

氢对 TC4合金切削加工性能的影响

于超¹ 王焱² 鲍永杰³ 王明海¹

(1 沈阳航空工业学院,沈阳 110136)

(2 北京航空制造工程研究所,北京 100024)

(3 大连理工大学,大连 116012)

文 摘 通过对不同氢含量的 TC4合金试件进行车削试验,测量切削力和加工后的表面粗糙度及观察切屑形态,研究氢对 TC4合金切削加工性的影响。结果表明:在一定范围内,随氢含量增加,TC4合金的切削加工性提高,并且有一个最佳值,氢含量为 0.2%,超过该值后,随氢含量增加,钛合金切削加工性变差。

关键词 TC4合金,含氢量,切削加工性

Effect of Hydrogen on Machinability of TC4 Alloy

Yu Chao¹ Wang Yan² Bao Yongjie³ Wang Minghai¹

(1 Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110136)

(2 Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024)

(3 Dalian University of Technology, Dalian 116012)

Abstract By turning test of TC4 alloy workpieces with different hydrogen content and measuring cutting force and surface roughness as well as observing chip morphology, the effect of hydrogen content on machinability of TC4 alloy was studied. Results of this experiment indicate that machinability of TC4 alloy is improved with increasing hydrogen content to a certain range, and there is an optimum value 0.2%, and in excess of this hydrogen value, with the hydrogen content increasing, machinability of TC4 alloy is worsened.

Key words TC4 alloy, Hydrogen content, Machinability

1 引言

钛合金具有许多优异特性,广泛用于航空、航天、化工等领域,但其切削加工性很差,属难加工材料。氢可以改善钛合金的工艺性能,而且钛合金的氢合金化有可逆性^[1-2]。可以在切削加工前对钛合金工件进行渗氢热处理,以改善其切削加工性,切削加工完成后,进行真空除氢热处理,把氢含量降低到不出现氢脆的安全值。目前尚缺少氢含量影响钛合金切削加工性的定量研究成果,因此深入研究氢含量影响钛合金切削加工性的规律很有必要。

2 实验

2.1 试件

试件母材为锻态的 TC4,氢含量如表 1 所示。

表 1 试件的氢含量

Tab 1 Hydrogen content of samples

序号	目标氢体积分数 /%	实际氢体积分数 /%	氢气压力 ¹⁾ /kPa
1	0	原始	-
2	0	原始	-
3	0.1	0.099	-5.46
4	0.1	0.102	-5.46
5	0.2	0.190	-0.375
6	0.2	0.194	-0.375
7	0.3	0.294	-0.33
8	0.3	0.295	-0.33
9	0.4	0.398	2.75
10	0.4	0.398	2.75
11	0.5	0.497	4.75
12	0.5	0.501	4.75

注:1)由于氢压传感器的灵敏度较低,分辨不出较小氢压,故出现负值。

收稿日期:2009-04-29;修回日期:2009-06-24

基金项目:基础科研项目(B0520080056)资助

作者简介:于超,1964年出生,副教授,研究方向为航空难加工材料的切削加工。E-mail: 391886@163.com

表 2 第一组数据正交分析表

Tab 2 Orthogonal analysis of first group of experimental data

序号	$W_H / \%$	$f / \text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$	a_p / mm	F_z / N
1	0	0.08	0.25	76
2	0	0.12	0.5	165
3	0	0.12 - 3L	1.0	300
4	0	0.16	1.5	550
5	0.1	0.08	1.0	220
6	0.1	0.12	1.5	420
7	0.1	0.12 - 3L	0.25	85
8	0.1	0.16	0.5	225
9	0.2	0.08	1.5	310
10	0.2	0.12	1.0	304
11	0.2	0.12 - 3L	0.5	177
12	0.2	0.16	0.25	125
13	0.3	0.08	0.5	144
14	0.3	0.12	0.25	104
15	0.3	0.12 - 3L	1.5	467
16	0.3	0.16	1.0	420
K_1	273	188	98	
K_2	238	248	178	
K_3	229	257	311	
K_4	284	330	437	
R	55	142	339	

