

Research on Material Selection and Performance Optimization of Fine Boring Tool Guide Bar

Tianxiang Zhang

Wuhu Eketek Powertrain Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241009, China

Abstract

With the continuous development of mechanical processing technology, the importance of fine boring processing in the manufacturing industry is increasingly prominent. The selection of the material of fine boring cutter guide strips directly affects the processing accuracy, tool life, production cost and efficiency. This paper comprehensively analyzes the selection issue of the material of fine boring cutter guide strips, expounds the key factors affecting the selection, including the characteristics of the processed materials, cutting parameters, processing environment and the physical and mechanical properties of the guide strip materials themselves. It also analyzes in detail the performance characteristics of different materials (such as cemented carbide, ceramics, superhard materials, etc.) and their applicability in specific scenarios. Meanwhile, combined with practical cases, it discusses how to reasonably select the material of fine boring cutter guide strips according to specific processing requirements, providing a reference basis for improving the quality and economic benefits of fine boring processing.

Keywords

fine boring cutter; guide strip material; performance characteristics; applicability

精镗刀导条材质选择与性能优化研究

张天响

芜湖埃科泰克动力总成有限公司，中国·安徽 芜湖 241009

摘要

随着机械加工技术的不断发展，精镗加工在制造业中的重要性日益凸显。精镗刀导条材质的选择直接影响加工精度、刀具寿命、生产成本和效率。论文全面分析了精镗刀导条材质的选择问题，阐述了影响选择的关键因素，包括被加工材料的特性、切削参数、加工环境以及导条材质自身的物理和机械性能。还详细分析了不同材料（如硬质合金、陶瓷、超硬材料等）的性能特点及其在特定场景中的适用性。同时，结合实际案例，探讨了如何根据具体加工要求合理选择精镗刀导条材质，为提高精镗加工质量和经济效益提供参考依据。

关键词

精镗刀；导条材质；性能特点；适用性

1 导条的定义与作用

导条是精镗刀的一个关键部件，它通常是安装在精镗刀上与已加工孔壁接触的条状结构，主要起到导向和支撑作用，能帮助精镗刀在镗削加工过程中保持正确的进给方向和稳定的切削姿态，减少刀具的振动和偏摆，从而提高加工精度、表面质量和刀具寿命，确保镗孔加工的准确性和可靠性。

其主要作用包括：①导向作用：在镗削过程中，导条与已加工的孔壁接触，保证孔的直线度、圆柱度和同轴度等形位公差要求。②增强刚性：有助于提高刀具整体的刚性，减少加工过程中的振动和变形，使加工过程更平稳。③改善表面质量：有助于获得较好的孔壁表面粗糙度。④提高加工

精度：通过精确的导向和稳定，有效提升镗孔的尺寸精度和几何精度。⑤提高加工效率：稳定的导向能使加工更顺畅，减少废品率，间接提高生产效率。

2 导条材质的种类特性

2.1 高速钢 (HSS)

①高韧性：在恶劣的加工环境下，能抵抗冲击和振动，减少崩裂等情况发生。②良好的可加工性：相对比较容易进行各种机械加工，以形成精确的导条形状。

2.2 硬质合金

①高硬度：具有很高的硬度，能够有效切削和耐磨，可加工硬度较高的材料。②高强度：具备较高的抗弯强度和抗压强度，能承受较大的切削力。③耐高温：可以在较高温度下保持其力学性能和硬度，适应高速切削时产生的高温。④较好的韧性：虽然相对脆性，但仍有一定的韧性，在合理

【作者简介】张天响（1984-），男，中国安徽芜湖人，本科，工程师，从事汽车制造行业机加工刀具领域研究。

应用下不易崩裂。

2.3 陶瓷

①高硬度：具有非常出色的耐磨性能，能长时间保持良好状态。②耐高温性强：可以在高温环境下稳定工作，适合一些高温加工环境。③化学稳定性良好：不易受化学物质侵蚀，抗腐蚀性好。④重量轻：相对其他一些材质更轻巧。⑤摩擦系数低：可减少摩擦阻力，有利于提高加工效率和精度。⑥绝缘性好：在一些需要绝缘的场合有优势。

2.4 立方氮化硼 (CBN)

①高硬度：仅次于金刚石，具有很强的耐磨性，能长时间保持良好的导向精度。②热稳定性好：可在较高温度下保持性能稳定，适合高速切削等工况。③化学惰性：不易与其他物质发生化学反应，耐腐蚀性强。④良好的切削性能：可获得较高的加工精度和表面质量。⑤可干式切削：在某些情况下可实现干式切削，减少切削液的使用和污染。

2.5 聚晶金刚石 (PCD)

①极高的硬度：是目前已知的最硬材料之一，耐磨性极其出色。②低摩擦系数：可减少摩擦阻力，有利于提高加工效率和精度。③高导热性：能快速传导热量，降低切削区温度，减少热变形。④化学稳定性好：不易与大多数材料发生化学反应、不易受酸碱等物质侵蚀。⑤出色的切削性能：能实现高速、高精度切削，获得非常光洁的加工表面。

