

TC4 钛合金车削工艺参数优化

王丹,王凌云,万军

上海工程技术大学

摘要: 基于正交试验和极差分析的方法,以工件表面粗糙度 R_a 值为评判指标,研究了 TC4 钛合金粗加工切削参数,并通过单因素实验法进一步优选了其精加工切削参数,同时对相同切削参数下涂层和无涂层硬质合金刀具的磨损情况进行了分析。研究表明:TC4 钛合金粗加工最优切削参数为: $V_c = 60\text{m/min}$ 、 $a_p = 0.4\text{mm}$ 、 $f = 0.1\text{mm/r}$; TC4 钛合金精加工最优切削参数为: $V_c = 60\text{m/min}$ 、 $a_p = 0.2\text{mm}$ 、 $f = 0.1\text{mm/r}$;由于 UE6020 涂层硬质合金刀具的涂层中含有 TiC,其与工件中的 Ti 元素亲和扩散,致使 UE6020 涂层刀具的耐用度低于 US735 刀具。

关键词: TC4 钛合金;车削加工;切削参数;刀具耐用度

中图分类号: TG506;TH161

文献标志码: A

Cutting Parameters Optimization in Turning of TC4 Titanium Alloys

Wang Dan, Wang Lingyun, Wan Jun

Abstract: Rough turning parameters of TC4 titanium alloy were studied through orthogonal test and extreme difference analysis methods, finishing turning parameters of TC4 titanium alloy were studied by using the single factor test method, wear of TiC coated and carbide cutting tools at the same cutting parameters was researched. This study indicates that the optimal cutting parameters of rough turning are $V_c = 60\text{m/min}$, $a_p = 0.4\text{mm}$, $f = 0.1\text{mm/r}$. The optimal cutting parameters of finishing turning are $V_c = 60\text{m/min}$, $a_p = 0.2\text{mm}$, $f = 0.1\text{mm/r}$. The carbide tools with the grade of US735 has better tool life than coated carbide cutting tools with the grade of UE6020.

Keywords: TC4 titanium alloy; turning; cutting parameters; tool life

1 引言

切削加工 TC4 钛合金时往往采取尝试切削法,研究钛合金材料的切削参数对提高其加工质量、加工效率及成品率有重要意义。胡晓群等^[1]通过钛合金材料整体叶盘切削,探讨了钛合金的切削特点、刀具选择等,但并未给出切削参数的具体取值。周超等^[2]研究了钛合金 TC4 粗铣加工刀具优选及铣削参数优化,发现切削速度为 22.7m/min 、每齿进给量 0.125mm 、切削宽度 8mm 、切削深度 12mm 时可获得较好的切削效果。韩冰等^[3]研究了车削钛合金时切削速度对刀具磨损的影响,研究表明切削速度大于 95m/min 时刀具迅速磨损,无法进行稳定的干式车削。姜增辉等^[4]研究了 PCBN 刀具高速车削 TC4 钛合金刀具的磨损,发现 PCBN 刀具前刀面以刃口崩刃为主,后刀面为不均匀的深沟槽磨损。李登万等^[5]研究了不同冷却条件下钛合金材料的车削性能,发现采用相同切削参数及刀具加工时,低温喷雾冷却的刀具使用寿命最长,常温干车的刀具使

用寿命最短。

目前对 TC4 钛合金的研究主要集中在刀具寿命和磨损机理等方面,对切削参数涉及不多。本文通过正交试验筛选其粗加工切削参数,在粗加工基础上,通过单因素试验优选其精加工切削参数,以工件表面粗糙度 R_a 值作为评判指标,并对相同切削参数下涂层和无涂层硬质合金刀具的磨损情况进行分析,以期对 TC4 钛合金的切削加工提供依据。

2 试验材料及条件

试验材料为 TC4 钛合金棒料,其化学成分和力学性能见表 1 和表 2。

表 1 TC4 钛合金化学成分 (%)

