

PCBN刀具在硬车削中的磨损分析

孙辉

机械工业第九设计研究院股份有限公司 吉林长春 130011

摘要：选取17个不同材质的PCBN切削刀片，对这些刀片在整个寿命周期内进行不同切削条件下的硬车削试验，通过试验结果分析各切削参数对刀具寿命的影响，从而为各种切削加工选择刀具提供依据。

关键词：PCBN刀具；硬车削；磨损；切削参数

1 序言

硬车削是一种发展中的技术，与磨削相比有许多优点。为了提高这项技术的可实施性，必须解决有关该生产工艺满足工件表面粗糙度和完整性要求的问题。此外，此工艺的经济性，与刀具磨损模式和寿命密切相关。

如果硬车削所需的脆性刀具使用不当，硬车削的经济效益会因刀具快速磨损或刀具过早失效而下降。即使是稳定的、渐进的刀具磨损也会因切削力、残余应力，以表面再硬化层（通常称为白层）的形式而导致微观结构发生变化。该领域的研究通常集中在选择合适的刀具材料上，结果表明CBN（立方氮化硼）刀具的性能优于碳化物或氧化铝刀具。在适当的条件下，CBN刀具可以很好地平衡其昂贵的初始成本和长刀具寿命。然而，刀具的侧面磨损影响了白层的深度，也缩短了刀具的使用寿命。因此，如果不能更好地了解CBN刀具的磨损对工件表面质量的影响，硬车削的实施将受到限制。

2 试验条件

选取了17个不同的PCBN（人造聚晶立方氮化硼）切削刀片在整个寿命周期内在不同切削条件下进行硬车削。试验数据表显示，测试的4种不同PCBN刀具来自2个不同刀具供应商，分别是高CBN含量和低CBN含量。两刀具供应商分别被称为甲和乙，试验条件涵盖了刀具供应商提供的推荐值范围。

所有的加工试验都是在哈挺公司Conquest T-42

SP车床上完成。被加工材料为AISI 52100钢，硬度58~62HRC。切削刀片几何形状为80°菱形，20°边缘倒角0.1 mm。刀柄提供-5°侧前角和后前角，以及5°侧刃和端刃角。试验内容为对同一根硬化管坯分段进行车削，对同一段管坯每次车削长度为2.54 cm，试验管坯（见图1）直径依次减小，车削20次后，该段管坯被线切割掉，接下来开始下一段管坯的车削。切削前用氧化铝刀片去除热处理后的氧化层，以便在干净的表面上进行所有试验。使用光学显微镜和ZYGO显微镜，定期进行刀具测量。

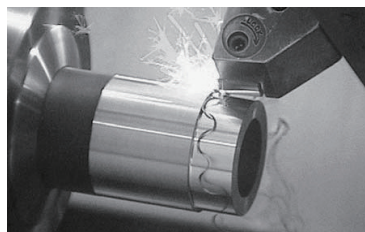


图1 试验管坯

3 试验结果分析

3.1 刃口磨损

在硬车削中，刃口是刀具寿命的关键。由于硬车削刀具所用材料脆性好，其边缘坚固，所以几何形状有助于防止刀具过早损坏，但一旦有刃口切边形成则会加速刀具磨损。这种情况会因大切削载荷和硬车削的负前角而放大。现在刀具供应商会用磨光边缘倒角来强化边缘切削刃，这有助于提高刀具的寿命。

