

Ti(C,N) 涂层刀切削磨损分析及应对措施

Wear Analysis and Improvement Measure of Ti(C,N) Coated Tool in Machining

南京工业职业技术学院 宋海潮



宋海潮

讲师,硕士,主要从事材料加工工程研究,已发表学术论文 10 余篇。

金属切削过程中,造成刀具磨损的主要原因是刀具和工件之间的接触和摩擦以及刀刃附近高温高压的极端恶劣的条件。切削区域任何一个单元接触条件的改变都会影响刀具的磨损,这些条件主要包括刀具材料、刀具涂层以及刀具几何规格,其他条件还有工件材料及其物理性能,刀具参数和合适的切削条件,冷却润滑条件,切削过程中机床振动较大或刀跳较严重时导致刀具出现波动的

为减小刀具磨损,可对切削参数进行优化,在保证产品质量和加工效率的情况下选择切削力小的切削参数进行切削加工;还可优化涂层材料的成分,提高涂层材料的切削加工性,采用先进的多元、多层、梯度涂层体系,通过增加中间过渡层来改善涂层与基体的附着性,并在涂层时对刀具基体进行适当的预处理。

过载等。

由于在不同切削条件下切削不同的材料时,刀具的磨损机理有所不同:在低速切削时,往往以磨料磨损为主^[1];高速切削时,随着切削速度提高,切削温度增加,粘结磨损和化学磨损越来越突出。本文主要针对 Ti(C,N) 陶瓷涂层硬质合金刀切削 Cr12 模具钢时的刀具磨损失效进行分析研究。

试验材料及条件

1 刀具材料

刀具采用 Ti(C,N) 涂层 WC 基硬质合金刀,切削硬度大于 HRC70。Ti(C,N) 涂层材料成分见表 1。

2 工件材料

Cr12 型高碳高铬钢简称为 Cr12

型钢,其成分特点是高碳含量和高铬含量。具体化学成分见表 2。

3 切削试验

对刀具切削试样的性能测定如下:采用硬度计测定刀具试样硬度,采用三点弯曲法测定试样的抗弯强度,采用单边缺口梁法测定试样的断裂韧性。经过测量和计算得到的材料性能如表 3 所示。在刀具切削加工过程中全程监控刀具的磨损甚至破损的过程,分析刀具磨损失效的原因。

试验结果分析

1 涂层破坏分析

涂层的主要作用是保护基体不受工件剧烈摩擦和热障。在切削 Cr12 模具钢时,涂层的作用主要是

表1 刀具涂层材料成分(质量分数) %

刀号	TiC	TiN	Mo	WC	Co	Ni	C
T02	34	10	12	8	8	27	1
T03	33	10	12	8	8	28	1

表2 Cr12化学成分(质量分数) %

钢号	C	Mn	Si	Cr	Mo	V
Cr12	2.0~2.3	≤ 0.40	≤ 0.40	11.50~13.00	-	-

表3 刀具性能测定

密度 / ($g \cdot cm^{-3}$)	抗弯强度 σ_b/MPa	硬度 HRA	断裂韧性 ($MPa \cdot m^{1/2}$)	比热容 ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)	热导率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	泊松比	弹性模量 /GPa
6.07×10^{-3}	1598.69	86.2	16.34	83.26	41.96	0.236	456.23

提高耐磨性、减少粘结磨损^[2]。由于涂层刀具的涂层与工件间的摩擦系数一般比较小,所以涂层刀具的磨损首先是从涂层破坏开始。切削时,刀具切削刃部由于刀刃比较锋利,单位面积上刀具所受到的机械载荷比较大,加上刀尖处涂层材料的强度比刀具基体部位材料强度弱,因此,此处的涂层最容易受到破坏,涂层在热应力和机械应力及粘结磨损的作用下,逐渐脱落。

对试样刀具磨损前后的表面进行能谱分析,如图1、图2所示。由分析可知,刀具磨损后其主要成分Ti元素减少,这说明在高速切削加工中,经过一段时间的切削后,前刀面的涂层已经遭到破坏,分析表面涂层基本上剥落,Ti含量很低;而在后刀面上,Ti含量仍然很高,证明了后刀面的涂层未遭到严重破坏。造成这种状况的主要原因是,前刀面切削温度高,压力大,热、机械应力高,循环切屑,造成刀具涂层迅速被破坏;而后刀面相对来讲,温度不是很高,受到的应力也不如前刀面大,因此涂层破坏比较少。

