

钛合金砂带磨削磨粒磨损研究

Investigation on the Abrasive Wear of Ti Alloy Belt Grinding

南京航空航天大学机电学院 徐蔡俊 徐九华 傅玉灿 霍文国

[摘要] 探讨了砂带磨削钛合金的砂带磨粒磨损过程及磨损机理。验证了砂带磨损的初期磨损阶段和定常磨损阶段,并分析了切深和进给速度对砂带磨损过程的影响规律。结果表明,砂带等高性是决定砂带寿命与加工精度稳定性的决定性因素。

关键词: 砂带磨削 钛合金 磨损阶段 使用寿命

[ABSTRACT] Abrasive wear process and mechanism of Ti alloy belt grinding are discussed. The initial wear stage and the stationary wear stage of the belt wear process are verified. Furthermore, the influence of cutting depth and feed rate on wear are analyzed. The results show that the contour of belt surface is the crucial factor to extend the belt life and improve the machining precision stability.

Keywords: Belt grinding Titanium alloy
Wear stage Service life

钛合金由于具有比重小、比强度高、耐腐蚀性好等优点,被广泛应用于航空航天、医疗和精密仪器等领域。由于钛合金材料导热系数低,摩擦系数大,使磨削过程产生大量的热量又不能迅速传出,容易引起磨削零件的烧伤。砂带磨削技术以其磨削温度低、磨削力小、加工效率高等特点而成为一种有前途的钛合金加工方法。

近年来,随着静电植砂技术的出现和涂附磨具技术的发展,砂带制造水平有了大幅度提高,砂带磨削技术在国内外都获得了快速发展,应用范围也日益广泛,对砂带磨削的研究也越来越深入。

国外对砂带磨削的研究起步较早,在钛合金砂带磨削方面具有代表性的是英国诺丁汉大学的D.A. Axinte, M.Kritmanorot等人所进行的耐热钛合金砂带磨抛研究,得出结论:使用砂带磨削钛合金可得到Ra 0.35 μ m的表面粗糙度,且抛光后工件表面没有明显的变质层,如在磨削的整个过程中始终用冷气进行冷却,则加工后表面的热损伤会更小^[1]。

国内从80年代起在砂带磨削方面也开展了许多

探索研究,具有代表性的有南京理工大学的李迎和南京航空航天大学的徐鸿钧合作进行的砂带磨削300M钢的试验研究。在同样磨削条件下,分别与砂轮磨削在微观形貌、磨削温度和表面粗糙度方面进行了对比,结果表明:在微观形貌方面,磨粒间距较大的砂带是以磨粒磨损而失效,而砂轮则主要是因砂轮堵塞而失效;在磨削温度方面,砂轮和砂带的磨削温度都随磨削深度的增加而上升,但砂带的磨削温度上升比较缓慢,始终处在比较低的磨削温度;在表面粗糙度方面,当磨削条件相同时,砂带磨削的表面粗糙度明显低于砂轮磨削的表面粗糙度数值^[2]。华中理工大学的钟华珍针对不锈钢1Cr13对砂带磨粒磨损过程进行研究,结果表明:砂带磨削磨粒磨损过程可分为初期磨损阶段和定常磨损阶段,磨削力和砂带线速度都与砂带磨削成正比^[3]。

综上所述,砂带磨削可获得优于砂轮磨削的加工表面,但由于磨粒出露高,磨损大,加工精度难以控制又成为其致命缺陷。解决这一矛盾的关键在于把握砂带磨削过程的规律性,通过减小磨粒磨损和工艺规程来达到保证表面质量、提高加工精度的目的。此外,砂带在初期磨损阶段时,由于磨损迅速,且大部分磨粒没有参加磨削,并没有明显的切削能力,而其实际堪用的寿命只是定常磨损阶段。同时,准确把握砂带初期磨损高度也同样重要,因此,在砂带的实际使用中,应尽可能快而准地度过初期磨损阶段,并延长定常磨损阶段,以达到提高砂带实际寿命的目的。因此,开展钛合金的砂带磨削磨粒的试验研究对改善钛合金的加工性能和拓展砂带磨削技术的应用都具有十分重要的意义。

1 试验方案

1.1 试验方法

为了寻找磨削过程中砂带磨损的规律,首先需要了解磨粒高度变化情况。本试验采用间接测量方法,通过测量每次进给工件厚度的实际去除量来判断砂带磨粒高度的变化情况。这种方法反映了整个砂带表面参与磨削磨粒的高度变化,贴合实际加工情况。砂

带寿命一般采用使用时间衡量,因此,本试验在保证加工效率的前提下,选择用量组合进行比较试验,以达到寻找砂带磨削磨损机理和规律的目的。

根据预试验,建立磨钝标准:

- (1) 回程有很明显的材料去除;
- (2) 磨削力增加明显,致使加工表面出现明显振动纹路;
- (3) 砂带表面出现大面积磨粒脱落;
- (4) 加工时出现异常噪声、卡带、断带等失效现象。

满足其中任意一条,即认为砂带已磨钝。

1.2 试验设备

试验条件见表1。试验装置如图1所示。

根据预试验,在保证加工效率相同的前提下,选择以下4组用量组合进行试验,见表2。



图1 试验装置
Fig.1 Test equipment

表1 试验条件

试验设备	XS5040 立式铣床
砂带牌号与尺寸	3M 577F 30mm×533mm
试样牌号与尺寸	TC4 200mm×110mm×8mm
砂带转速	15m/s
磨削方式	干磨、逆磨

表2 试验用量组合

组号	切深 $a_p/\mu\text{m}$	进给速度 $f/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$
1	50	1000
2	100	500
3	150	315
4	200	250

2 结果与分析

2.1 试验结果

分别对4组用量进行试验,测量实际磨削厚度。对 $a_p=200\mu\text{m}$ 、 $f=250\text{mm}/\text{min}$ 用量组合进行试验,两个行程后,砂带表面即出现磨粒大面积脱落,砂带失效。其余3组用量试验结果见表3-5。

表3 试验结果($a_p=50\mu\text{m}$ $f=1000\text{mm}/\text{min}$)

行程数	1	2	3	4	5	6	7	8
实际磨削厚度/mm	0	0	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04
行程数	9	10	11	12	13	14	15	—
实际磨削厚度/mm	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	—

表4 试验结果($a_p=100\mu\text{m}$ $f=500\text{mm}/\text{min}$)

行程数	1	2	3	4	5	6
实际磨削厚度/mm	0.01	0.05	0.04	0.08	0.08	0.08
行程数	7	8	9	10	11	—
实际磨削厚度/mm	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	—

表5 试验结果($a_p=150\mu\text{m}$ $f=315\text{mm}/\text{min}$)

行程数	1	2	3	4	5	6	7	8
实际磨削厚度/mm	0	0.06	0.10	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14