成分	Fe	C	N	H	O	Al	V	Ti
含量	0.3	0.1	0.05	0.015	0.02	5.5-6.8	3.5-4.5	余量

表 2 TC4 钛合金力学性能

力学指标	抗拉强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	伸长率	弹性模量
数值大小	902	824	10	115

试验选用 CCMT09T304 日本三菱刀片,涂层硬质合金刀片牌号 UE6020,其涂层材料为 TiC 复合涂层;硬质合金刀片牌号 US735。选用刀具的几何参数见表 3。

表3 试验用刀具几何参数

刀具编号	前角 γ_0	后角 α_0	主偏角 κ_r	副偏角 κ_r''	刃倾角 λ_s	刀尖圆弧 半径 r
T1	6°	7°	95°	5°	0°	0.4mm
T2	6°	7°	95°	5°	0°	0.4mm

选用大连机床厂生产的 CKA6136i 卧式数控车床进行车削试验, 主轴转速 200 - 3500r/min。采用日本三丰 Mitutoyo SV - 2100H4 表面粗糙度测量仪检测加工后的工件表面粗糙度 R_a 值; 选用 SP4300 - 2.5 次元影像测量仪测量刀具磨损宽度 VB 值。

3 试验结果及分析

3.1 正交试验确定粗加工切削参数

将车削加工 TC4 钛合金的切削速度 V_c 、切削深度 a_p 、进给量 f 作为切削三因素, 进行三因素三水平正交试验, 如表 4 所示, 测量车削加工后工件表面粗糙度值。正交试验结果和极差分析如表 5 所示。

表4 正交试验因素水平

水平	A	B	C
	V_c (m/min)	a_p (mm)	f (mm/r)
1	30	0.4	0.1
2	45	0.8	0.15
3	60	1.2	0.2

表5 正交试验结果分析

试验号	A	B	C	R_a (μm)
1	30	0.4	0.1	0.7
2	30	0.8	0.15	1.2
3	30	1.2	0.2	2.6
4	45	0.4	0.15	1.0
5	45	0.8	0.2	2.5
6	45	1.2	0.1	1.2
7	60	0.4	0.2	1.9
8	60	0.8	0.1	0.8
9	60	1.2	0.15	1.7
R_a (μm)	k_1	1.5	1.2	0.9
	k_2	1.57	1.5	1.3
	k_3	1.47	1.83	2.3
	R	0.1	0.63	1.2

由正交试验的结果和极差分析可得, $R_c > R_b > R_a$, 因此影响因素的主次顺序为 $C > B > A$, 即在切削加工中, 进给量 f 的大小对表面粗糙度的影响最大, 这与理论粗糙度计算公式 $R_{\max} = r_\epsilon - \sqrt{r_\epsilon^2 - (\frac{f}{2})^2} \approx \frac{f^2}{8r_\epsilon}$ [6] 中进给量 f 是影响表面粗糙度的主要因素一致。根据表面粗糙度大小确定最优方案为 $A_3B_1C_1$, 即切削速度 $V_c = 60\text{m/min}$ 、切削深度 $a_p = 0.4\text{mm}$ 、进给量 $f = 0.1\text{mm/r}$ 。

3.2 单因素试验确定精加工切削参数

对正交试验所得最佳切削三要素进行精加工优

化, 选取 $V_c = 60\text{m/min}$ 、进给量 $f = 0.1\text{mm/r}$, 以背吃刀量 a_p 为研究对象进行单因素实验, 以工件表面粗糙度 R_a 大小为评判标准。

由图 1 可知, 随着 a_p 由 0.1mm 增大到 0.4mm, R_a 先降低后增加。由于钛合金材料化学活性大, 切削加工时易产生硬化层 [7], 当 $a_p = 0.1\text{mm}$ 时, 切削深度在钛合金加工硬化层范围内, 导致 R_a 值较大。而当 $a_p = 0.4\text{mm}$ 时, 加工时产生较大的径向力, 导致工件发生变形, 致使 R_a 值较大。当 $a_p = 0.2\text{mm}$ 或 0.3mm 时, R_a 值相同, 由背向力公式 $F_p = C_F a_p^{x_F} f^{x_f} V_c^{x_V} K_F$ [8] 可知, 当 a_p 变大时, F_p 呈指数倍增加。

