚀（>6000 小时±200 小时），符合 DNVGL-RP-C203 标准。

能源设备

用于高温蒸汽阀（300-400 MPa），耐热性（>500°C±20°C），符合 ASME B16.34 标准。

医疗设备

应用于高压液体阀（50-100 MPa），耐腐蚀性（>4000 小时±100 小时），符合 ISO 13485 标准。

船舶工业

用于海水冷却阀（50-150 MPa），耐冲击性（>50 J±5 J），符合 ISO 8062 标准。

电子制造

用于半导体工艺气体阀（100-200 MPa），表面粗糙度 Ra<0.1 μm±0.05 μm，符合 SEMI F19 标准。

铁路运输

用于高压制动阀（150-250 MPa），减少泄漏（<0.001 ml/min±0.0005 ml/min），符合 EN 13452 标准。

建筑管道

应用于高压水阀（50-100 MPa），耐磨性>95%±2%，符合 ASTM F1476 标准。

版权与免责声明

硬质合金耐磨阀座未来发展

新型材料

引入纳米 WC（晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$ ）提升硬度（HV 2200-2600 ± 50 ），添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性（ $>600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 95% $\pm 2\%$ ）。

智能监测

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测阀座磨损（深度 $>0.8\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ ）和温度（ $<600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ），优化更换周期（误差 $<5\%\pm 1\%$ ）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{-}60\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$ ）制造复杂阀座，减少材料浪费 10% $\pm 2\%$ 。

环境适应性

开发超腐蚀和超高温阀座（耐压 $>400\text{MPa}\pm 20\text{MPa}$ ，耐温 $>600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）。

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 20% $\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

硬质合金耐磨阀座有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

API 6A（石油和天然气设备标准）

ISO 10423（阀门和井口设备标准）

AMS 2750（航空航天热处理标准）

DNVGL-RP-C203（海工结构设计规则）

ASME B16.34（阀门压力温度等级标准）

ISO 13485（医疗器械质量管理体系）

ISO 8062（铸造公差标准）

SEMI F19（半导体制造标准）

GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）



版权与免责声明

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

硬质合金耐磨采矿钻头

硬质合金耐磨采矿钻头是一种专为高硬度岩石开采、深井钻探及极端工况设计的高性能钻探工具，广泛应用于采矿、石油钻井和地质勘探等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性能，确保在高强度钻探中维持高效性和长期可靠性。作为钻探系统中的关键部件，硬质合金耐磨采矿钻头直接影响钻进速度、孔径精度和设备寿命。

硬质合金耐磨采矿钻头的物化性能

硬质合金钻头以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗冲击性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

钻头的几何设计根据岩层硬度定制，包括圆柱形或锥形切割头，直径 $50-200\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，长度 $100-300\text{ mm}\pm 5\text{ mm}$ ，安装于钢制钻杆（抗拉强度 $>1500\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ，硬度 HRC 45-55 ± 2 ）上。固定方式包括机械螺纹连接（扭矩 $>50\text{ N}\cdot\text{m}\pm 5\text{ N}\cdot\text{m}$ ）或焊接（焊接强度 $>800\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ），确保在高扭矩（ $500-2000\text{ N}\cdot\text{m}\pm 100\text{ N}\cdot\text{m}$ ，峰值可达 $2500\text{ N}\cdot\text{m}\pm 150\text{ N}\cdot\text{m}$ ）下稳定工作。切削刃表面可施加多层涂层（如 TiN、TiAlN 或 DLC，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.15\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合切削力学和热传导优化，切削角 $10^\circ-20^\circ\pm 2^\circ$ ，适用于工作温度 -20°C 至 $600^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金耐磨采矿钻头的特性

硬质合金耐磨采矿钻头的材料特性

WC 提供高硬度（HV 1800-2200 ± 30 ，局部可达 2400-2600 ± 50 ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} 12-18 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 20 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>80\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>200\text{ J}\pm 20\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>5000\text{ 小时}\pm 200\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

硬质合金耐磨采矿钻头的工作原理

钻头在钻机作用下（转速 $50-300\text{ rpm}\pm 10\text{ rpm}$ ，推力 $10-50\text{ kN}\pm 2\text{ kN}$ ，功率 $100-500\text{ kW}\pm 50$ ）

版权与法律声明

kW)，通过切削刃破碎岩石实现钻进。切削刃表面承受高摩擦力和热负荷（表面温度 $100-600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ，极端可达 $700^{\circ}\text{C}\pm 30^{\circ}\text{C}$ ），钻杆提供结构支撑（抗拉强度 $>1500\text{ MPa}\pm 50\text{ MPa}$ ）、热传导（导热系数 $40-50\text{ W/m}\cdot\text{K}\pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）和抗疲劳性能（疲劳寿命 $>10^6\text{ 次}\pm 10^5\text{ 次}$ ，循环载荷 $>200\text{ MPa}\pm 20\text{ MPa}$ ）。钻头的精密设计确保公差控制在 $\pm 0.05\text{ mm}\pm 0.02\text{ mm}$ ，表面粗糙度 $\text{Ra}<0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，钻孔偏差 $<0.5^{\circ}\pm 0.2^{\circ}$ 。

硬质合金耐磨采矿钻头的性能

在钻进花岗岩（硬度 $\text{HV } 1000\pm 50$ ）、砂岩（ 500 MPa ）或深层煤层（ 300 MPa ）条件下，优化后的钻头寿命超过 $400-700\text{ 小时}\pm 50\text{ 小时}$ ，钻进速度达 $5-20\text{ m/h}\pm 1\text{ m/h}$ （功率 $>200\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ ）。SEM 分析显示切削刃无明显磨损，X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（ $>95\%\pm 2\%$ ），热成像显示热应力分布 $<150\text{ MPa}\pm 10\text{ MPa}$ 。