在硬车削方面的研究表明，刃口处理会影响硬车削中的切削力、残余应力和白层。因为进给量和

背吃刀量都很小，以至于切削发生在刀具的刀尖半径上，而且通常只发生在刃边倒角上。刀具磨损前后对比如图2所示。图2b所示为磨损的弧坑区域。

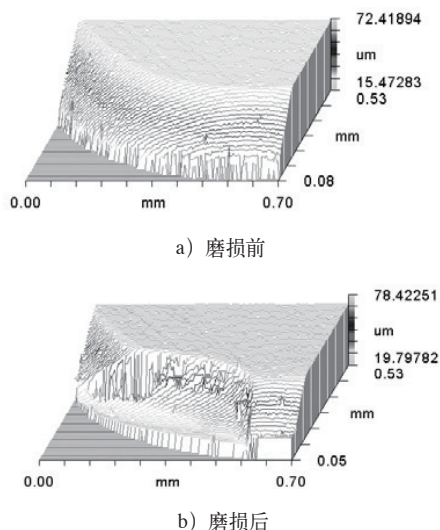


图2 刀具磨损前后对比

由于刃口处理会影响刀具磨损和零件表面质量，因此测量切削刃几何外形在刀具寿命期间的变化情况非常重要。图3为刀具刃口的二维剖面图变化轮廓，此图清楚地显示了切削刃外形的巨大变化。磨损后的刀具与磨损前相比，由于前角从正值变为大负值，所以切削刃尖端的角度比初始切削刃弱，这是刀具断裂的区域。通过这个试验观察测量可以得出刀具磨损外形剖面图，为下一步测量刀具磨损区尺寸及预测刀具失效时间打下基础。

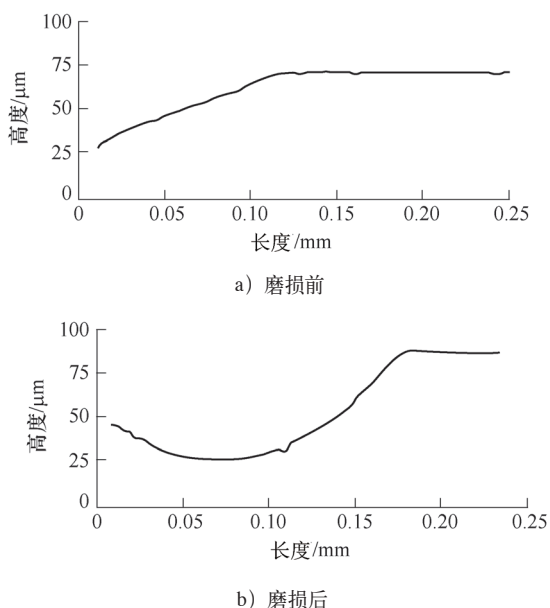


图3 刀具刃口的二维剖面

3.2 侧面磨损与刀具寿命预测计算

对刀面磨损量进行量化非常重要，图4显示了刀具磨损前后切削刃三维表面图像，测量图4b磨损数据，可以获得二维剖面图（类似于图3），可用于测量侧面磨损的宽度。

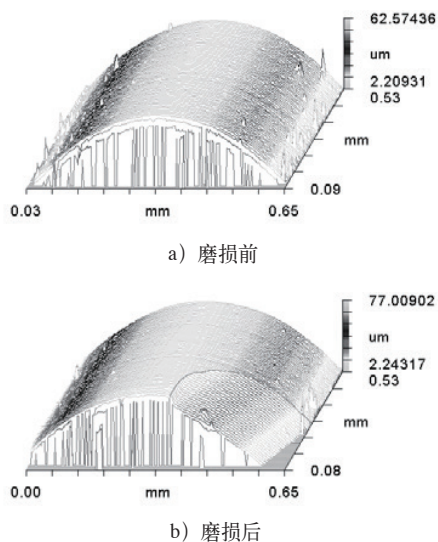


图4 刀具磨损前后刀具侧面状态

根据切削时间和侧面磨损测量值绘制的对应关系如图5所示。

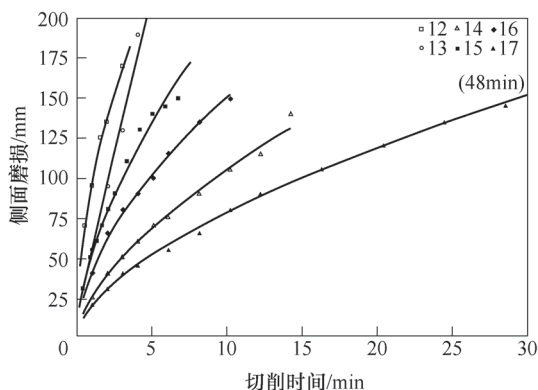


图5 刀具的侧面磨损测量值与切削时间的对应关系

刀具的侧面磨损量可用式（1）计算

$$VB = at^b \quad (1)$$

式中， VB 是侧面磨损量（ μm ）； t 是累积切削时间（min）； a 和 b 都是特定刀具材料和切削条件组合的常数。

从图5可以看出，在大多数切削条件下，后刀面在开始阶段磨损非常迅速，当侧面磨损在150~200 μm 时，大多数刀具失效。通过图5中的特定刀具在不同切削条件下的线性回归数据，可以计算出常数 a 和 b ，得出这种刀具的磨损和切削时间关系的公