刀具刃部涂层破坏后,涂层的热

障作用消失,刀具基体受到温度梯度以及热应力冲击作用,刀具内部因制造过程中具有气孔等缺陷,在热冲击下,产生裂纹、形核^[3]。

2 扩散磨损

切削钢件时,切削温度常达800~1000℃,甚至更高,扩散磨损成为硬质合金刀具的主要磨损原因之一^[4],自800℃开始,硬质合金中的Co、C、W等元素会扩散到切屑中去而被带走;而切屑中的Fe会向硬质合金中扩散,形成新的低硬度、高脆性的复合碳化物。由于Co的扩散,WC、TiC等碳化物会因粘结剂Co的减少而降低其与基体的粘结强度,这会加速刀具磨损。同时,由于温度上升到一定程度就发生粘结,因此,扩散磨损和粘结磨损往往同时发生。

在观察刀具表面磨损形貌的过程中,我们发现刀具的后刀面上或多或少都存在一些圆形的小颗粒,如图3所示。为了探究这些小球成分,使用EDS能谱仪对图3(a)中A部分进行能谱分析。发现这些小球主要由金属Fe和O组成,推测为铁元素的氧化物。小球的形状非常圆整,不可能是切削中产生的切屑。根据金属结晶学理论,要形成如此圆整