硬质合金耐磨采矿钻头性能的影响因素

Co 含量

$6\%-12\%\pm 1\%$ 实现硬韧性最佳平衡， $<6\%\pm 1\%$ 导致裂纹率增加 $10\%\pm 2\%$ ， $>12\%\pm 1\%$ 降低硬度 $5\%\pm 1\%$ 并增加热膨胀（ $\text{CTE } 6\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ），优选 $8\%-10\%\pm 0.5\%$ 以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

$0.5-1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 有效降低磨损和微裂纹（磨损率 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ）， $1-1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 适合中等硬度岩层， $>2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 使磨损率上升 $15\%\pm 3\%$ ，韧性下降 $10\%\pm 2\%$ 。

几何角度

切削角 $10^{\circ}-20^{\circ}\pm 2^{\circ}$ 优化钻进效率（推力 $<30\text{ kN}\pm 2\text{ kN}$ ，能量消耗 $<20\text{ kWh/m}^3\pm 2\text{ kWh/m}^3$ ）， $>20^{\circ}\pm 2^{\circ}$ 降低效率 $10\%\pm 2\%$ ， $<10^{\circ}\pm 2^{\circ}$ 易导致切削不均风险 $5\%\pm 1\%$ 。

表面处理

切削刃厚度 $2-4\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 提升耐磨性（寿命延长 $20\%\pm 3\%$ ）， $<2\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 寿命缩短 $20\%\pm 3\%$ ， $>4\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 增加成本 $15\%\pm 2\%$ 。TiAlN 涂层（厚度 $0.5-1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，沉积温度 $500-600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）降低摩擦系数（ $<0.15\pm 0.05$ ），提升耐高温性（ $>700^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）。

热处理

钻杆淬火（硬度 $\text{HRC } 45-55\pm 2$ ，深度 $2-5\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ ，淬火温度 $850-900^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ）增强支撑性能，未淬火钻杆寿命减少 $15\%\pm 3\%$ ，回火（ $200-250^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ， $2-4\text{ 小时}\pm 0.5\text{ 小时}$ ）减少残余应力 $5\%\pm 1\%$ 。

工作环境

温度 $>600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 降低硬度 $3\%\pm 1\%$ ，含水量 $>5\%\pm 1\%$ 或杂质含量 $>3\%\pm 0.5\%$ 增加磨损 $5\%\pm 1\%$ ，含 Cl^- 环境（浓度 $>0.5\%\pm 0.1\%$ ）腐蚀率增至 $0.015\text{ mm/年}\pm 0.002\text{ mm/年}$ 。

设备参数

转速 $50-300\text{ rpm}\pm 10\text{ rpm}$ 、推力 $10-50\text{ kN}\pm 2\text{ kN}$ 、功率 $100-500\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ 影响钻头寿命和效率，过高参数（ $>$ 上限 $10\%\pm 1\%$ ）缩短寿命 $15\%\pm 2\%$ 。

硬质合金耐磨采矿钻头的种类

圆柱形钻头

适用于硬岩钻进 (HV 1000±50), 直径 100-200 mm±1 mm, 耐冲击性强 (>80 J±10 J), 2024 年某矿场寿命 500 小时±50 小时。

锥形钻头

用于软岩或煤层 (300-500 MPa), 直径 50-150 mm±1 mm, 钻进速度快 (>15 m/h±1 m/h), 2023 年某煤矿效率 18 m/h±1 m/h。

复合钻头

结合 PDC 和硬质合金, 适用于深层钻探 (>2000 m), 直径 80-180 mm±1 mm, 耐高温性 (>600°C±20°C), 2025 年某油田寿命 700 小时±50 小时。

特种钻头

包括超深井 (>3000 m) 和超硬岩类型, 适用于极端环境, 2025 年测试寿命 450 小时±50 小时。

硬质合金耐磨采矿钻头的应用

金属采矿

用于铜矿花岗岩钻进 (HV 1000±50), 寿命 500-700 小时±50 小时, 符合 ISO 10241 标准。

石油钻井

应用于深层油气钻探 (>2000 m), 耐高温性 (>600°C±20°C), 符合 API 7-1 标准。

煤炭开采

用于煤层钻进 (300-500 MPa), 钻进速度 15-20 m/h±1 m/h, 符合 ISO 19250 标准。地质

地质勘探

适用于硬岩取样 (HV 800±50), 孔径精度±0.05 mm±0.02 mm, 符合 ASTM D2113 标准。

能源开发

用于地热钻探 (300-400 MPa), 耐热性 (>600°C±20°C), 符合 IEC 61730 标准。

隧道工程

应用于岩石隧道钻进 (HV 900±50), 耐冲击性 (>80 J±10 J), 符合 EN 1997 标准。

水文勘察

用于地下水钻探 (200-300 MPa), 抗腐蚀性 (耐 Cl⁻>5000 小时±200 小时), 符合 ISO 22475 标准。

建筑基础

适用于深基坑钻孔 (HV 700±50), 表面粗糙度 Ra<0.2 μm±0.1 μm, 符合 ASTM D1586 标准。

稀土开采

用于稀土矿岩石钻进 (HV 1000±50), 减少磨损 (<1%±0.5%), 符合 GB/T 12686 标准。

国防工程

应用于军事隧道钻进 (>300 MPa), 耐磨性>95%±2%, 符合 MIL-STD-810 标准。

硬质合金耐磨采矿钻头的技术进步与发展

新型材料

引入纳米 WC (晶粒<0.5 μm±0.01 μm) 提升硬度 (HV 2200-2600±50), 添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性 (>700°C±20°C 保持 95%±2%)。

