

钛合金插铣过程刀具切削性能的模糊综合评价*

Fuzzy Synthetic Evaluation of Cutting Tool Performance in Plunge Milling Process for Titanium

天津大学机械工程学院 秦旭达 冀晓来 滑松 张剑刚 刘伟成 陈仕茂



秦旭达

副教授、硕士生导师。现任中国振动工程学会机械动力学学会第八届理事会理事、副秘书长,主要从事难加工材料加工过程动力学仿真及其工艺优化技术、制造过程监控技术研究。发表学术论文 30 余篇,SCI/EI 检索 20 篇次。获省部级科技奖励 2 项,在研主持国家自然科学基金、天津市基金各 1 项,国际合作项目 1 项。

* 国家自然科学基金项目(50705066)、天津市应用基础及前沿技术研究计划一般项目(08JCYBJC01300)、教育部博士点基金新教师项目(20070056016)资助。

将切削力、切削热、磨损和振动作为评价因素,对 4 组插铣铣刀的切削性能进行了模糊综合评价。结果表明,具有刀片 1 几何形状和结构的刀片在钛合金插铣过程中具有很好的切削性能。

钛合金由于其强度高、热稳定性好、耐腐蚀、资源丰富等一系列优点,在航空、航天、航海以及其他工业部门中得到了越来越广泛的使用。但是由于其导热系数小、化学活性大、切削变形系数小等原因,钛合金成为一种难加工材料。插铣法又称 Z 轴铣削法,切削效率比一般铣削高 4 ~ 5 倍,尤其在难切削材料的大去除率方面有优势,是实现高切除率金属切削最有效的加工方法之一。插铣实物如图 1 所示。

天津大学对铝合金、钛合金插铣过程的切削力进行了测量与分析,应用回归法建立了 3 个方向切削力的指数经验公式,并对钛合金插铣过程切削力的数学建

模进行了研究,发现单齿和多齿仿真结果与试验结果比较吻合。Jeong Hoon Ko 等分析了插铣加工过程的动态特性与稳定性,建立了一个基于

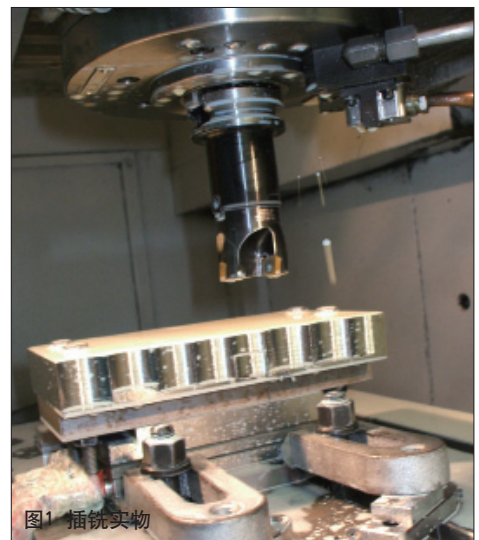


图1 插铣实物

表1 刀具结构图及几何参数

刀片代号	前角 $\alpha / (^{\circ})$	后角 $\beta / (^{\circ})$	刀尖圆弧半径 r / mm	主切削刃长 L / mm	副切削刃长 W / mm	厚度 S / mm	主切削刃与副切削刃夹角 $/ (^{\circ})$
1	15	15	1.191	12.7	12.7	4.763	90
2	15	15	1.2	12.7	12.7	6.35	90
3	15	7	0.8	12.7	6.35	6.35	90
4	15	10	0.787	10.5	12.192	5.0	73

刀具快速运动的切削力模型,该仿真模型可以根据刀具的切削误差和时间变量参数对切削力、扭矩、振动进行预测。Shunsuke Wakaoka 等对钛合金插铣过程中的加工精度、热硬性及加工效率方面进行了研究。这

表2 4组刀片Z向切削力比较

刀片代号	Z向切削力 F_z / N		
	$v_c=35$ m/min	$v_c=45$ m/min	$v_c=55$ m/min
1	58	79	96
2	80	105	136
3	91	130	151
4	59	60	102

为深入研究钛合金插铣的特点提供了重要参考。本课题以插铣钛合金(Ti-6Al-4V)时使用的数控铣刀为研究对象,以模糊综合评价理论为基础,通过试验对刀具性能进行评价。

评价对象性能指标

综合评价也称多目标决策,指对受多种因素影响的事物或现象进行总的评价。若这种评价过程涉及模糊因素,则称为模糊综合评价。模糊综合评价应用模糊数学方法,对受多种因素影响的对象和事物进行总的评价,从而达到对模糊概念的多方案和在多种评价标准下的优化目的。影响刀具优劣的因素很复杂,各因素之间相互影响,很难用某个因素单独评价刀具的好坏,因此这个问题适合应用模糊综合评价。

1 评价对象

在切削力、切削热、磨损和振动

的试验数据中选取具有代表性的试验数据作为插铣刀切削加工性能评价的性能指标。本课题对4种不同生产厂商提供的某型号可转位硬质合金刀片的切削性能进行对比研究。刀具几何参数如表1所示。

