

铣削 30CrMnSiNi2A 钢刀具 耐用度影响研究

Research on Tool Life Affected by Milling Parameter and Cooling Method in Milling 30CrMnSiNi2A Steel

中航飞机起落架有限责任公司燎原分公司 张志刚 翟甲友
北京航空航天大学机械工程及自动化学院 袁野 杨后川



张志刚

中航飞机起落架有限责任公司高级工程师,从事机械加工工艺研究,多年被公司聘为技术专家,现主管公司机械加工、喷丸强化、滚压强化和挤压强化等方面的技术工作,负责及参与超高强度钢的机械加工工艺、高强合金孔的开缝衬套挤压强化、陶瓷弹丸喷丸强化工艺研究、高强度钢的螺纹滚压强化研究等 10 多个项目的研究工作,并将新材料、新技术和新工艺运用于生产实际。

超高强度钢 30CrMnSiNi2A 是一种综合性能优良的结构材料,经热处理

本文通过对涂层硬质合金刀具铣削 30CrMnSiNi2A 钢时切削力和刀具耐用度的研究,以及冷却方式对刀具耐用度影响的分析,为切削该材料选择合理的切削用量和冷却方式提供指导,并为切削参数的优化提供约束条件。

理后可获得高的强度、好的塑性和韧性、良好的抗疲劳性能和断裂韧度、低的疲劳裂纹扩展速率^[1-2],在油中冷却,淬透性截面直径可达 50mm 以上,因而在航空工业中占有重要的地位,主要用于制造飞机起落架等受力构件。

随着国内数控机床的增多,日益突出的问题是机床的性能越来越高而加工效率明显偏低,从而造成机床资源的巨大浪费,选择合理的刀具、合理的切削用量及恰当的冷却方式是解决这一问题的重要措施之一^[3]。本文通过对涂层硬质合金刀具铣削 30CrMnSiNi2A 钢时切削力和刀具耐用度的研究,以及冷却方式对刀具耐用度影响的分析,为切削该材料选择

合理的切削用量和冷却方式提供指导,并为切削参数的优化提供约束条件。

试验条件与方案

1 试验条件

(1) 试验仪器。

瑞士 Kistler9257B 车铣测力仪;北京航空航天大学开发的便携式刀具磨损检测仪。

(2) 试验材料。

30CrMnSiNi2A 钢,试件的尺寸为 160mm × 130mm × 93mm。

(3) 试验机床和刀具。

在立式加工中心上采用株洲钻石 FMR01-040-XP32-RC12-03 面铣刀,刀具直径为 40mm;刀片材质为

涂层硬质合金,牌号为 GC2040。

2 试验方案

采用正交试验法设计切削力试验,试验结果用多元线性回归法处理。利用 4 因素 4 水平的正交表 L_{16} (44),试验方案如表 1 所示。

表1 切削力正交试验方案

| 序号 | $v/(m \cdot \min^{-1})$ | f_z/mm | a_p/mm | a_x/mm | F_x/N | F_y/N | F_z/N |
|----|-------------------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| 1 | 126 | 0.12 | 1.0 | 8 | 500 | 550 | 450 |
| 2 | 126 | 0.20 | 1.5 | 12 | 800 | 850 | 700 |
| 3 | 126 | 0.28 | 2.0 | 16 | 1500 | 1300 | 900 |
| 4 | 126 | 0.35 | 2.5 | 20 | 2150 | 1780 | 1080 |
| 5 | 176 | 0.12 | 1.5 | 16 | 900 | 770 | 640 |
| 6 | 176 | 0.20 | 1.0 | 20 | 870 | 710 | 600 |
| 7 | 176 | 0.28 | 2.5 | 8 | 1250 | 1680 | 1030 |
| 8 | 176 | 0.35 | 2.0 | 12 | 1600 | 1500 | 970 |
| 9 | 226 | 0.12 | 2.0 | 20 | 1200 | 1080 | 830 |
| 10 | 226 | 0.20 | 2.5 | 16 | 1540 | 1400 | 1010 |
| 11 | 226 | 0.28 | 1.0 | 12 | 1000 | 850 | 670 |
| 12 | 226 | 0.35 | 1.5 | 8 | 900 | 1200 | 850 |
| 13 | 276 | 0.12 | 2.5 | 12 | 900 | 1300 | 925 |
| 14 | 276 | 0.20 | 2.0 | 8 | 1050 | 1200 | 900 |
| 15 | 276 | 0.28 | 1.5 | 20 | 1300 | 1000 | 800 |
| 16 | 276 | 0.35 | 1.0 | 16 | 1380 | 950 | 720 |