表 3 第二组数据正交分析表

Tab 3 Orthogonal analysis of second group of experimental data

序号	$W_H / \%$	$f / \text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$	a_p / mm	F_z / N
1	0.4	0.08	0.25	85
2	0.4	0.12	0.5	208
3	0.4	0.12 - 3L	1.0	338
4	0.4	0.16	1.5	608
5	0.5	0.08	1.0	240
6	0.5	0.12	1.5	475
7	0.5	0.12 - 3L	0.25	108
8	0.5	0.16	0.5	240
9	0.1	0.08	1.5	337
10	0.1	0.12	1.0	320
11	0.1	0.12 - 3L	0.5	189
12	0.1	0.16	0.25	130
13	0.2	0.08	0.5	127
14	0.2	0.12	0.25	80
15	0.2	0.12 - 3L	1.5	392
16	0.2	0.16	1.0	370
K_1	340	195	107	
K_2	266	268	184	
K_3	244	260	313	
K_4	242	340	461	
R	114	147	354	

渗氢热处理温度为 750 ,保温 6 h,随炉冷却,合金中的氢含量通过控制系统中的氢气压力来控制,合金中的实际氢含量是用称重法得到。试件尺寸为 18 mm ×100 mm,试验前已统一精车。

2.2 主要仪器设备

CA6161A 车床。刀具为 WAM 20 (CVD 镀层硬质合金),前角 5°;后角 5°;主偏角 60°;刀尖角 90°;刃倾角 -5°;刀尖半径 0.3 mm。

T1000A 型表面粗糙度仪。

测力系统由 YDC - 89 型三向压电式车削测力仪、DN - 50S 接口板接线盒、YE5850 电荷放大器、PCI - 9118DG/L 数据采集卡和计算机组成。

2.3 试验

试验按以下条件切削:主轴转速为 500 r/min,背吃刀量 (a_p)为 0.25、0.5、1.0 和 1.5 mm 四种,在每种切削深度下,进给量 (f)分别为 0.08、0.12 和 0.16 mm/r 三种,干切削,测量切削力 (F_z),现场观察断屑及卷屑状况,全部试件切削完后,测量进给量为 0.12 mm/r 时各切削深度下的表面粗糙度。

文中的试验数据,为相同目标氢含量的两个试件,在相同切削条件下测得数据的平均值。

3 结果与讨论

3.1 氢含量对切削力的影响

在切削过程中,切削力直接决定着切削热的产生,并影响刀具磨损、破损、使用寿命、加工精度和已加工表面质量,是材料切削加工性的主要评价指标。由于在一定的切削条件下径向力 F_y 和轴向力 F_x 与主切削力 F_z 成一定的比例关系^[3],因此以主切削力为评价指标进行分析。

将主切削力试验数据按正交试验进行分析处理,选择 $L_{16} (4^5)$ 正交表^[5],因子分别为氢含量、进给量与背吃刀量,进行两组正交分析,第一组氢含量(目标氢含量)水平为:0.01%、0.2%和 0.3%,空白列为 3 和 5,表中未列出,其中进给量 0.12 mm/r 作为 3 水平重复使用一次,记做 0.12 - 3L。

试验数据见表 2。根据极差值 R 大小,对切削力影响的主次顺序分别是切削深度、进给量、氢含量。试验数据表明,氢含量的最优水平是 0.2%,次优水平是 0.1%。

第二组数据的氢含量水平(目标氢含量)分别为 0.4%、0.5%、0.1%、0.2%,试验数据见表 3。根据极差值 R 大小,对切削力影响的主次顺序分别是切削深度、进给量、氢含量。试验数据表明,氢含量的最优水平是 0.2%,次优水平是 0.1%。

图 1 给出了原始材料及不同氢含量试件在进给量为 0.12 mm/r 时不同背吃刀量的主切削力。每种材料的主切削力与切削深度的关系呈一致趋势,即随着切削深度的增加,主切削力逐渐增大。切削深度在小于 0.5 mm 时,各种材料的主切削力相差不大,增大的趋势比较缓慢;当切削深度大于 0.5 mm 时,各种材料均以较快的速度增长,而且每种材料主切削力曲线的斜率大致相同。目标氢体积分数为 0.1% 、 0.2% 、 0.3% 和 0.4% 的试件的主切削力曲线与原始材料主切削力曲线相差不大,但也有明显的趋势,即随氢含量增加,切削力减小, 0.2% 附近为最小值,然后随氢含量增加切削力增大。这表明,随着氢含量增加,切削加工性变好, 0.2% 左右为最佳值,这与正交试验的结果相一致。