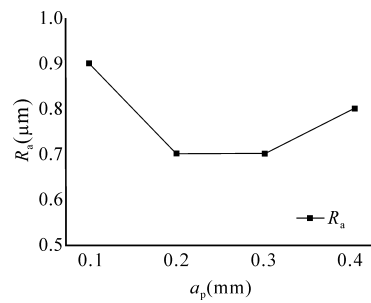


图1 a_p 的变化对 R_a 的影响

如图 2 所示, 当 $a_p = 0.2\text{mm}$ 时, 粗糙度曲线上波动的范围较小, 说明工件受到的径向切削力小, 工件轴的弯曲变形量小; 当 $a_p = 0.3\text{mm}$ 时, 粗糙度曲线上波动的范围较大, 说明工件受到的径向切削力大, 工件的弯曲变形量大。综合考虑 R_a 值和工件的弯曲变形量, 精加工时, 亦选 $a_p = 0.2\text{mm}$ 。即精加工切削参数可选 $V_c = 60\text{m/min}$ 、 $a_p = 0.2\text{mm}$ 、 $f = 0.1\text{mm/r}$ 。

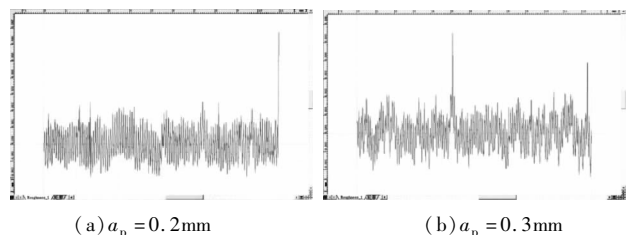


图2 R_a 测量图

3.3 两种刀具加工 TC4 钛合金对比试验结果分析

在 $V_c = 60\text{m/min}$ 、 $f = 0.1\text{mm/r}$ 、 $a_p = 0.2\text{mm}$ 的加工条件下, 分别使用涂层硬质合金刀具和非涂层硬质合金刀具车削加工 TC4 钛合金, 观察两种刀具后刀面的磨损情况, 并测量磨损宽度 VB 值。图 3a 为 UE6020 涂层硬质合金刀具后刀面, 由于该刀具涂层中含有 TiC, 其与工件中的 Ti 元素亲和和扩散 [9], 使刀

具硬度降低、涂层破损,形成沟槽型破损,VB值较大。图3b为US735硬质合金刀具后刀面,可见其后刀面磨损较轻,VB值较小^[10]。

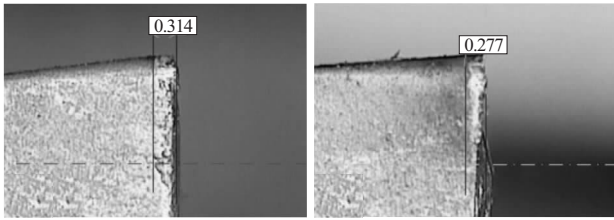


图3 不同刀具后刀面磨损情况

4 结语

通过对TC4钛合金粗车和精车时切削参数及刀具耐用度的研究,得出以下结论:

(1)粗车TC4钛合金时,进给量 f 的大小对表面粗糙度的影响最大,切削深度 a_p 为次要影响因素,切削速度 V_c 影响最小;根据切削三要素的正交试验确定粗车TC4钛合金的最佳切削参数为 $V_c = 60\text{m/min}$ 、 $a_p = 0.4\text{mm}$ 、 $f = 0.1\text{mm/r}$ 。

(2)通过单因素试验法,以表面粗糙度 R_a 值和工件的弯曲变形量为评价标准,得到精车TC4钛合金时,最佳切削参数 $V_c = 60\text{m/min}$ 、 $a_p = 0.2\text{mm}$ 、 $f = 0.1\text{mm/r}$ 。