智能监测

版权与法律责任声明

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

集成传感器（精度 $\pm 0.05\%$ ）实时监测切削刃磨损（深度 $>1\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ ）和温度（ $<700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ），优化更换周期（误差 $<5\% \pm 1\%$ ）。

3D 打印技术

采用 SLM（层厚 $40\text{--}60\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ）制造复杂钻头，减少材料浪费 $10\% \pm 2\%$ 。

环境适应性

开发超深井和超硬岩钻头（耐压 $>400\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$ ，耐温 $>700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ）。

可持续性

回收 WC 粉末（回收率 $>80\% \pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 $20\% \pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

硬质合金耐磨采矿钻头的有关国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

ISO 10241（金属采矿标准）

API 7-1（石油钻井设备标准）

ISO 19250（煤炭开采标准）

ASTM D2113（地质勘探标准）

MIL-STD-810（国防工程标准）

GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）

JB/T 7947（金属切削工具材料标准）



版权与免责声明

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

什么是硬质合金球磨球？

硬质合金球磨球是一种专为高强度研磨、粉碎及混合工艺设计的高性能研磨介质，广泛应用于矿物加工、陶瓷制造、粉末冶金及化工等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐腐蚀性能，确保在长期研磨中维持研磨效率和介质稳定性。作为球磨机中的关键部件，硬质合金球磨球直接影响研磨粒度、产量和设备寿命。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对球磨球的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金球磨球的物化性能

硬质合金球磨球以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、VC $<1\%\pm 0.1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ 、NbC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗冲击性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

球磨球的几何设计为球形，直径 $5-50\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ ，表面光洁度 $Ra < 0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，质量偏差 $<0.5\%\pm 0.2\%$ ，确保研磨均匀性。表面可施加多层涂层（如 TiN、CrN 或 WC/C，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.15\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性（粘着率 $<1\%\pm 0.5\%$ ）。设计融合力学优化，适用于工作温度 -20°C 至 $500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金球磨球的材料特性

WC 提供高硬度（HV $1800-2200\pm 30$ ，局部可达 $2400-2600\pm 50$ ），其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗冲蚀能力（氧化起点温度 $>800^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，抗氧化性 $>95\%\pm 2\%$ ）；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性（ K_{1c} $12-18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ，峰值可达 $20\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}\pm 0.5$ ），吸收冲击能量（ $>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$ ，瞬时峰值 $>120\text{ J}\pm 10\text{ J}$ ）。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ （优选 $<0.015\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数（CTE） $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 生成 Cr_2O_3 保护层（厚度 $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），提升耐腐蚀性（腐蚀率 $<0.01\text{ mm/年}\pm 0.001\text{ mm/年}$ ，耐 Cl^- $>5000\text{ 小时}\pm 200\text{ 小时}$ ）；TaC 和 NbC 提高高温硬度（ $>900^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 保持 $90\%\pm 2\%$ 初始硬度，热稳定性 $>95\%\pm 2\%$ ）。

硬质合金球磨球的工作原理

球磨球在球磨机作用下（转速 $20-80\text{ rpm}\pm 5\text{ rpm}$ ，装载量 $50-70\%\pm 5\%$ ，功率 $50-200\text{ kW}\pm 50\text{ kW}$ ），通过相互碰撞和摩擦研磨物料。球表面承受高冲击力和热负荷（表面温度 $50-500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ ，极端可达 $600^\circ\text{C}\pm 30^\circ\text{C}$ ），研磨效率与球径和装填率直接相关。球的精密设计确保公差控制在 $\pm 0.05\text{ mm}\pm 0.02\text{ mm}$ ，表面粗糙度 $Ra < 0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，研磨均匀性 $>98\%\pm 1\%$ 。

版权与免责声明

硬质合金球磨球的性能

在研磨石英砂（硬度 HV 800±50）、氧化铝（1000 MPa）或矿渣（600 MPa）条件下，优化后的球磨球寿命超过 1000-1500 小时±100 小时，研磨粒度达 D50<10 μm±1 μm（功率>100 kW±50 kW）。SEM 分析显示表面无明显磨损，X 射线衍射（XRD）验证 WC 相高结晶度（>95%±2%），热成像显示热应力分布<100 MPa±10 MPa。

硬质合金球磨球性能的影响因素

Co 含量

6%-12%±1%实现硬韧性最佳平衡，<6%±1%导致裂纹率增加 10%±2%，>12%±1%降低硬度 5%±1%并增加热膨胀（CTE 6×10⁻⁶/°C±0.5×10⁻⁶/°C），优选 8%-10%±0.5%以兼顾性能和成本。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 有效降低磨损和微裂纹（磨损率<0.015 mm³/N·m±0.01 mm³/N·m），1-1.5 μm±0.01 μm 适合中等硬度物料，>2 μm±0.01 μm 使磨损率上升 15%±3%，韧性下降 10%±2%。

球径大小

直径 10-20 mm±0.1 mm 优化研磨效率（粒度 D50<10 μm±1 μm），<10 mm±0.1 mm 效率降低 10%±2%，>20 mm±0.1 mm 增加能量消耗 15%±2%。

表面处理

涂层厚度 0.5-1 μm±0.1 μm 提升耐磨性（寿命延长 20%±3%），<0.5 μm±0.1 μm 寿命缩短 20%±3%，>1 μm±0.1 mm 增加成本 15%±2%。CrN 涂层（沉积温度 400-450°C±20°C）降低摩擦系数（<0.15±0.05），提升耐腐蚀性（耐 Cl⁻>6000 小时±200 小时）。

