

Research on the Application of Superhard Coating Technology for Cutting Tools in Mechanical Processing

Guangyu Guo

Techmart (Shenzhen) Limited, shenzhen 518103 Guangdong, China

Abstract: The superhard coating technology for cutting tools has important applications in the field of mechanical processing. This article introduces the development of superhard coating materials for cutting tools, including low-pressure gas-phase synthesis of diamond, cubic boron nitride, and physical vapor deposition (PVD) coating technology. The superhard coating of cutting tools is widely used in turning, milling, tapping, key component machining, high-speed steel drill bits and taps. Research has shown that coatings can reduce cutting forces and improve tool life, but attention should be paid to residual compressive stress. The future development direction includes researching new superhard material cutting tools and developing coating methods that are more wear-resistant and have high temperature hardness.

Keywords: Tool superhard coating; Machining; Cutting performance

刀具超硬涂层技术在机械加工中的应用研究

郭光宇

科汇纳米技术(深圳)有限公司, 中国·广东深圳 518103

摘要: 刀具超硬涂层技术在机械加工领域具有重要应用。本文介绍了刀具超硬涂层材料, 包括低压气相合成金刚石、立方氮化硼, 物理气象沉积 (PVD) 涂层技术的发展。刀具超硬涂层广泛应用于车削、铣削、攻丝、关键部件加工、高速钢钻头和丝锥。研究表明, 涂层可降低切削力、改善工具寿命, 但需注意残余压应力。未来发展方向包括研究新型超硬材料刀具和开发更耐磨、高温硬度的涂层方法。

关键词: 刀具超硬涂层; 机械加工; 切削性能

1 刀具超硬涂层材料

刀具超硬涂层材料的研究和应用是现代制造业中的一个重要领域, 特别是在高速切削、精密加工以及难加工材料的加工中, 选择合适的刀具材料和涂层技术对于提高加工效率和加工质量具有重要意义, 可以对几种超硬涂层材料进行详细的分析和比较。^[1]

1.1 低压气相合成金刚石

这种技术通过热丝化学气相沉积 (HFCVD) 方法在基体上沉积金刚石薄膜。金刚石因其极高的硬度、热稳定性和低摩擦系数而被广泛应用于各种超硬涂层材料中。^[2]然而, 金刚石的高成本和在某些条件下的易碎性限制了其更广泛的应用。

1.2 聚四面体氮化硼(PCBN)

PCBN是由立方氮化硼颗粒和粘结剂在高温高压下烧结而成的, 它结合了单晶CBN的高硬度和聚晶结构的均匀性, 具有优异的耐磨性和化学稳定性。日本也

有推出加PCBN+ PVD 多元多层及纳米复合新涂层特别适合于加工硬化钢和其他硬质材料。^[3-5]

2 多元多层复合涂层技术

多元多层复合涂层技术通过在刀具表面形成由多种不同材料组成的多层结构, 利用各层材料的互补特性来提升整体的性能。这种技术不仅可以提高刀具的硬度和耐磨性, 还能增强其抗高温氧化的能力。例如, TiAlN 基的多元膜、复合膜和纳米多层膜的研究已经显示出良好的应用前景。^[6]此外, 这种技术还被用于开发具有高硬度、高结合强度和低摩擦系数的纳米复合涂层。

3 应用领域

3.1 车削、铣削及攻丝

在车削、铣削及攻丝领域, 超高速切削技术的应用可以提高切削效率、降低工件表面粗糙度, 并提高零件加工质量。此外, 高性能超硬涂层刀具的开发, 多元多层复合涂层技术, 显著提高了高速钢钻头和丝

锥的切削性能。这些技术的应用不仅提高了加工效率，还改善了加工质量，尤其是在处理高硬度材料时

3.2 高速钢钻头和丝锥高性能超硬涂层

高速钢钻头和丝锥通过采用高性能超硬涂层，如氮化碳钛-氮化钛复合膜，可以显著提高其耐磨性和耐用度。这种涂层不仅提高了刀具的切削性能，还大幅度延长了刀具的使用寿命，从而降低了生产成本。

3.3 硬度关系研究：齿轮滚插加工

在齿轮滚插加工中，AlCrN 涂层刀具的应用可以显著提高对中硬齿面齿轮的加工精度和表面质量。通过合理的涂层选择和工艺参数设置，可以有效解决普通高速钢刀具难以加工的问题，确保加工质量满足设计要求。^[7]

这些应用领域展示了先进制造技术在提高加工效率、改善加工质量和降低生产成本方面的巨大潜力。通过不断的技术创新和材料研究，未来在这些领域的应用将更加广泛和深入。

4 切削性能与机理

在涂层刀具的切削性能通常优于未涂层刀具。这是因为涂层可以提供更好的耐磨性、热稳定性和化学稳定性，从而减少切削过程中的摩擦和磨损，降低切削力。例如，AlTiBN 基涂层刀片在车削高强度合金钢时表现出良好的切削性能，磨损较小，耐用度提高。此外，涂层刀具的表面完整性对刀具性能具有重要影响，其中残余应力作为表面完整性的重要组成部分，是刀具切削寿命的决定性因素之一。因此，涂层刀具的切削力通常比未涂层刀具小，且切削力减小的程度因涂层材料和工艺的不同而异。

