

纳米 TiAlN 涂层硬质合金刀具高速铣削 AerMet100 钢刀具寿命研究*

Research on Nano-TiAlN Coated Carbide Tool Life in High-Speed Milling AerMet100 Steel

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 李广旭 刘 强
中航飞机起落架有限责任公司 张志刚 孟清河

[摘要] 采用 2 种新型纳米 TiAlN 结构涂层硬质合金刀具对 AerMet100 钢进行一系列的铣削试验,获得了切削速度和每齿进给量对刀具寿命的影响规律。并通过对比分析获得:在较低速铣削条件下宜采用耐磨性好的超细晶粒硬质合金作为刀具基体材料,而较高速铣削条件下宜采用韧性更好的细晶粒硬质合金作为刀具基体材料。

关键词: AerMet100 钢 高速切削 磨损 涂层硬质合金

[ABSTRACT] High speed face milling experiments on AerMet100 steel are conducted by using nano-TiAlN coated cemented carbide tools. By analyzing the data of experiments, law of tool life affected by cutting speed and feed per tooth is obtained. Through comparative analysis, a good wear resistance ultra-fine grain carbide material is suggested to be used as the tool substrate material under the condition of the lower speed milling, while high-toughness fine-grained carbide is suggested under the condition of high-speed milling.

Keywords: AerMet100 steel High speed cutting Wear Coated carbide

AerMet100 钢是一种由 C、Cr 和 Mo 强化的 Fe-Ni-Co 高合金钢,合金含量高达 30% 左右,有优异的机械性能^[1]:包括高强度、高硬度、高断裂韧性和延展性,优良的抗疲劳性能和抗应力腐蚀开裂性能等,并具有非常高的强度与断裂韧性相匹配的特点,是一种新型的难加工材料。

高速切削已经在切削加工领域获得广泛的应用^[2],并取得了很好的效果。刀具涂层技术的发展使得刀具的切削性能有了很大提高,应用越来越广泛^[3]。因此,本课题通过对 2 种纳米 TiAlN 涂层硬质合金刀具高速铣

削 AerMet100 钢时的刀具耐用度研究,为这种新型材料切削刀具的选择和刀具磨损的控制提供指导,并为切削参数的优化选择提供约束条件。

1 试验条件与方案

1.1 试验条件

试验仪器: 工具显微镜。 **试验材料:** AerMet100 钢。

试验机床和刀具: 在立式数控加工中心上采用直径为 40mm 的面铣刀;机夹圆刀片直径为 12mm 的 2 种不同基体的新型纳米 TiAlN 涂层钨钴硬质合金刀具,牌号为 YBG202 和 YBG302,前者为超细晶粒钨钴硬质合金,后者为细晶粒钨钴硬质合金,涂层为 2~4 μm 的纳米 TiAlN。

1.2 试验方案设计

在研究中,参照 ISO8688-1 有关刀具寿命试验规范进行切削试验,采用单齿顺铣削方式进行,刀具磨钝标准 VB=0.3mm。

试验切削参数:

(1) 每齿进给量 $f_z=0.1\text{mm}$; 轴向切深 $a_p=1\text{mm}$; 切削速度 $v=120.6、153.3、195.7、250、319.3\text{m/min}$;

(2) 切削速度 $v=153.26\text{m/min}$; 轴向切深 $a_p=1\text{mm}$; 每齿进给量 $f_z=0.1、0.1442、0.208、0.3\text{mm}$ 。

所有刀具磨损试验采用干切削方式。

2 试验结果与分析

2.1 刀具耐用度试验结果

本文选用 2 种不同刀具基体的纳米 TiAlN 涂层钨钴硬质合金刀具进行刀具耐用度试验。图 1、2 分别显示的是不同铣削速度下的刀具磨损曲线和 $T-v$ 曲线;图 3、4 显示的分别是不同进给速度下的刀具磨损曲线和 $T-f_z$ 曲线。