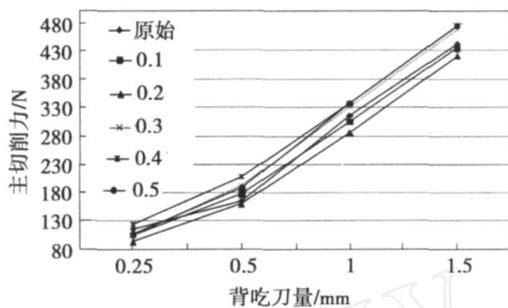


图 1 不同氢含量试件的主切削力

Fig 1 Main cutting force curves for different hydrogen content

3.2 氢含量对表面粗糙度的影响

图 2 是进给量为 0.12 mm/r 时不同氢含量试件的表面粗糙度数值。

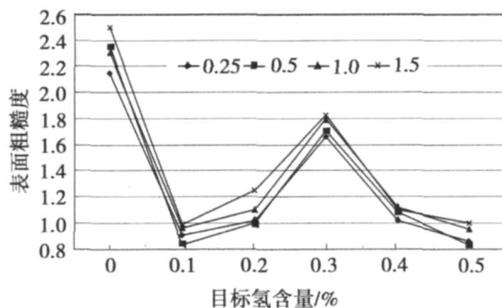


图 2 氢含量对表面粗糙度的影响

Fig 2 Impact of hydrogen content on surface roughness

从图中可知,随氢含量的增加,表面粗糙度比原始材料试件的粗糙度明显下降,当氢含量 $>0.2\%$ 时,粗糙度值上升; $>0.3\%$,表面粗糙度值再下降。从表面粗糙度上判断,氢含量为 0.1% 、 0.2% 和 0.5% 时,材料切削加工性较好。

3.3 氢含量对切屑形状的影响

切削原始材料试件时,形成长紧卷屑,不易断屑,有时缠绕在工件上。当进给量为 0.12 mm/r 背吃刀量分别为 0.25 、 0.5 、 1.0 和 1.5 mm 时,随着氢含量增加,切屑逐渐变为螺卷屑,容易断屑。

随着氢含量的增加,TC4合金的抗拉强度先增大后减小,在氢体积分数为 0.3% 时达到最大值,而塑性逐渐降低^[4];当氢含量 $<0.1\%$ 时,渗氢前后 TC4合金的抗拉性能相差不大,当氢体积分数 $>0.1\%$ 时,TC4合金的塑性便急剧降低^[4],发生氢脆,而影响合金的弹性模量^[4]。因此,随氢含量增加,切削力减小;由于其塑性降低,加工后的表面粗糙度值降低,切屑容易脆断。

4 结论

(1) 随氢含量增加,切削力减小,TC4合金的切削加工性提高,并有一个拐点峰值 0.2% ,超过该值,随氢含量增加,切削力增加。

(2) 随氢含量增加,表面粗糙度下降,加工性得到改善,较佳值为 0.1% 、 0.2% 、 0.5% 。

(3) 随氢含量增加,TC4合金的切屑由长紧卷屑逐渐变成螺卷屑,容易断屑,切削加工性变好。氢含量为 0.2% 时,切屑状态最好。

参考文献

- 1 Eliezer D, Eliaz N, Senkov O N et al Positive effects of hydrogen in metals Mater Sci Eng, 2000; A280: 220 ~ 224
- 2 Zhang Shaoqing, Zhao Linrua Effect of hydrogen on the superplasticity and microstructure of Ti - 6Al - 4V alloys J Alloys Comp, 1995; 218: 233 ~ 236
- 3 金属切削理论与实践编委会. 金属切削理论与实践. 北京:北京出版社, 1985
- 4 苏彦庆等. Ti6Al4V合金渗氢氢化组织及氢脆机制的研究. 稀有金属材料与工程, 2005; (4): 526 ~ 529
- 5 李云雁,胡传荣. 试验设计与数据处理. 北京:化学工业出版社, 2005

(编辑 吴坚)