式，这个公式是一种预测失效时间的简单方法。预计磨损量在超过 $150\mu\text{m}$ 的情况下刀具会失效，利用式（1）可以计算出切削刀具的使用寿命。这是一种在合理切削范围内预测后刀面磨损量或刀具寿命的方法。

3.3 切削参数及刀具材料对刀具寿命影响

刀具失效都是在刀具上发现刀口断裂时或侧面磨损超过 $200\mu\text{m}$ 时确定的。选择 $200\mu\text{m}$ 是因为大多数刀具的侧面凹地测量值在 $150\sim 200\mu\text{m}$ 。需要注意，失效标准是明显的边缘断裂。但是，尽管边缘断裂，许多刀具还可以用于更多的加工。

在刀具寿命数据中有几个值得注意的趋势，最明显的是在切削速度为 91.4 m/min 的条件下，刀具寿命显著提高。无论刀具材料、刀具供应商或背吃刀量如何，这一点都成立。增加进给量的效果则较复杂，就使用刀具去除的材料量而言，增加进给量对供应商甲的高CBN含量刀具寿命有不利影响，对于供应商甲的低CBN含量刀具和两种等级的乙供应商刀具，这种趋势却是相反的，增加进给量实际上会少量地提高刀具寿命。因此，对于大多数CBN牌号，进给量的增加减少了刀具的使用寿命，但实际上增加了刀具可以去除的材料量。后者是一个更合理的刀具寿命指标，因为它直接关系到在给定的背吃刀量下可以用刀具加工的零件数量。

根据以上分析得出结论：为了提高刀具寿命，通常应选择较低的切削速度，同时增加进给速度。由于材料去除率与进给速度和切削速度呈线性关系，因此将切削速度减半，同时将进给速度加倍，可保持相等的去除率。但可接受的进给速度有限制，这是由刀具所能承受的切削载荷而又不发生断裂的能力决定的。

通过测量高CBN含量和低CBN含量的刀具寿命，发现使用低CBN含量刀具进行切削具有优势，其原因是：在低CBN含量刀具中使用的陶瓷黏合剂，其黏结强度增加会使刀具寿命延长，同时，陶瓷黏合剂还提供了一种复合刀具材料，与高CBN含量刀具 $100\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 热导率相比，其热导率 $< 45\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 。如果假设切削产生的大部分热量（ $80\%\sim 90\%$ ）被切屑带走，那么剩余的热量必须进入工件或刀具。较低的热导率降低了进入刀具的热量，这有利于软化工件并通过降低刀具温度提高

刀具的耐磨性。

4 结束语

硬车削是一种新兴技术，由于生产率高、灵活性高、投资少和环保费用低，所以有可能取代许多磨削作业。但对硬车削中使用的脆性刀具的磨损和失效的研究有限，是阻碍该技术进一步应用的最大障碍之一。为了解不同CBN牌号的磨损行为和使用寿命，采用四种不同刀具材料对17种切削条件下的试验基体进行了全寿命研究。研究表明，切削速度对刀具寿命的影响大于进给速度或背吃刀量。CBN刀具进行硬车削时，通过降低切削速度并保持合理的进给速度和背吃刀量，延长刀具的寿命并且使刀具在寿命周期内的材料去除量成倍增加，降低加工成本。

通过对不同CBN含量刀具切削试验对比，发现低CBN含量刀具具有明显的硬切削优势，这对刀具及其切削参数的选择具有很好的借鉴参考意义。

参考文献：

- [1] 陈俊云，靳田野，鹿铃. CBN刀具材料的发展及其切削性能研究进展[J]. 制造技术与机床，2015（3）：33-39.
- [2] 吴孔友. CBN刀具在切削加工中的应用实例[J]. 工具技术，2005（6）：85-86.
- [3] 张京英，于启勋，庞思勤. PCBN刀具磨损性能的试验研究[J]. 航空制造技术，2009（9）：81-83.

MW 20210528

欢迎关注微信公众号：机工机床世界

“机工机床世界”主要为广大制造企业和相关技术及操作人员介绍机床产品、机床技术、机床应用、机床使用技巧和数控机床等内容。

扫描二维码即可关注！