从图 1 可知,当磨钝标准为 VB=0.3mm 时, YBG302 的刀具耐用度 T 分别为 32.5、26.5、21.5、15.8、10.8min,

* 预先研究项目(62001060106)。

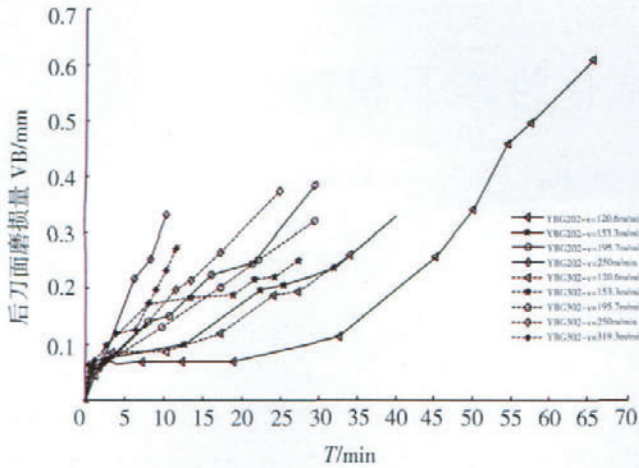


图1 不同铣削速度的磨损曲线

Fig.1 Abrasion curve of different milling speed

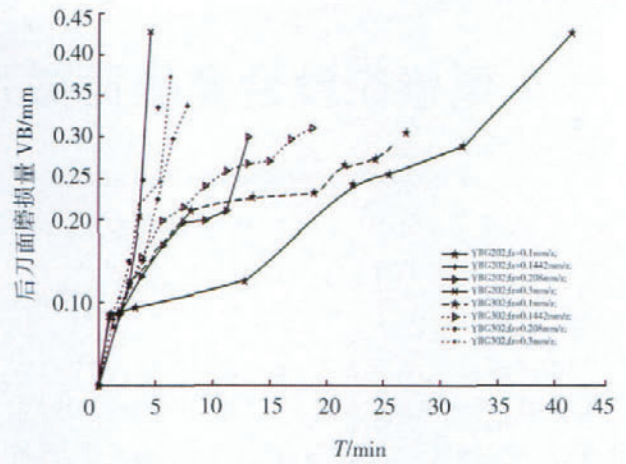


图3 不同进给速度的磨损曲线

Fig.3 Abrasion curve of different feeding speed

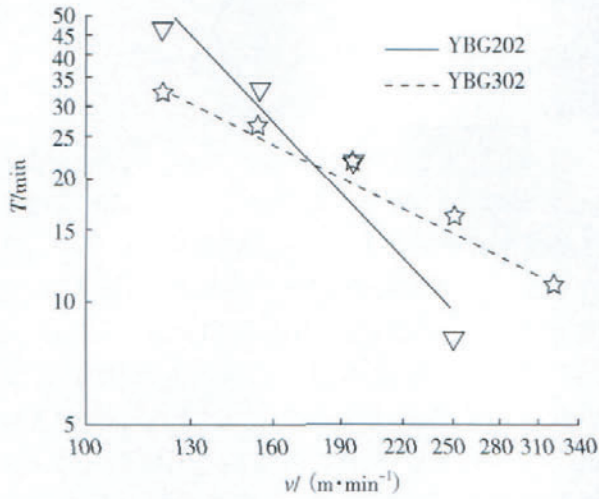


图2 T-v 曲线

Fig.2 T-v curve

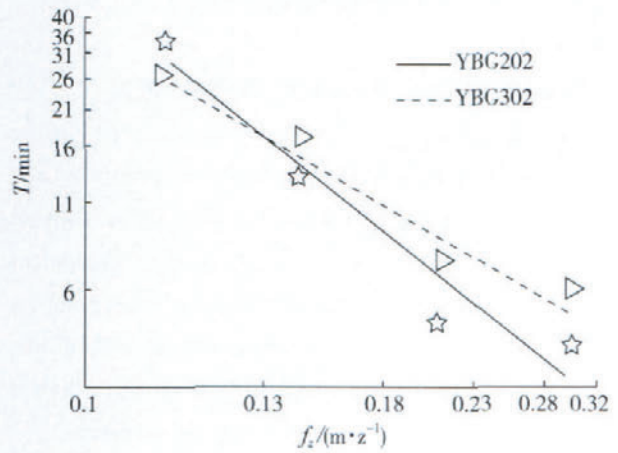


图4 T-fz 曲线

Fig.4 T-fz curve

而 YBG202 的刀具耐用度 T 分别为 46.0、33.0、21.5、8.0min。

刀具耐用度公式为：

$$YBG202: T_1=4.0394 \times 10^6 \times v^{-2.3468}, \quad (1)$$

$$YBG302: T_2=7.0748 \times 10^3 \times v^{-1.119}. \quad (2)$$

从图 3 可知,当磨钝标准为 $VB=0.3\text{mm}$ 时, YBG302 的刀具耐用度 T 分别为 26.5、17.5、6.5、5.8min, 而 YBG202 的刀具耐用度 T 分别为 33、13、4.7、4min。

刀具耐用度公式为

$$YBG202: T_3=0.2811 \times f_z^{-2.0064}. \quad (3)$$

$$YBG302: T_4=9.7963 \times f_z^{-1.5150}. \quad (4)$$

采用图解法可以获得试验条件下 YBG302 与 YBG202 两种刀具的 $T-(v, f_z)$ 关系式。

$$YBG202: T_5=3.3406 \times 10^4 \times v^{-2.3116} \times f_z^{-2.0064},$$