(3)通过对比UE6020涂层硬质合金刀具和US735硬质合金刀具的耐用度,发现由于UE6020涂层中含有TiC,其与工件中的Ti元素亲和扩散,使其硬度降低、涂层破损,形成沟槽型破损,耐用度低于US735硬质合金刀具。

参考文献

- [1]胡晓群,李家永,岳召启,等. 钛合金材料切削加工性能探讨[J]. 航空制造技术,2012(14):62-64.
- [2]周超,李勋,陈五一. 钛合金TC4粗加工刀具优选及切削参数优化[J]. 航空制造技术,2015(10):70-73.
- [3]韩冰,姜增辉,刘朋和. 切削速度对车削TC4钛合金硬质合金刀具磨损的影响[J]. 沈阳理工大学学报,2015,34(1):5-8.
- [4]姜增辉,于海鸥,王文凯,等. PCBN刀具高速车削TC4钛合金刀具磨损的研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2015(5):98-101.
- [5]李登万,陈洪涛,黄隧,等. 不同冷却条件下钛合金材料的车削性能研究[J]. 工具技术,2010,34(3):19-21.
- [6]李登万,陈洪涛,许明恒,等. 钛合金车削加工表面粗糙度试验研究[J]. 制造业自动化,2010,32(5):6-8.
- [7]张为,郑敏利,徐锦辉,等. 钛合金Ti-6Al-4V车削加工表面硬化实验[J]. 哈尔滨工程大学学报,2013,34(8):1052-1056.
- [8]石莉,刘朋和,姜增辉,等. YBM251车削TC4钛合金切削力与刀具磨损的试验分析[J]. 制造技术与机床,2014(5):95-98.
- [9]王晓琴,艾兴,赵军,等. Ti6Al4V车削刀具磨损及切削力研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2007(7):14-16.
- [10]刘朋和,姜增辉,王琳琳,等. TiAlN涂层与无涂层刀具高速车削TC4钛合金的性能研究[J]. 制造技术与机床,2014(8):49-52.

第一作者:王丹,硕士,助教,上海工程技术大学制造工程系,200437上海市

First Author: Wang Dan, Master, Assistant, Department of Manufacturing Engineering and Technology, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 200437, China

首列氢动力列车明年将投入运营

据美国有线电视新闻网日前报道,全球首列零排放的氢动力列车将于2017年12月在德国投入运营。这款列车由法国阿尔斯通公司于两年前开始研制,并于今年初在德国柏林国际轨道交通技术展览会期间首次亮相。这一突破标志着污染严重的柴油动力列车有可能下岗。

德国《世界报》报道称,这种列车将于明年底在德国下萨克森的线路上运行,该州交通部门已订购了14辆,目前正在进行相关测试和验证工作。据悉,德国目前已有4个州同法国阿尔斯通公司签署了协议,总共将购买60多个列车车头。阿尔斯通公司主席兼首席执行官亨利·波帕拉法基在声明中表示:“这是清洁交通领域一项极具突破性的创新。”

这款列车名为“CoradiaiLint”(Lint是轻型创新型本地运输轨道车辆的缩写),它只释放蒸汽和冷凝水,而且除了轮子和风声外,几乎没什么噪音。这款列车的配置同柴油列车一样,但完全基于氢燃料电池技术。推动列车前行的能量由位于列车上方的大量燃料电池产生,这些电池让氢气和氧气结合后产生电,然后将电存储在蓄电池中。

阿尔斯通公司表示,每两个车厢的列车需要一个燃料电池及94公斤的氢气罐,满罐氢气能使列车搭载300名乘客行进800公里。尽管新型列车最高时速约140公里,远低于德国的城际快车及法国的高速列车,但它非常适合安静舒适的短途旅行。阿尔斯通表示,今年初亮相的试生产列车的基本测试工作将于今年底完成,随后会在2017年全年经受更严苛的测试,有望明年底获得德国联邦铁路局批准后开始运行。