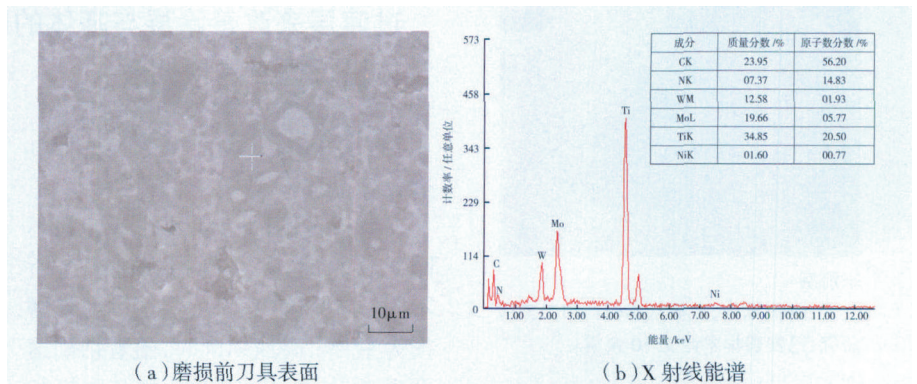


图1 磨损前刀具表面X射线能谱

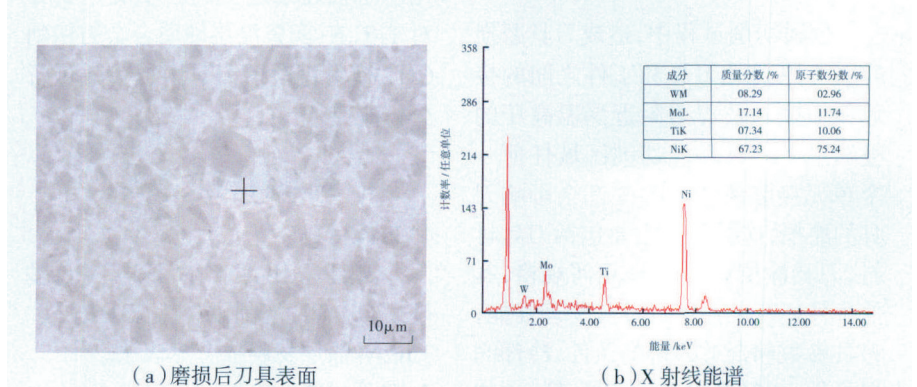


图2 磨损后刀具表面X射线能谱

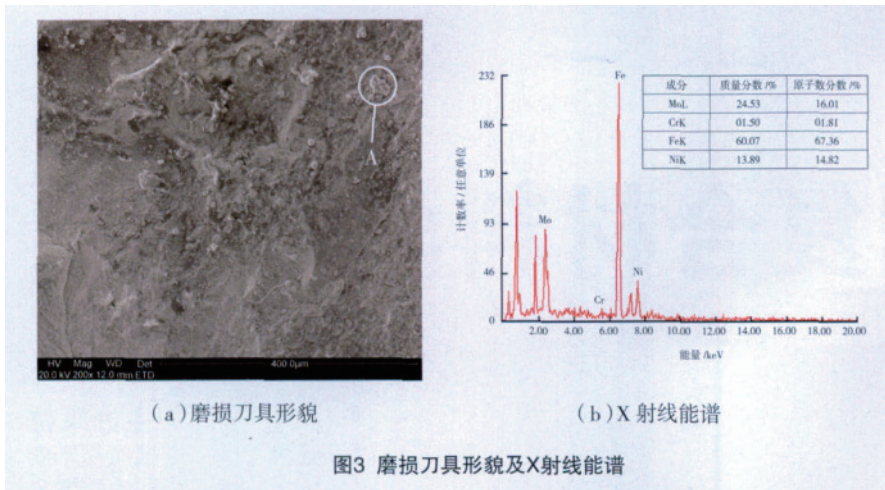


图3 磨损刀具形貌及X射线能谱

的球状物,最有可能的途径就是通过液-固转变来实现,因为液态物质为了具有最小的表面能,有自动收缩成球状的趋势。而在高速切削中,温度很高,虽然沟槽磨损区的切削温度理论上没有刀尖及前刀面处的高,但沟槽区域的氧化及扩散现象剧烈,尤其是切屑从此高速流过,造成了刀具沟槽磨损区与切屑的锋利边缘接触产生强烈的摩擦,在沟槽磨损区与接触的微区局部温度很高,达到了使切屑上某些微区融化的温度,于是就形成了很多小球。

随着切削过程的进行,这些融化形成的小球被带到刀具后刀面的磨痕中。由铁碳相图可知,碳含量为0.45%时,钢的熔点为1450℃,由此可知切削时最高温度不低于1450℃。

对刀具磨损部分的能谱进行分析后发现工件材料向磨损区域发生物质转移,如图3(b)所示。刀具原始元素成分(如Ti、Mo、W、Ni等)的含量都较低,而Fe和O的含量增加。这表明在高温、高压作用下刀具材料和工件材料之间发生了相互扩散^[5]。在刀具表层的磨损区,几乎所有的材料原始成分都扩散到工件材料的切屑中,其中W、Mo元素可能在高温下氧化成挥发性的氧化物而流失,而碳氮化物颗粒则因为C向工件中扩散而分解,同时氧化成低硬度的TiO₂而被工件和切屑带走。在刀具的磨

损中没有检测到C、N元素的能谱,主要因为高温下C、N已经转变成气态的N₂和CO/CO₂,同时扩散到刀具材料中的Fe又被氧化成了铁的氧化物。

减少磨损措施

1 刀具材料

刀具采用Ti(C,N)涂层,其目的在于:利用涂层材料的高硬度和耐磨性,尤其是高温特性,来提高刀具的抗摩擦磨损能力;利用涂层材料好的化学稳定性、低的摩擦系数和一定的固体润滑作用来降低切削力,减少切削热的产生,间接改善刀具的抗摩擦磨损特性。

由上述分析可知,涂层材料中材料成分的变化对材料本身的性能影响很大,因此应选择切削性能好的涂层材料,最大程度地提高其切削加工性能。

刀具的基体是保持刀具的整体强度、支撑涂层及形成刀具刃形的基础,因此虽然它不与切屑和工件直接接触,但对刀具的整体性起到了很重要的基础作用。

而涂层与基体的附着性是涂层刀具最根本的问题,它在很大程度上取决于刀具基体的性质和表面状态,采用涂层前要对基体表面进行机械研磨、抛光、超声波清洗、化学清洗、离子溅射清洗等方法;以及采用先进的多元、多层、梯度涂层体系,通过

增加中间过渡层来改善涂层与基体的附着性^[6];对高速钢基体进行适当的预处理,如离子氮化、离子注入等,可防止切削过程中因基体软化变形而导致的涂层开裂和剥落等。

2 切削参数

涂层刀具的使用寿命高于未涂层刀具,主要是由于在较小的切削用量下,涂层的抗磨损性能及润滑性能都比较明显,而在较大的切削用量下,涂层很快脱落,其切削性能下降,与未涂层刀具相当,甚至不如非涂层刀具。因此应该对切削参数进行优化选择,减小刀具磨损。

结束语

为减小刀具磨损,可对切削参数进行优化,在保证产品质量和加工效率的情况下选择切削力小的切削参数进行切削加工;还可优化涂层材料的成分,提高涂层材料的切削加工性,采用先进的多元、多层、梯度涂层体系,通过增加中间过渡层来改善涂层与基体的附着性,并在涂层时对刀具基体进行适当的预处理。

参考文献

- [1] 章晓波,刘宁,李勇.碳纳米管增韧超细Ti(C,N)基金属陶瓷.复合材料学报,2009(1):91-95.
- [2] 李涛.淬硬模具钢正交切削的力学建模与计算机仿真研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.
- [3] Zhang F, Shen J, Sun J. Processing and properties of carbon nanotubes-nano-WC-Co composites. Materials Science and Engineering(A), 2004(381):86-91.
- [4] 熊惟皓,胡镇华,崔崑.Ti(C,N)金属陶瓷的相界面过渡层.金属学报,1996,32(10):1075-1080.
- [5] Zheng Y, Liu W, Wang S, et al. Effect of carbon content on the microstructure and mechanical properties of Ti(C, N)-based cermets. Ceramics international, 2004(30):2115-2115.
- [6] 严永林.纳米复合Ti(C,N)基金属陶瓷及涂层制备技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2008. (责编 夏宛)