3 选择导条材质的考虑因素及方法

3.1 被加工材料的特性

①硬度：如果被加工材料硬度高，如高硬度合金等，可能需要选择硬度更高、耐磨性更好的导条材质。对于较软的材料，则可以选择成本相对较低的材质。②韧性：对于韧性较好的材料，导条材质需具备一定的抗冲击能力，避免在加工中受损；而对于脆性材料，要避免选用过于脆性的导条材质以免相互影响。③热导率：如果被加工材料热导率低，加工时容易产生高温，导条材质应具备较好的耐热性和热稳定性。④化学性质：考虑被加工材料的化学活性，避免导条材质与之发生化学反应而影响性能和寿命，如在加工一些腐蚀性材料时要选择耐腐蚀性较好的材质。⑤加工难度：如果被加工材料加工难度大、对精度要求高，就需要导条材质能与之匹配，保证加工的顺利进行和良好的加工质量。

3.2 加工工艺要求和条件

加工工艺要求：①精度要求：如果对加工精度要求非常高，可能需要选择硬度高、尺寸稳定性好的材质，以减少磨损对精度的影响。②表面质量要求：对于需要获得高表面光洁度的加工，应选择能减少摩擦、不易产生划痕的导条材质。

加工条件：①切削速度：高速切削时需要导条材质有良好的耐热性和耐磨性，低速切削时要求相对较低。②切削力：在大切削力的工况下，导条材质需具备足够的强度和韧性来抵抗变形和损坏。③冷却方式：不同的冷却方式（如油冷、水冷等）可能对导条材质的性能有不同要求，如耐腐蚀性等。④加工持续时间：长时间连续加工对导条材质的耐用

性要求更高，需选择耐磨性能好、疲劳强度高的材质。

3.3 加工环境和条件

①温度条件：如果加工环境温度较高，应选择耐高温性能好的材质，如陶瓷、超硬等材质，它们在高温下仍能保持较好的性能。低温环境可能对某些材质的脆性有影响，要注意材质的低温特性。②湿度条件：高湿度环境下，要考虑材质的抗腐蚀性，防止生锈等问题，耐蚀性较好的材质可能更合适。③污染情况：若加工环境存在较多粉尘、杂质等，选择不受污染且易清理的材质，避免杂质嵌入影响导条性能。④振动情况：在振动较大的环境中，需要选择强度高、韧性较好的材质，以减少因振动导致的损坏。⑤空间限制：若加工空间较为狭小或有特殊布局要求，要考虑导条材质的尺寸适应性和安装便利性。⑥加工时长：长期连续加工时，要求导条材质有良好的耐久性和稳定性，以保证长时间可靠的加工运行。

3.4 成本因素

①材料本身价格：不同的导条材质价格差异较大。例如硬质合金相对较为经济实惠，而陶瓷、超硬材质成本相对较高。②加工难度和成本：有些材质加工难度大，需要特殊的工艺和设备，会增加整体成本。③使用寿命：虽然某些高价材质初始成本高，但如果其使用寿命长，分摊到单位加工量的成本可能反而较低。需要综合考虑材质的耐久性和更换频率带来的成本影响。④通用性和可替换性：选择较为通用的材质，在采购和更换时会有成本优势，而且更容易找到替代品，避免因特殊材质供应问题导致成本上升。

3.5 参考对标成功案例和经验

①行业内知名企业或先进工厂：调研同行业中的那些在生产效率、产品质量等方面表现出色的企业，了解他们在类似加工中所使用的导条材质，借鉴其经验。②相似工艺和产品的案例：寻找与自身加工工艺、被加工材料相似的成功案例，看他们选用了何种导条材质以及取得了怎样的效果，总结分析优劣势。③技术交流和研讨会：参加相关的技术交流或研讨会，与同行们分享和交流导条材质选择的成功经验和教训。④咨询供应商和专家：刀具供应商通常接触大量用户，他们知道在某些特定情况下哪种导条材质表现较好，可以向他们咨询相关案例和建议。⑤专业文献和数据库：查阅专业的技术文献、行业报告或相关数据库，查找关于导条材质在特定场景下应用成功的案例信息。⑥合作伙伴和客户：如果有长期合作的伙伴或对产品有特定要求的客户，了解他们以往合作对象在导条材质选择方面的经验，看是否有可参考之处。

4 实际应用案例分析

①加工工件：压铸铝合金壳体；工件材质：ADC12；工件硬度：HB80。②产品要求精度：孔径精度 IT6 级、圆柱度 0.01mm、同轴度 0.05mm、表面粗糙度 $Ra \leq 1.6$ ；切削速度和进给量： $V=600\text{m/min}$ 、 $f=0.1\text{mm/r}$ 。③根据以上加工工件的材质、硬度、精度和加工参数的要求对各常用的导