5 加工效果提升策略

为了提升加工效果，特别是表面纹理和工具寿命的改善，可以从以下几个方面进行策略制定：

5.1 表面纹理改善工具寿命

表面纹理的改善可以通过多种方式实现，包括物理和化学方法。根据现有资料，表面涂层技术是提高刀具表面性能的有效手段。例如，通过增强离子刻蚀技术，并对涂层前表面进行刻蚀处理，可以显著提升刀具的表面质量和使用寿命。此外，局部涂层法(例如硬质合金钻头)也显示出提高刀具使用寿命和加工精度的潜力，与整体涂层法相比，局部涂层的费用更低，能显著延长刀具的使用寿命。

5.2 选择合适的涂层材料和结构以提高切削质量

选择合适的涂层材料和结构对于提高切削质量至关重要。研究表明，TiN/TiCN 多层涂层钻头在钻削钛合金时，由于其多层结构设计，不仅提高了涂层硬度，增加了耐磨性，还增强了抗剥落能力，从而进一步提高了钻头的使用寿命。此外，不同类型的涂层材料，如TiAlSiN、TiN和TiAlN，对刀具的摩擦系数和耐磨性能有不同的影响，其中TiAlSiN涂层刀具表现出最优的耐磨性能及抗高温性。这表明，通过选择合适的涂层材料和结构，可以有效提高刀具的切削性能和加工质量。

为提升加工效果，特别是表面纹理和工具寿命的改善，应重点考虑采用表面涂层技术，选择合适的涂层材料和结构。通过这些策略实施，可以有效提高刀具的耐磨性和切削性能，进而提升加工质量和效率。

6 未来发展方向

未来发展方向主要集中在两个方面：新型超硬材料刀具材料的发展以及开发新的涂层方法以提高耐磨性和高温硬度。在新型超硬材料刀具材料方面，硅化碳(Si₃N₄)涂层作为一种新型超硬刀具材料，近年来得到了发展。Si₃N₄用DC 阴极辉光电弧涂覆在刀具表面，具有极高的硬度，能够显著提高刀具的耐用度。此外，稀有元素的添加，例如Si(硅)、B(硼)和Ni(镍)这些材料因其能使晶体细化的性能而被广泛应用于各种切削加工中。随着机械制造业的发展，对刀具材料的要求也在不断提高，目前常用的刀具材料包括高速钢、粉末高速钢、硬质合金、陶瓷和超硬刀具材料，其中超硬材料如涂层刀具、人造立方氮化硼+涂层和人造聚晶金刚石等因其强度和韧性与硬质合金相当，同时具有超硬材料的硬度和耐磨性而得到越来越多的应用。

在开发新的涂层方法以提高耐磨性和高温硬度方面，随着涂层技术的进步，刀具单涂层向着多元多层及纳米复合技术的方向发展。具有高硬度、高耐磨性及抗高温氧化性能的纳米技术刀具涂层是近来研究的热点，并显示出良好的应用前景。多元多层复合涂层技术的应用，使得高性能超硬涂层在高速钢钻头和丝锥上的应用成为可能，同时指出了影响涂层刀具切削性能的因素。TiAlN 薄膜作为TiN 薄膜的一种改进，其综合性能更为优良，已成为膜层研究中的重点课题之一。此外，硬质合金涂层刀具的研究新进展表明，涂层硬质合金具有高硬度和优良的耐磨性，延长了刀具的寿命，这是切削刀具发展的又一次革命。

未来发展方向将侧重于开发新型超硬材料刀具材料,如氮化硅涂层如TiAlN超厚涂层, TiAlSiN, AlCrBN, 立方氮化硼+PVD和金刚石等, 并通过多元多层及纳米复合技术等新涂层方法来提高刀具的耐磨性和高温硬度, 以满足机械制造业对高性能刀具的需求。

参考文献

[1] 冯克明. 超硬材料刀具的性能及用途 [J]. 中国机械工程, 1995(02):13-14.

[2] 金焯堂. 高速钢刀具多元 / 多层复合纳米硬质涂层的工业化制备及性能研究 [D]. 青岛理工大学, 2018.

[3] 徐和平, 邬本祥, 陈伦等. 高硬高强度钢专用丝锥的开发与应用 [J]. 工具技术, 2020,54(09):56-59.

[4] 赵永哲. 高速铣削淬硬钢刀具参数及加工表面质量的研究 [D]. 昆明理工大学, 2014.

[5] 林欧, 赵文昌. 硬孔攻丝用高性能先端丝锥的设计及应用 [J]. 工具技术, 2020,54(05):41-43.

[6] 陈国庆, 王大中. 涂层钻头钻削钛合金加工质量的研究 [J]. 农业装备与车辆工程, 2023,61(03):137-140.

[7] 杨军, 张海燕, 樊俊珍. 新型刀具材料的研究现状 [J]. 包钢科技, 2021,47(03):82-85.