在试验中,采用单齿顺铣削方式进行。根据国际通用标准,选取后刀面磨钝量 $VB = 0.3mm$ 作为刀具的磨钝标准,将试验分为以下两组。

(1)有切削液切削:考虑到径向切削宽度对刀具磨损影响较小,采用 3 因素(切削速度、进给量和轴向切削深度)试验方案进行试验,探讨铣削用量与刀具耐用度的关系,试验切削参数如表 2 所示。

(2)无切削液干切:在前面试验结果中选取一组刀具耐用度较长的切削参数进行试验,对比研究两种试验条件下刀具的磨损情况。

结果与分析

1 切削力与切削参数的关系

对表 1 中的数据进行回归分析,

得到 F_x (径向切削力)、 F_y (切向切削力)、 F_z (轴向切削力)的模型如下:

$$\begin{cases} F_x = 284.967v^{0.097}f_z^{0.4915}a_p^{0.5143}a_e^{0.5146} \\ F_y = 727.4307v^{0.1065}f_z^{0.3763}a_p^{0.7879}a_e^{0.0027} \\ F_z = 339.979v^{0.1526}f_z^{0.2442}a_p^{0.5743}a_e^{0.0504} \end{cases} \quad (1)$$

用于铣削力的预测。

2 切削液作用下铣削用量对刀具耐用度的影响

根据试验方案,在有切削液作用下,按表 2 所列次序进行试验,各刀具达到磨钝标准累计所用时间如表 3 所示。

对表 2 和表 3 中的数据进行多元回归,得到刀具耐用度回归模型:

$$T = 486255.3v^{-2.0099}f_z^{-2.1206}a_p^{-2.4875} \quad (2)$$

式中, v 为切削线速度; f_z 为每齿进给量; a_p 为轴向切削深度; T 为刀具耐用度。

采用 F 假设检验法进行回归模

表3 试验结果

| 试验序号 | I | II | III | IV | V | VI | VII |
|----------------|----|----|-----|----|----|----|-----|
| 刀具耐用度 T/\min | 11 | 48 | 26 | 21 | 17 | 10 | 14 |

型的显著性检验,经计算得到回归模型的统计量值 $F=18$,查 F 分布表可知,当 $\alpha=0.05$ 时, $F=6.61 < 18$,因此,回归得到的刀具耐用度模型是高度显著的,可以用于刀具耐用度预测。

一般而言,切削速度对刀具耐用度影响最大,进给量次之,切削深度影响最小^[4],这与三者对切削温度的影响有关。而从式(2)可以看出,该刀具的耐用度恰与一般情况相反,切削深度对刀具磨损的影响最大,进给量次之,切削速度影响最小。图 1 是在刀具放大 100 倍情况下,试验序号分别为 III 和 V、切削时间为 12min 时的刀具后刀面磨损外观图,从图 1 可知,该刀具的磨损形式以裂纹为主,并带有边界磨损的破损形式。这是由于:切削深度增加,切削力增大,刀具切入工件时撞击力增大,同时在切削液冷却下,刀具受交变热应力和撞击力共同作用,刀具出现裂纹破损,并伴随一定的边界磨损。

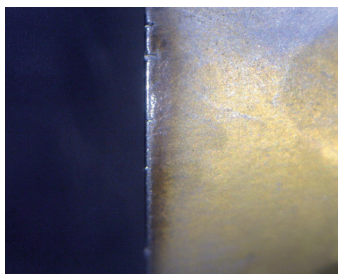
3 对比切削液冷却切削和干切削对刀具耐用度影响

刀具在切削液冷却下的磨损为裂纹型破损形式,是非正常磨损,可

表2 刀具耐用度试验方案

| 试验序号 | $v/(m \cdot \min^{-1})$ | f_z/mm | a_p/mm |
|------|-------------------------|----------|----------|
| I | 138 | 0.42 | 2.5 |
| II | 196 | 0.25 | 2.0 |
| III | 200 | 0.30 | 2.5 |
| IV | 200 | 0.45 | 1.5 |
| V | 238 | 0.25 | 2.5 |
| VI | 301 | 0.25 | 1.5 |
| VII | 314 | 0.18 | 2.5 |