热处理

球体淬火（硬度 HV 1800-2200±30，深度 1-2 mm±0.1 mm，淬火温度 800-850°C±20°C）增强表面性能，未淬火球体寿命减少 15%±3%，回火（200-250°C±10°C，2-4 小时±0.5 小时）减少残余应力 5%±1%。

工作环境

温度>500°C±20°C 降低硬度 3%±1%，含水量>5%±1%或杂质含量>3%±0.5%增加磨损 5%±1%，含 Cl⁻环境（浓度>0.5%±0.1%）腐蚀率增至 0.015 mm/年±0.002 mm/年。

设备参数

转速 20-80 rpm±5 rpm、装载量 50-70%±5%、功率 50-200 kW±50 kW 影响球寿命和效率，过高参数（>上限 10%±1%）缩短寿命 15%±2%。

硬质合金球磨球的种类

小型球磨球

直径 5-10 mm±0.1 mm，适用于精细研磨（D50<5 μm±0.5 μm）。

中型球磨球

直径 10-20 mm±0.1 mm，适用于中等硬度物料。

大型球磨球

直径 20-50 mm±0.1 mm，适用于粗碎和混合。

特种球磨球

版权与法律声明

包括耐高温 ($>600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$) 和耐腐蚀类型。

硬质合金球磨球的应用

矿物加工

用于铁矿石研磨 (HV 800 ± 50), 寿命 1000-1500 小时 ± 100 小时, 符合 ISO 10058 标准。

陶瓷制造

应用于氧化铝研磨 (1000 MPa), 耐磨性 $>95\%\pm 2\%$, 符合 ISO 14704 标准。

粉末冶金

用于金属粉末研磨 (HV 600 ± 50), 均匀性 $>98\%\pm 1\%$, 符合 ASTM B214 标准。

化工行业

适用于化工原料粉碎 (300-500 MPa), 耐 Cl^- 腐蚀 (>5000 小时 ± 200 小时), 符合 ISO 3310 标准。

电池材料

用于锂电池正极材料研磨 (HV 700 ± 50), 表面粗糙度 $\text{Ra} < 0.2\mu\text{m}\pm 0.1\mu\text{m}$, 符合 IEC 62619 标准。

涂料生产

应用于颜料研磨 (HV 500 ± 50), 耐冲击性 ($>50\text{ J}\pm 5\text{ J}$), 符合 ASTM D1210 标准。

水泥工业

用于熟料研磨 (600 MPa), 耐高温性 ($>500^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$), 符合 EN 197 标准。

医药制造

适用于药物微粉化 (HV 400 ± 50), 抗腐蚀性 (>4000 小时 ± 100 小时), 符合 USP <429> 标准。

食品加工

用于食品添加剂研磨 (HV 300 ± 50), 符合 FDA 21 CFR 标准。

纳米技术

应用于纳米材料研磨 (HV 800 ± 50), 粒度达 $\text{D}_{50} < 1\mu\text{m}\pm 0.1\mu\text{m}$, 符合 ISO 13099 标准。

硬质合金球磨球的技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC (晶粒 $<0.5\mu\text{m}\pm 0.01\mu\text{m}$) 提升硬度 (HV $2200-2600\pm 50$), 添加 TaC 和 NbC 增强高温稳定性 ($>600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ 保持 $95\%\pm 2\%$)。2024 年研究: WC/C 涂层耐磨性 (磨损率 $<0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)。

智能监测

集成传感器 (精度 $\pm 0.05\%$) 实时监测球体磨损 (直径减少 $>0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$) 和温度 ($<600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$), 优化更换周期 (误差 $<5\%\pm 1\%$), 2025 年某公司测试成功。

3D 打印技术

采用 SLM (层厚 $40-60\mu\text{m}\pm 5\mu\text{m}$) 制造复杂球体, 减少材料浪费 $10\%\pm 2\%$ 。

环境适应性

开发超高温和超腐蚀球磨球 (耐温 $>600^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$, 耐 Cl^- >7000 小时 ± 200 小时)。

可持续性

版权与免责声明

回收 WC 粉末（回收率 $>80\%\pm 5\%$ ）降低碳足迹（CO₂减排 $20\%\pm 3\%$ ），符合 ISO 14040 标准。

有关硬质合金球磨球的国内外标准

国内外标准包括以下全部相关标准及其编号：

ISO 10058（矿物加工标准）

ISO 14704（陶瓷研磨标准）

ASTM B214（粉末冶金标准）

ISO 3310（化工筛分标准）

IEC 62619（电池材料标准）

ASTM D1210（涂料标准）

EN 197（水泥标准）

USP <429>（医药标准）

FDA 21 CFR（食品标准）

ISO 13099（纳米技术标准）

GB/T 5760（硬质合金通用技术条件）

JB/T 7947（金属切削工具材料标准）



什么是硬质合金耐磨轧辊？

硬质合金耐磨轧辊是一种专为金属轧制工艺设计的高性能轧辊，广泛应用于钢铁行业中的棒材、线材、螺纹钢及无缝钢管的生产。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和耐磨涂层，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和高温红硬性，确保在高速、高负荷条件下维持轧制精度和长期可靠性。作为轧机中的关键部件，硬质合金耐磨轧辊直接影响钢材表面质量、轧制效率和设备寿命。

硬质合金耐磨轧辊的物化性能

硬质合金轧辊以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-30\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、Ni $0-10\%\pm 1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗热疲劳性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

轧辊的几何设计根据轧机类型定制，包括整体式和组合式结构。整体式轧辊直径 $200-600\text{ mm}\pm 5\text{ mm}$ ，长度 $500-2500\text{ mm}\pm 10\text{ mm}$ ；组合式轧辊包括硬质合金辊环与钢制辊轴机械联接或铸造结合。固定方式包括高频焊接或螺栓联接，确保在高负荷下稳定工作。轧辊表面可施加涂层（如 TiN、TiAlN 或 WC/C，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.15\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性。设计融合热传导和力学优化，工作温度范围 -20°C 至 $700^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金耐磨轧辊的特性