条材质进行选型分析。

4.1 硬质合金导条可以加工铝件，但不是最理想的选择

硬质合金具有较好的硬度和耐磨性，能够对铝件进行加工。然而，由于铝的粘性较大，在加工过程中容易产生积屑瘤，影响加工表面质量和尺寸精度。但如果对加工要求不是特别高，或者在一些特定的条件下，硬质合金导条也是可以用于加工铝件的。

4.2 陶瓷导条一般不适合加工铝件

陶瓷具有高硬度、耐高温、耐磨等优点，但相对较脆，韧性较差。在加工铝件时，通常需要刀具或导条具有一定的韧性和切削性能，以适应铝件的加工特点。

然而，在某些特定的高精度、高耐磨要求的特殊加工场景下，经过特殊设计和处理的陶瓷导条或许可以用于铝件加工，但这不是常见的普遍选择。

4.3 CBN 导条不适合加工铝件

CBN 具有很高的硬度，适合加工硬度大于 HRC50 以上和耐磨性强的材料，如淬硬钢（轴承钢、模具钢等）、铸铁（灰铸铁、球墨铸铁、高铬铸铁、合金耐磨铸铁等）、高速钢、硬质合金、高温合金等黑色金属材料。然而，铝件的硬度相对较低，使用 CBN 加工铝件并不合适，反而会加快 CBN 材料的磨损。

4.4 PCD 导条可以加工铝件，是加工铝件的理想选择

PCD 具有高硬度、高耐磨性、低摩擦系数和良好的热稳定性等特点。在加工铝件时，能够有效地减少积屑瘤的产生，提高加工表面质量和尺寸精度，延长刀具的使用寿命，并且能够实现较高的切削速度和进给速度，提高加工效率。

所以，加工有色金属和非金属类材料，如铝、铜、石材、木材、玻璃等材料通常推荐优先使用 PCD 材质导条，其次使用硬质合金材质导条。

硬质合金和 PCD 导条的成本差异约在 5%~10% 左右，为了验证理论同时与实际相结合，分别用硬质合金和 PCD 导条精镗刀进行实际应用对比分析。

①硬质合金导条精镗刀验证结果：硬质合金导条精镗刀使用 $V=600\text{m/min}$ 、 $f=0.1\text{mm/r}$ 参数加工工件外观有积屑刮痕，检测粗糙度不合格，检查导条有明显积屑瘤。（如图 1 所示）二次验证使用 $V=260\text{m/min}$ 、 $f=0.1\text{mm/r}$ 参数加工外观合格，经检测各项加工精度符合产品尺寸要求。



图 1 硬质合金导条有积屑瘤产生

通过实际加工与理论的相结合，充分证明了硬质合金导条精镗刀在切削铝件时容易发生“胶焊”或粘连，在加工过程中产生积屑瘤，从而影响加工表面质量和尺寸精度。但如果对加工参数没有较高范围的限制，硬质合金导条也是可以在低速加工中使用的。

② PCD 导条精镗刀验证结果：PCD 导条精镗刀使用 $V=600\text{m/min}$ 、 $f=0.1\text{mm/r}$ 参数加工工件外观合格，检查导条外观无痕迹（如图 2 所示），经检测各项加工精度符合产品尺寸要求。



图 2 PCD 导条无积屑瘤

通过实际加工与理论的相结合，充分证明了 PCD 导条精镗刀在加工铝件时，能够有效地减少积屑瘤的产生，提高加工表面质量和尺寸精度，因为其具有更低的摩擦系数和更高的耐磨性，并且能够实现较高的切削速度和进给速度，提高加工效率。

5 结论

在选择精镗刀导条材质时，需综合考虑多个关键因素。首先，评估加工材料的特性，如硬度、韧性等，确保导条材质与之相匹配，能有效应对磨损和冲击，高硬度的材质往往适合加工较硬的工件。其次，要关注导条的耐磨性，这直接影响其使用寿命和加工精度的保持，耐磨性能良好的材质可减少更换频率。强度也是重要考量因素，以保证在加工过程中能稳定支撑和导向。最后，还需考虑材质的热稳定性，尤其在高速加工或高温环境下能保持性能稳定。成本因素同样不可忽视，需在满足性能要求的前提下选择经济合理的材质。同时，要结合具体的加工工况，如加工参数、环境、质量、切削力等，使导条材质适应实际作业条件。对不同材质的性能特点要有深入了解，并通过实际应用经验和测试数据来辅助决策，从而选出最适合特定加工需求的精镗刀导条材质。

参考文献

- [1] 刘俊超,严伟宏.轻量化大直径导条镗刀制造技术[P].2023.
- [2] 黄幸周,李华浩,唐宗智,等.一种加工凸轮轴底孔的导条式复合阶梯镗刀及方法[P].2017.
- [3] 周强,丁小刚,吴继波,等.一种硬加工用导条刀制造技术[P].2024.
- [4] 吴峰.刀具材料及镗、铣刀具介绍及选择[P].2019.
- [5] 范才福.一种凸轮轴孔导条精镗刀制造技术[P].2019.