$$YBG302: T_6=2.2154 \times 10^2 \times v^{-1.117} \times f_z^{-1.5150}.$$

2.2 刀具切削性能分析

从图 1 中可以发现,在试验条件下,铣削速度较低的情况下($v=120.6, 153.3\text{m/min}$),刀具存在平稳的正常磨损阶段;在铣削速度较高的情况下($v=195.7, 250, 319.3\text{m/min}$),磨损加剧,几乎不存在平稳的正常磨损阶段。从图 3 中可以看出进给速度对刀具磨损的影响同样很大,进给增加将导致刀具快速磨损。

从上述 2 个公式可以看出,对于 YBG202,切削速度对刀具耐用度的影响要高于每齿进给量;对于 YBG302,切削速度对刀具耐用度的影响要低于每齿进给量。

本课题选用的 2 种不同牌号的纳米 TiAlN 涂层硬质合金刀具 YBG202、YBG302 进行耐用度对比试验,刀具基体的晶粒粗细不同,前者为超细晶粒,后者为细晶粒。显微硬度测试显示 YBG202 的基体硬度约为

(下转第 94 页)

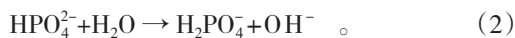
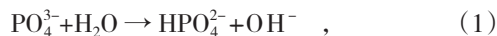
先击穿钝化膜层进行氧化,形成表面微孔;但在表面沉积有 TiN 薄膜时,电解液中的阴离子直接和阳极表面的 TiN 进行反应;同时,微弧过程中产生的瞬间高温对表面起着熔融的作用,导致 Ti 片表面沉积的 TiN 薄膜经微弧后呈凹凸不平的形状。

2.4 膜层硬度

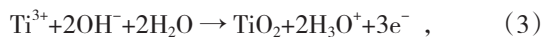
离子束辅助沉积 1h 形成的 TiN 膜层,由于设备参数的固定,其膜厚值约为 500nm。因此,采用纳米压入仪对微弧氧化后的膜层进行硬度的测量,其测量值为 1.437GPa,和直接采用微弧氧化所制得的膜层硬度 0.78GPa^[6] 相比,膜层的硬度提高了约 1 倍。

2.5 讨论

在微弧氧化过程中,由于电解液本身的水解作用,使得溶液呈微弱的碱性:



经 PH 剂检测,溶液 PH 值为 9.4。当施加电压时,溶液中的阴离子 OH⁻ 和 PO₄³⁻ 向阳极方向迁移,和阳极表面的 TiN 薄膜发生如下反应^[7]:



产生大量气泡可以看到阳极和阴极表面,随着电压的升高,阳极表面的气泡被击穿,形成高能低温的等离子体。这些等离子体加速了阳极表面的反应。高浓度的电解液中由于含有大量的阴离子,使得微弧时电流相应增大,促使了微弧氧化过程中晶格相的转变。由于 TiN 在溶液中难以电解,因此,在氧化过程中,部分 TiN 参与了式(3)的反应,但晶格中仍残存少量 N³⁻ 离子。

3 结论

(1) 离子束辅助沉积在钛合金表面形成的 TiN,在以 Na₃PO₄ 为电解液的溶液体系中,通过微弧氧化在钛合金表面形成含 N 的 TiO₂ 膜保护层,膜层厚度约为 500nm。

(2) 当电解液浓度较低或氧化时间较短时,在钛合金表面所形成的膜层晶格结构为锐钛矿型,当电解液浓度升高时,膜层的结构为锐钛矿型和金红石型的混晶。

(3) 含 N 的氧化物膜层硬度和已报道的、通过直接微弧氧化所形成的膜层硬度相比,硬度值提高约一倍。

参 考 文 献

[1] Young R P, Kwang J K. Optical and electrical properties of Ti: doped ZnO films: observation of semiconductor — metal transition. *Solid State Communications*, 2002 (123) : 147-150.
[2] Jun Y K, Kim H S, Lee J H, et al. CO sensing performance

in micro-arc oxidized TiO₂ films for air quality control. *Sens Actuators B*, 2006 (120) : 69-73.

[3] 葛黔峰. 钛合金脉冲阳极氧化. *电镀与环保*, 2003, 132(6) : 37.

[4] Li J F, Wan L, Feng J Y. Study on the preparation of titania films for photocatalytic application by micro-arc oxidation. *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 2006 (90) : 2 449-2 455.

[5] Bloyce A, Qi P-Y, Dong H, et al. Surface modification of titanium alloys for combined improvements in corrosion and wear resistance. *Surf. Coat. Technol*, 1998 (107) : 125-132.

[6] 黄平, 徐可为, 憨勇. 钛合金表面微弧氧化膜的特点及成膜分析. *稀有金属材料与工程*, 2003, 32 (4) : 273-275.

[7] Yerokhin A L, Leyland A, Matthews A. Kinetic aspects of aluminium titanate layer formation on titanium alloys by plasma electrolytic oxidation. *Appl Surf Sci*, 2002 (200) : 172-184.

(责编 淡蓝)

(上接第 91 页)

HV1723, YBG302 的基体硬度约为 HV1394。从图 2 中可以发现, 196m/min 是一个分界点, 铣削速度小于 196m/min 时 YBG202 切削性能要优于 YBG302; 铣削速度大于 196m/min 时 YBG302 切削 AerMet100 钢的切削性能要优于 YBG202。这主要是由于 YBG202 基体材料耐磨性要好于 YBG302, 在相对较低的切削速度下, 耐磨性好的刀具显示出较高的刀具寿命; 但随着切削速度的上升, 机械冲击和热冲击越来越强烈, 韧性较高的 YBG302 刀具表现出了较高的刀具寿命。从图 4 中也可以发现, 随着每齿进给量的增加, YBG302 的耐用度要高于 YBG202, 可见 YBG302 的抗冲击性能要高于 YBG202。

3 结论

(1) 通过试验研究获得了纳米 TiAlN 涂层钨钴硬质合金刀具铣削 AerMet100 钢时切削速度和每齿进给量对刀具耐用度的影响规律及其耐用度公式。

(2) 在铣削 AerMet100 钢时, 铣削速度小于 196m/min 应采用耐磨性更好超细晶粒钨钴硬质合金作为刀具基体材料; 在铣削速度大于 196m/min 时应采用耐冲击的韧性较高的细晶粒硬质合金作为基体材料。

参 考 文 献

[1] 万如. AerMet100——极好综合性能的超高强度钢. *北京航空航天大学学报*, 1996.
[2] 艾兴, 刘战强, 邓建新, 等. *高速切削加工技术*. 北京: 国防工业出版社, 2003.
[3] 于启勋, 张京英. 刀具涂层技术的进展和应用. *航空制造技术*, 2007: 36-39. (责编 依然)