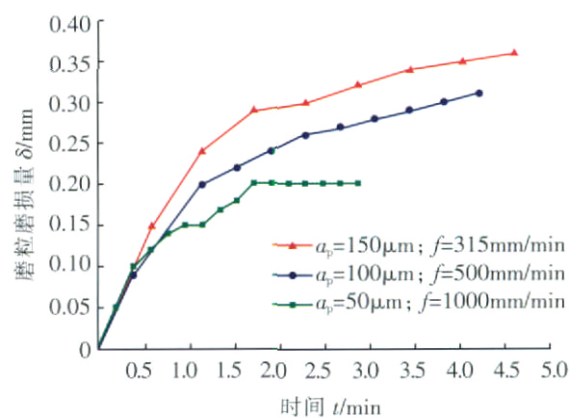


图2 磨损量随时间变化曲线
Fig.2 Relationship curves of wear amount with time

2.2 试验分析

由实际磨削厚度 a_i 计算出每次进给砂带磨粒的磨损量, 累计得砂带磨粒磨损量。

$$\delta = \sum_{i=0}^n (a_{i0} - a_{pi})$$

式中, δ 为磨粒累计磨损量, a_{i0} 为名义磨削深度, a_{pi} 为第 i 次进给所得的实际磨削深度。

图2为磨粒磨损量与砂带使用时间 t 的关系图。图3为跟踪磨损各过程的砂带表面地貌图。

分别在3组用量组合下进行磨削试验, 砂带磨损过程可明显分为初期磨损阶段和定常磨损阶段。图3

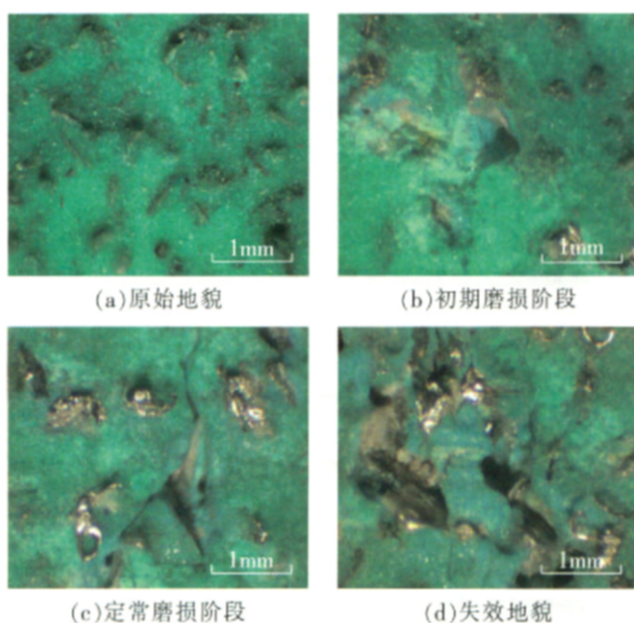


图3 砂带磨损各阶段地貌

Fig.3 Geomorphology in each wearing stage of belt

(a)是砂带原始的地貌形状, 可以看出磨粒间的间隙很大, 磨削刃锋利, 而且出露高度很大, 这种结构保证了磨削过程中砂带不会堵塞; 图3(b)是初期磨损时砂带的地貌形状, 由于577F使用锆刚玉磨粒, 磨粒韧性很高, 初期磨损阶段以磨粒脱落为主要磨损形式, 磨粒顶端也未发现磨削小平面, 此阶段快速增加; 进入定常磨损阶段后, 磨粒顶端出现明显的粘附现象, 如图3(c)所示, 观察粘附的钛合金基本上都是很细长的磨屑, 这些磨屑在外力的作用下很容易整个脱落, 其原因是锆刚玉磨粒切削刃锋利, 出露高度大, 磨削时很容易切下细长的磨屑, 这些细长磨屑粘在磨粒上就产生了这种现象, 此时磨粒磨损主要以摩擦磨损和粘附磨损为主; 随着磨削的进行, 磨削刃钝化愈加严重,

磨削温度升高明显, 粘附现象加剧, 磨粒被磨平或脱落, 砂带失效, 地貌如图3(d)所示。

在相同的加工效率下, 不同用量组合的初期磨损时间基本相同, 由此可见, 砂带的初期磨损时间长短是切深和进给速度共同作用的结果。切深直接影响到参加磨削磨粒的数量, 如过小将直接导致初期磨损时间加长, 而过大会造成磨粒过载, 出现大面积磨粒脱落现象。进给速度增加将增大单颗磨粒的负荷, 有利于表层突出磨粒的脱落。因此, 选取合适的切深, 同时增大进给速度有利于缩短砂带的初期磨损时间。

初期磨损所消耗掉的磨粒高度 h_0 。随切深的增加而增大。切深增加致使磨粒负荷增大, 为了分担负荷, 使单颗磨粒不发生过载而脱落, 需要同时参与磨削的磨粒数量也随之增加, 假定砂带表面磨粒的数量随高度分布由高向低是递增的, 则切深增大也就导致了“突出磨粒”的范围变大。如图4所示, 当切深较小, 工件处于实线位置时, 只有5号磨粒较为突出, 初期磨损脱落, 当切深增大, 工件到达虚线位置时, 2号、6号磨粒也参与磨削, 但切深增大导致负荷增大, 磨粒依旧过载, 2号、6号磨粒也发生断裂或脱落, 因此 h_0 也就随之增大。

4种用量组合最后的失效形式不同, 第一组回程时出现明显的材料去除而判断磨钝; 第二组和第三组用量组合下砂带磨平, 切削力和切削温度明显增大而判断磨钝; 第四组很快出现磨粒大面积脱落而失效。比较组一和组三磨钝后的砂带可以发现, 组一砂带有明显出露的磨粒, 砂带没有完全磨平, 但是实际加工时没有表现出应有的

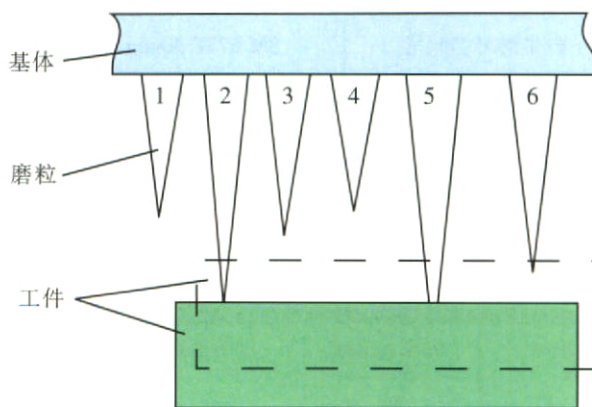


图4 磨粒磨损示意图

Fig.4 Schematic diagram of abrasive wear

(下转第90页)

过程中, 设定工件内容差为 0.01, 外容差为 0.01, 余量为 0; 加工步距用于控制沿驱动线产生的驱动点的间距, 加工步距根据曲面曲率大小选择控制值, 这里选用公差方式, 公差值设为 0.01mm; 加工行距用于控制连续刀轨间的距离, 一般选用残留高度或排刀数目来控制, 这里选用残留高度方式, 设定值为 0.01mm。一般粗加工切削步距中的 TOLERANCE 公差及切削行距中的毛刺高度选择大一点, 精加工小一点。