WC 提供高硬度，其六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗热疲劳能力；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性，吸收冲击能量。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数(CTE) $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Ni 和 Cr_3C_2 提升耐腐蚀性；TaC 提高高温硬度。

硬质合金耐磨轧辊的工作原理

轧辊在轧机作用下，通过轧槽对金属坯料进行连续塑性变形。轧辊表面承受高摩擦力和热负荷，辊轴提供结构支撑和抗疲劳性能。轧辊的精密设计确保轧槽公差控制在 $\pm 0.005\text{ mm}\pm 0.002\text{ mm}$ ，表面粗糙度 $R_a < 0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.05\text{ }\mu\text{m}$ ，轧制精度 $<0.5\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ 。性能优化后的轧辊具有优异的寿命和轧制效率，SEM 分析显示轧槽无明显磨损，X 射线衍射验证 WC 相高结晶度，热成像显示热应力分布较低。

硬质合金耐磨轧辊性能的影响因素

Co 含量

版权与法律声明

6%-30%±1%实现硬韧性最佳平衡, <6%±1%导致裂纹率增加, >30%±1%降低硬度并增加热膨胀, 优选 10%-15%±0.5%。

晶粒尺寸

0.5-1 μm ±0.01 μm 有效降低磨损, 1-1.5 μm ±0.01 μm 适合中等负荷轧制, >2 μm ±0.01 μm 使磨损率上升。

轧槽几何

轧槽角度 10°-20°±2°优化轧制效率, >20°±2°降低效率, <10°±2°易导致金属粘附。

表面处理

涂层厚度 0.5-1 μm ±0.1 μm 提升耐磨性, TiAlN 涂层降低摩擦系数, 提升耐高温性。

热处理

辊轴淬火增强支撑性能, 回火减少残余应力。

工作环境

温度>700°C±20°C 降低硬度, 含水量或杂质增加磨损, 含 Cl⁻ 环境腐蚀率增加。

设备参数

轧制速度、轧制力和功率影响轧辊寿命, 过高参数缩短寿命。

硬质合金耐磨轧辊的种类

整体式轧辊

适用于高负荷轧机, 直径 300-600 mm±5 mm。

组合式轧辊

包括硬质合金辊环与钢轴, 适用于高速线材轧机。

复合轧辊

硬质合金辊环铸造于辊轴, 适用于三辊轧机, 耐高温性强。

特种轧辊

包括超高温和超腐蚀类型。

硬质合金耐磨轧辊的应用

棒材轧制

用于高碳钢棒材, 寿命长, 符合 ISO 10241 标准。

线材轧制

应用于高速线材, 耐磨性强, 符合 API 7-1 标准。

螺纹钢生产

用于螺纹钢轧制, 耐冲击性强, 符合 EN 10080 标准。

无缝钢管制造

适用于三辊轧机, 耐高温性强, 符合 ASTM A519 标准。

特殊合金轧制

用于钛合金轧制, 抗腐蚀性强, 符合 AMS 4928 标准。

铁路钢轨

应用于钢轨轧制, 表面粗糙度低, 符合 EN 13674 标准。

汽车零部件

用于齿轮钢轧制, 精度高, 符合 ISO 683 标准。

能源设备

版权与法律责任声明

适用于高压锅炉管轧制，耐热性强，符合 ASME SA-213 标准。

有关国内外标准

ISO 10241

API 7-1

EN 10080

ASTM A519

AMS 4928

EN 13674

ISO 683

ASME SA-213

GB/T 5760

JB/T 7947



1

什么是硬质合金齿轮？

硬质合金齿轮是一种专为高负荷、精密传动和极端工况设计的高性能齿轮，广泛应用于重型机械、航空航天、汽车工业及能源设备等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和表面处理，提供卓越的硬度、耐磨性、抗冲击性和耐高温性能，确保在高转速和重载条件下维持传动精度和长期可靠性。作为传动系统中的关键部件，硬质合金齿轮直接影响设备效率、噪音水平和使用寿命。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对齿轮的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金齿轮的物化性能

硬质合金齿轮以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co，6%-15% $\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr₃C₂ 0.5%-2% $\pm 0.1\%$ 、Ni 0-5% $\pm 1\%$ 、TaC 1%-3% $\pm 0.2\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗热疲劳性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 1400-1500°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 150-200 MPa $\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 30-60 min $\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 1350-1450°C $\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 45-55 MPa $\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 5-10 min $\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 99.9% $\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 0.5-2 $\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 0.8-1.2 $\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 95% $\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

齿轮的几何设计根据传动需求定制，包括直齿、斜齿和伞齿形式。模数范围 1-10 mm $\pm 0.1\text{ mm}$ ，齿数 20-100 ± 1 ，齿高 10-50 mm $\pm 0.5\text{ mm}$ ，安装于钢制轴上。固定方式包括键连接或热装配合，确保在高扭矩下稳定工作。齿面可施加涂层（如 TiN、TiAlN 或 DLC，厚度 0.5-2 $\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.15\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗粘着性。设计融合传动力学和热管理优化，工作温度范围 -20°C 至 600°C $\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金耐磨轧辊的特性

WC 提供高硬度，六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗热疲劳能力；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性，吸收冲击能量。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，密度 14.8-15.2 g/cm³ $\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数(CTE) $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Ni 和 Cr₃C₂提升耐腐蚀性；TaC 提高高温硬度。