采用 F 假设检验法进行回归模型的显著性检验,经计算得到回归模型的统计量值 $F = 46.8564$,查 F 分布表知,当 $\alpha=0.05$ 时, $F=4.84 < 46.8564$,由此可知,回归得到的铣削力模型是高度显著的,可以



(a) 试验Ⅲ磨损情况

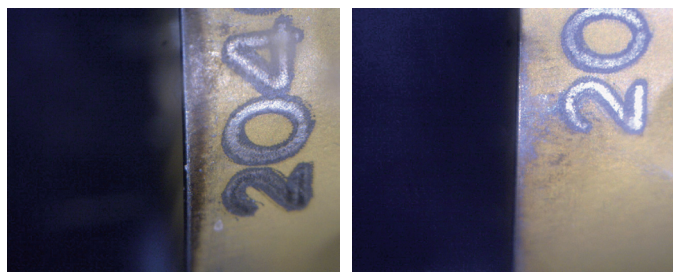


(b) 试验Ⅴ磨损情况

图1 12min时刀具的磨损外观

能是由于切削液冷却造成的。为了证实这一可能,选取上述试验中刀具耐用度较好的一组切削参数再进行一次干切削试验,即表1中试验序号为Ⅱ对应的切削参数。得到图2所示切削液切削和干切削时刀具磨损的对比照片,并绘出图3所示切削液切削和干切削时,在不同切削时间下刀具的磨损曲线。

试验结果表明,在切削参数为 $v=196\text{m/min}$ 、 $f_z=0.25\text{mm}$ 、 $a_p=2\text{mm}$ 、 $a_e=24\text{mm}$ 下,有切削液冷却时,刀具耐用度为 48min,而干切削时的刀具耐用度为 94min。从图2所示刀具磨损的对比照片和图3所示刀具的磨损曲线可以看出,干切削时刀具耐用度优于切削液冷却切削时刀具耐用度。这是由于在切削液冷却下,工件与刀具接触面切削温度高,工件与刀具非接触面温度低,在刀具表面存在很高的温度梯度,切削部分表面因反复热胀冷缩,产生巨大的交变热应力,从而使刀片刃口处产生疲劳开裂,出现裂纹型破损。干切时的切削温度高,温度梯度小且分布均匀稳定,刀具主要以边界摩擦磨损为主,不易出现崩刃和裂纹,因而刀具耐用度较长^[4-5]。



(a) 切削液冷却,切削 2min

(b) 干切削,切削 2min



(c) 切削液冷却,切削 10min

(d) 干切削,切削 10min



(e) 切削液冷却,切削 48min

(f) 干切削,切削 48min

图2 各时间段刀具磨损情况

结论

通过切削试验及回归分析,获得了 GC2040 涂层硬质合金刀具在切削液作用下铣削 30CrMnSiNi2A 钢时的 3 向力模型及刀具耐用度模型。

(1) 回归得到的铣削力模型是高度显著的,可以用于铣削力的预测;切削深度对刀具磨损的影响最大,其次为进给量,切削速度影响最小。

(2) 在冷却液作用下,刀具容易

发生非正常磨损的缺口型破损形式,使刀具的使用寿命降低。

(3) 当切削参数 $v=196\text{m/min}$ 、 $f_z=0.25\text{mm}$ 、 $a_p=2\text{mm}$ 时,干铣削 30CrMnSiNi2A 能显著提高刀具的使用寿命。关于干铣削参数的优化,有待进一步研究。

参考文献

- [1] 许国森. 30CrMnSiNi2A 的 K_{IC} 试验研究. 洪都科技, 1993, 76(3): 31-38.
- [2] 丁传富, 于辉, 吴学仁. 30CrMnSiNi2A 高强钢的疲劳小裂纹扩展特性及寿命. 金属学报, 1997, 33(3): 277-285.
- [3] 孙兰英, 刘国强, 王涛. 提高数控机床加工效率的措施. 机电工程技术, 2005, 34(9): 96-98.
- [4] 张幼楨. 金属切削原理及刀具. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [5] 古列维契, 周家宝, 译. 难加工材料切削用量手册(2版). 上海: 上海科学技术出版社, 1990.

(责编 深蓝)

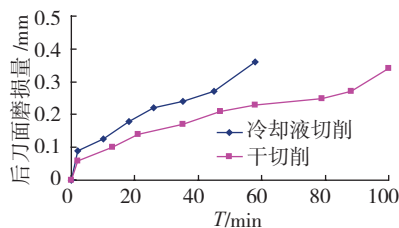


图3 刀具磨损曲线