(8) 可变轴曲面轮廓加工后置处理程序设置。

后置处理程序是机床加工代码生成器。在做多面加工及多轴联动加工时, 需要编辑机床类型选项, 将其设定为 3 个直线轴和 2 个旋转轴。另外, 在后置命令选项中, 需要确定加工零点相对第 4 轴的位置和第 4 轴相对与第 5 轴的位置, 而且要考虑方向性。这样, 在做多面加工及多轴联动加工时, 才能生成正确的机床加工代码。这里需要指明一点, 工作台绕 Z 轴旋转的旋转轴为第 5 轴, 绕 X 轴旋转的旋转轴为第 4 轴。

这种多面加工方法减少了装夹次数, 因而提高了生产效率, 同时也消除了多次装夹产生的装夹误差, 提高了产品的加工精度。

经后置处理的五轴加工刀位轨迹如图 2(a)、(b) 所示。

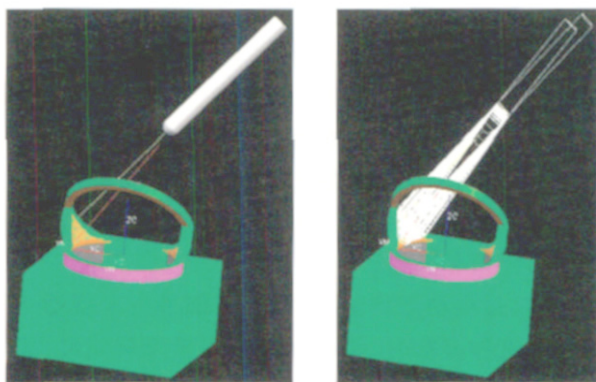


图 2 UG 软件生成的刀具切入轨迹和刀位轨迹

Fig.2 Tool cut-in path and position path generated with UG software

3 结束语

采用可变轴轮廓铣进行异型薄壁零件精加工, 解决了该零件尺寸较小、结构复杂、壁薄且容刀空间小等问题。这种多面加工方法减少了装夹次数, 因而提高了生产效率, 同时也消除了多次装夹产生的装夹误差, 提高了产品的加工精度。 (责编 金卯)

(上接第76页)

切削能力。分析原因可以发现, 进给速度是关键磨粒顶端最锋利的部分被磨平以后, 磨粒钝化, 由于砂带基体本身具有一定柔性, 在较高的进给速度下磨削不充分, 限制了砂带的磨削能力。

考察第二组和第三组正常磨削的曲线发现, 初期磨损消耗 超过 0.2mm, 进入定常磨损阶段至砂带磨钝, 却只消耗了接近 0.1mm 高的磨粒, 60°磨粒的总高度为 0.6mm, 考虑被基体把持的部分, 磨粒出露高度约为 0.4mm, 实际有效消耗的 占出露高度的 25%, 磨粒出露高度得不到有效利用, 反映出静电植砂技术没有解决磨粒等高性排布问题。

3 结论

(1) 砂带磨削钛合金过程具有显著的初期磨损阶段和定常磨损阶段。

(2) 砂带使用可分为 2 个步骤, 首先根据砂带牌号采用适宜切深高速进给使砂带迅速而准确地度过初期磨损阶段, 然后在定常磨损阶段, 宜采用小切深快进给的用量组合, 提高砂带使用寿命, 同时提高加工精度的稳定性。

(3) 砂带磨粒排布的等高性优劣是砂带寿命高低的决定性因素。

参 考 文 献

[1] Axinte D A, Kritmanord M, Axinte M. Investigations on belt polishing of heat-resistant titanium alloys. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 166: 398-404.

[2] 李迎, 徐鸿钧, 王珉. 砂带磨削 300M 钢的试验研究. 航空精密制造技术, 1996, (32): 12-15.

[3] 钟华珍, 阳小民. 关于砂带磨损的研究. 磨料磨具与磨削, 1991, 5(65): 4-9.

[4] Sung-San Cho, Yong-Kyoon Ryu, Seung-Young Lee. Curved surface finishing with flexible abrasive tool. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2002, 42: 229-236.

[5] Xu Xipeng, Yu Yiqing, Huang Hui. Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC4) and nickel alloy. Wear, 2003, 255: 1 421-1 426.

[6] 龚正. 砂带磨削的机理及砂带磨损的探讨. 上海第二工业大学学报, 1991(1): 32-35.

[7] 朱凯旋, 黄云, 陈延君, 等. 强力砂带磨削试验机床的研究和设计. 机械制造, 2006(3): 25-28.

[8] 刘兆平. 40Mn2 钢高强度结构钢强力砂带磨削研究与应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2003.

(责编 金卯)