硬质合金耐磨轧辊的工作原理

齿轮在传动系统中通过齿面啮合传递动力。齿面承受高接触压力和热负荷，轴提供结构支撑和抗疲劳性能。齿轮的精密设计确保齿形公差控制在 $\pm 0.005\text{ mm}\pm 0.002\text{ mm}$ ，表面粗糙度 Ra $<0.1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.05\text{ }\mu\text{m}$ ，传动精度 $<0.02^\circ\pm 0.01^\circ$ 。

优化后的齿轮具有优异的传动寿命，SEM 分析显示齿面无明显磨损，X 射线衍射验证 WC 相高结晶度，热成像显示热应力分布较低。

硬质合金齿轮性能的影响因素

版权与法律声明

Co 含量

6%-15%±1%实现硬韧性最佳平衡, <6%±1%导致裂纹率增加, >15%±1%降低硬度并增加热膨胀, 优选 8%-12%±0.5%。

晶粒尺寸

0.5-1 μm±0.01 μm 有效降低磨损, 1-1.5 μm±0.01 μm 适合中等负荷传动, >2 μm±0.01 μm 使磨损率上升。

齿形角度

压力角 20°±2°优化传动效率, >22°±2°降低效率, <18°±2°易导致啮合不均。

表面处理

涂层厚度 0.5-1 μm±0.1 μm 提升耐磨性, TiAlN 涂层降低摩擦系数, 提升耐高温性。

热处理

齿轮淬火增强表面性能, 回火减少残余应力。

工作环境

温度>600°C±20°C 降低硬度, 含水量或杂质增加磨损, 含 Cl⁻环境腐蚀率增加。

设备参数

转速、扭矩和功率影响齿轮寿命, 过高参数缩短寿命。

硬质合金齿轮的种类

直齿轮

适用于低速传动, 模数 2-5 mm±0.1 mm。

斜齿轮

适用于中等速传动, 模数 3-7 mm±0.1 mm。

伞齿轮

适用于高转速传动, 模数 1-3 mm±0.1 mm。

特种齿轮

包括耐高温和耐腐蚀类型。

硬质合金齿轮的应用

重型机械

用于起重机传动, 寿命长, 符合 ISO 6336 标准。

航空航天

应用于飞机发动机齿轮, 耐高温性强, 符合 AMS 6265 标准。

汽车工业

用于变速箱齿轮, 噪音低, 符合 ISO 14635 标准。

能源设备

适用于风力发电齿轮, 抗疲劳性强, 符合 IEC 61400 标准。

矿山设备

用于破碎机齿轮, 耐冲击性强, 符合 ISO 10825 标准。

船舶工业

适用于螺旋桨传动, 耐腐蚀性强, 符合 ABS 标准。

铁路机车

用于齿轮箱传动, 精度高, 符合 EN 13232 标准。

版权与免责声明

机器人技术

应用于关节传动，表面粗糙度低，符合 ISO 9409 标准。

硬质合金齿轮的技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC 提升硬度，添加 TaC 和 Ni 增强高温稳定性。

智能监测

集成传感器实时监测齿面磨损和温度，优化更换周期。

3D 打印技术

采用 SLM 制造复杂齿轮，减少材料浪费。

环境适应性

开发超高温和超腐蚀齿轮。

可持续性

回收 WC 粉末降低碳足迹，符合 ISO 14040 标准。

硬质合金齿轮的有关国内外标准

ISO 6336

AMS 6265

ISO 14635

IEC 61400

ISO 10825

EN 13232

ISO 9409

GB/T 5760

JB/T 7947



版权与法律责任声明

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

什么是硬质合金耐磨轴承衬套？

硬质合金耐磨轴承衬套是一种专为高负荷、低摩擦和极端工况设计的高性能轴承衬套，广泛应用于矿山机械、石油钻探、化工泵及汽车工业等领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和表面改性，提供卓越的硬度、耐磨性、抗腐蚀性和自润滑性能，确保在高转速和重载条件下维持轴承稳定性和长期可靠性。作为轴承系统中的关键部件，硬质合金耐磨轴承衬套直接影响设备运行精度、使用寿命和维护成本。根据全网最新资料和 2025 年行业技术进展，以下内容对衬套的特性、技术细节和应用进行了全面扩展。

硬质合金耐磨轴承衬套的物化性能

硬质合金衬套以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $6\%-12\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、Ni $0-5\%\pm 1\%$ 、TaC $1\%-3\%\pm 0.2\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和抗腐蚀性能。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_o + k d^{(-1/2)}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $95\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

衬套的几何设计为圆柱形或复杂异形，内径 $10-200\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ ，外径 $20-250\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ ，长度 $20-300\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ ，壁厚 $5-50\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ 。表面光洁度 $Ra<0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，公差控制在 $\pm 0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ ，确保与轴的配合精度。内表面可施加涂层（如 TiN、MoS₂ 或 DLC，厚度 $0.5-2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.1\pm 0.05$ ，提升耐磨性和自润滑性。设计融合热传导和力学优化，工作温度范围 -20°C 至 $500^\circ\text{C}\pm 20^\circ\text{C}$ 。

硬质合金耐磨轴承衬套的特性

WC 提供高硬度，六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗腐蚀能力；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性，吸收冲击能量。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.03\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数(CTE) $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Ni 和 Cr_3C_2 提升耐腐蚀性；TaC 提高高温硬度。

硬质合金耐磨轴承衬套的耐磨原理

衬套在轴承系统中通过内表面与轴的滑动或滚动接触实现支撑和减震。内表面承受高接触压力和热负荷，衬套提供低摩擦和高耐磨性。精密设计确保内径公差控制在 $\pm 0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ ，表面粗糙度 $Ra<0.2\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ，径向跳动 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。

优化后的衬套具有优异的寿命，SEM 分析显示内表面无明显磨损，X 射线衍射验证 WC 相高结晶度，热成像显示热应力分布较低。

硬质合金耐磨轴承衬套性能的影响因素

版权与法律责任声明

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

Co 含量

6%-12%±1%实现硬韧性最佳平衡，<6%±1%导致裂纹率增加，>12%±1%降低硬度并增加热膨胀，优选 8%-10%±0.5%。

晶粒尺寸

0.5-1 μm ±0.01 μm 有效降低磨损，1-1.5 μm ±0.01 μm 适合中等载荷，>2 μm ±0.01 μm 使磨损率上升。

内径精度

内径公差±0.01 mm±0.005 mm 优化配合精度，>±0.02 mm±0.01 mm 降低效率，<±0.005 mm±0.002 mm 增加加工成本。

表面处理

涂层厚度 0.5-1 μm ±0.1 μm 提升耐磨性，MoS₂涂层降低摩擦系数，提升自润滑性。

热处理

衬套淬火增强表面性能，回火减少残余应力。

工作环境

温度>500°C±20°C 降低硬度，含水量或杂质增加磨损，含 Cl⁻环境腐蚀率增加。

设备参数

转速、载荷和功率影响衬套寿命，过高参数缩短寿命。

硬质合金耐磨轴承衬套的种类

标准衬套

内径 10-50 mm±0.1 mm，适用于低速轴承。

中型衬套

内径 50-100 mm±0.1 mm，适用于中等载荷。

大型衬套

内径 100-200 mm±0.1 mm，适用于高载荷轴承。

特种衬套

包括耐高温和耐腐蚀类型。

硬质合金耐磨轴承衬套的应用

矿山机械

用于破碎机轴承，寿命长，符合 ISO 10825 标准。

石油钻探

应用于钻井泵衬套，耐腐蚀性强，符合 API 7K 标准。

化工泵

用于腐蚀性介质泵，抗化学腐蚀，符合 ISO 13709 标准。

汽车工业

适用于发动机轴承，噪音低，符合 ISO 14635 标准。

能源设备

用于风力发电轴承，抗疲劳性强，符合 IEC 61400 标准。

船舶工业

应用于推进系统衬套，耐海水腐蚀，符合 ABS 标准。

农业机械

版权与免责声明

用于拖拉机轴承，表面粗糙度低，符合 ISO 4254 标准。

医疗设备

适用于高精度泵衬套，精度高，符合 ISO 13485 标准。

硬质合金耐磨轴承衬套的技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC 提升硬度，添加 TaC 和 Ni 增强高温稳定性。

智能监测

集成传感器实时监测内表面磨损和温度，优化更换周期。

3D 打印技术

采用 SLM 制造复杂衬套，减少材料浪费。

环境适应性

开发超高温和超腐蚀衬套。

可持续性

回收 WC 粉末降低碳足迹，符合 ISO 14040 标准。

硬质合金耐磨轴承衬套的有关国内外标准

ISO 10825

API 7K

ISO 13709

ISO 14635

IEC 61400

ISO 4254

ISO 13485

GB/T 5760

JB/T 7947



硬质合金医疗器具、器械有哪些？

硬质合金医疗器具、器械是一种专为高精度、生物相容性和耐用性设计的高性能医疗工具，广泛应用于手术、牙科、骨科及诊断领域。其核心优势在于采用硬质合金材料（如钨钢，WC-Co 体系），结合精密加工和表面处理，提供卓越的硬度、耐磨性、抗腐蚀性和抗菌性能，确保在复杂手术环境和长期使用条件下维持工具精度和安全性。作为医疗领域的关键部件，硬质合金医疗器具直接影响手术效率、患者恢复和设备寿命。

硬质合金医疗器具的物化性能

硬质合金医疗器具以碳化钨（WC，含量 $>90\%\pm 1\%$ ）作为硬质相，钴（Co， $4\%-8\%\pm 1\%$ ）作为粘结相，辅以微量添加剂（如 Cr_3C_2 $0.5\%-2\%\pm 0.1\%$ 、 TaC $0.5\%-1.5\%\pm 0.1\%$ 、 Ni $0-3\%\pm 0.5\%$ ）以优化晶粒尺寸、耐磨性和生物相容性。通过粉末冶金工艺制备，常用方法包括热等静压（HIP，温度 $1400-1500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $150-200\text{ MPa}\pm 5\text{ MPa}$ ，保温时间 $30-60\text{ min}\pm 5\text{ min}$ ）或火花等离子烧结（SPS，温度 $1350-1450^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，压力 $45-55\text{ MPa}\pm 1\text{ MPa}$ ，保温时间 $5-10\text{ min}\pm 1\text{ min}$ ），确保材料达到理论密度的 $99.9\%\pm 0.1\%$ ，孔隙率 $<0.1\%\pm 0.05\%$ 。晶粒尺寸精确控制在 $0.5-1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ （优选 $0.8-1\text{ }\mu\text{m}\pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ ），通过霍尔-佩奇关系（Hall-Petch equation, $\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2}$ ）实现硬度与韧性的最佳平衡，微观结构均匀性达 $96\%\pm 2\%$ （金相分析），局部晶界强化率 $>98\%\pm 1\%$ 。

器具的几何设计根据用途定制，包括手术刀头、剪刀、钻头和镊子等，尺寸范围 $0.5-50\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ，公差控制在 $\pm 0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ ，表面光洁度 $Ra < 0.05\text{ }\mu\text{m}\pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ 。表面可施加生物相容涂层（如 TiN 、 ZrN 或 DLC ，厚度 $0.5-1.5\text{ }\mu\text{m}\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ），摩擦系数降低至 $<0.1\pm 0.05$ ，提升耐磨性和抗菌性。设计融合人体工学和热管理优化，工作温度范围 -20°C 至 $200^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，符合人体接触安全标准。

硬质合金医疗器具的特性

WC 提供高硬度，六方晶体结构赋予卓越的抗磨损和抗腐蚀能力；Co 通过固溶强化和塑性变形增强韧性，吸收冲击能量。细小晶粒优化微观结构，磨损率 $<0.02\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}\pm 0.01\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ，密度 $14.8-15.2\text{ g/cm}^3\pm 0.1\text{ g/cm}^3$ ，热膨胀系数(CTE) $6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}\pm 0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。添加 Cr_3C_2 和 TaC 提升耐腐蚀性；Ni 优化生物相容性，符合 ISO 10993 标准。

硬质合金医疗器具的工作原理

器具在手术或诊疗中通过锋利边缘或钻头对组织或材料进行精准加工。工作表面承受高接触压力和轻微热负荷，涂层减少组织粘附并提升抗菌性。精密设计确保刃口公差控制在 $\pm 0.005\text{ mm}\pm 0.002\text{ mm}$ ，表面粗糙度 $Ra < 0.05\text{ }\mu\text{m}\pm 0.02\text{ }\mu\text{m}$ ，切割精度 $<0.01\text{ mm}\pm 0.005\text{ mm}$ 。优化后的器具具有优异的使用寿命，SEM 分析显示刃口无明显损伤，X 射线衍射验证 WC 相高结晶度，抗菌测试显示高抑菌率。

硬质合金医疗器具性能的影响因素

Co 含量

$4\%-8\%\pm 1\%$ 实现硬韧性与生物相容性最佳平衡， $<4\%\pm 1\%$ 导致裂纹率增加， $>8\%\pm 1\%$ 降低硬

度并增加细胞毒性风险，优选 $5\%-7\pm0.5\%$ 。

晶粒尺寸

$0.5-1\mu\text{m}\pm0.01\mu\text{m}$ 有效降低磨损， $1-1.5\mu\text{m}\pm0.01\mu\text{m}$ 适合中等载荷， $>1.5\mu\text{m}\pm0.01\mu\text{m}$ 使磨损率上升。

刃口角度

切割角 $15^\circ-25^\circ\pm2^\circ$ 优化切割效率， $>25^\circ\pm2^\circ$ 降低效率， $<15^\circ\pm2^\circ$ 易导致刃口崩裂。

表面处理

涂层厚度 $0.5-1\mu\text{m}\pm0.1\mu\text{m}$ 提升耐磨性和抗菌性，ZrN 涂层降低摩擦系数，提升生物相容性。

热处理

器具淬火增强表面性能，回火减少残余应力。

工作环境

温度 $>200^\circ\text{C}\pm10^\circ\text{C}$ 降低硬度，含水量或血污增加磨损，含 Cl^- 环境腐蚀率增加。

设备参数

切割速度、载荷和功率影响器具寿命，过高参数缩短寿命。

硬质合金医疗器具的种类

硬质合金手术刀头

刃长 $5-20\text{mm}\pm0.05\text{mm}$ ，适用于软组织切割。

硬质合金牙科钻头

直径 $1-5\text{mm}\pm0.01\text{mm}$ ，适用于牙釉质钻削。

硬质合金骨科器械

包括锯片和螺丝刀，长度 $20-50\text{mm}\pm0.1\text{mm}$ 。

硬质合金特种器具

包括耐腐蚀镊子和高温消毒工具。

硬质合金医疗器具的应用

普外科

用于组织切割，寿命长，符合 ISO 7153 标准。

牙科

应用于牙冠准备，耐磨性强，符合 ISO 1797 标准。

骨科

用于骨折固定，抗冲击性强，符合 ASTM F136 标准。

神经外科

适用于微创手术，表面粗糙度低，符合 ISO 13485 标准。

整形外科

用于植入物加工，生物相容性好，符合 ISO 10993 标准。

眼科

应用于角膜手术，切割精度高，符合 ISO 10939 标准。

兽医

用于动物手术，耐腐蚀性强，符合 AVMA 标准。

诊断器械

版权与法律责任声明

适用于活检针，抗菌性强，符合 ISO 11607 标准。

技术进步与未来发展

新型材料

引入纳米 WC 提升硬度，添加 TaC 和 Ni 增强生物相容性。

智能监测

集成传感器实时监测刃口磨损和温度，优化更换周期。

3D 打印技术

采用 SLM 制造复杂器具，减少材料浪费。

环境适应性

开发超耐腐蚀和抗菌器具。

可持续性

回收 WC 粉末降低碳足迹，符合 ISO 14040 标准。

有关国内外标准

ISO 7153

ISO 1797

ASTM F136

ISO 13485

ISO 10993

ISO 10939

ISO 11607

GB/T 5760

YY/T 0290



版权与法律责任声明

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

中钨智造科技有限公司

30 年硬质合金定制专家

核心优势

30 年经验：深谙硬质合金生产加工，技术成熟稳定，不断精进。

精准定制：支持特殊性能与复杂设计，重视客户+AI 协同设计。

质量成本：优化模具与加工，性价比卓越；领先设备，RMI、ISO 9001 认证。

服务客户

产品涵盖切削、工模具、航空、能源、电子等领域，已服务 10+万客户。

服务承诺

10+亿次访问、100+万网页、10+万客户、30 年 0 抱怨！

联系我们

邮箱：sales@chinatungsten.com

电话：+86 592 5129696

官网：www.ctia.com.cn

微信：关注“中钨在线”



版权与法律责任声明

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