2 切削力

切削力的大小决定了切削加工过程中的功率和加工工艺系统变形的大小,并直接影响切削热的产生,使刀具变钝而失去切削能力。因此,切削力的大小可以作为衡量刀具切削性能的标志之一。

从4种刀片的试验数据中选取的切削参数包括:切削速度 v_c 为 35m/min、45m/min、55m/min,每齿进给 f_z 为 0.04mm,切削宽度 a_c 为 8mm,切削深度 a_p 为 10mm,分析主方向的切削力即Z向力,如表2所示。

3 切削热

切削热是金属切削过程中重要的物理现象之一。大量的切削热使得切削区温度升高,直接影响刀具的

磨损,因此切削热也是评价刀具优劣的重要因素。通过切削热试验,对4组刀片在不同条件下进行切削试验,对比其产生的切削温度,如表3所示。

4 振动

金属切削过程中的振动常常会引起已加工表面粗糙度增加、零件精度降低、刀具磨损加剧、机床的极限加工能力受到限制以及工作环境受到噪音污染等问题。此外,振动也是实现加工过程自动化的一个严重障碍。因此,切削过程中刀具的振动大小是评价刀具切削性能的一个重要指标。通过切削试验,对4种刀片的振动情况进行对比,结果如表4所示。从图2振动主方向的幅值上可以得出,稳定性从好到差的顺序为:刀片1、刀片2、刀片3、刀片4。

5 刀具磨损

刀具切削部分在切削过程中承受着很大的切削力和很高的切削温度,同时还与切屑及加工表面产生强烈摩擦,这使刀具逐渐磨钝失效。磨损可用来衡量刀具的切削加工性能,且是重要的因素之一。对4组刀具的切削试验表明,刀具的主要磨损形式为粘结磨损和机械磨损,其中粘结磨损比较严重。

从图3中可以看出,主切削刃靠近刀尖的前刀面部分积屑瘤很明显;刀尖部分粘结比较严重;副切削刃

表3 4组刀片在2组不同切削方案下的切削温度

刀片代号	切削速度 / $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	主轴每齿进给 / mm	切削深度 / mm	切削宽度 / mm	切削温度 / $^{\circ}\text{C}$
1	45	0.04	10	8	237.55
	55	0.04	10	8	248.71
2	45	0.04	10	8	242.57
	55	0.04	10	8	268.34
3	45	0.04	10	8	311.28
	55	0.04	10	8	350.42
4	45	0.04	10	8	384.35
	55	0.04	10	8	397.45

表4 4组刀片主切削方向振动主频幅值

刀片代号	1	2	3	4
振动主频幅值 / (m·s ⁻²)	0.039	0.049	0.069	0.088

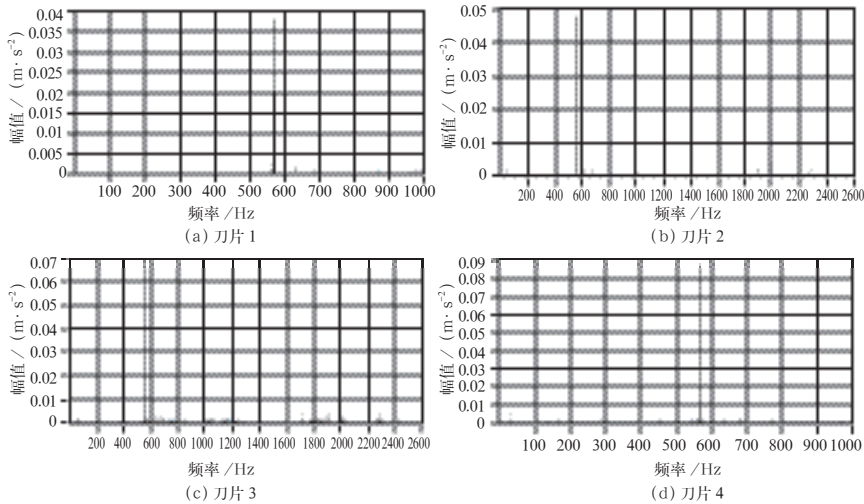


图2 4组刀片主切削方向振动功率谱图

靠近刀尖部分粘结磨损不严重;主切削刃后刀面有轻微粘结磨损。刀具磨损集中在主切削刃的前刀面和主切削刃与副切削刃的刀尖部分。通过扫描电镜对4组刀片的磨损情况进行比较,其中刀片3的磨损最少,刀片2的磨损最严重,而刀片4和刀片1的磨损状况相近。

刀具性能模糊综合评价模型

模糊综合评价从主要步骤上来讲可分为两大步:一是按单因素单独评价,即一级模糊综合评价;二是按所有因素综合评价,即二级模糊综合评价。通过一级模糊综合评价得到切削力、切削热、振动、磨损的单因素评价矩阵,归一化处理如下。

切削力: $\underline{B}_1 = \{0.341, 0.189, 0.102, 0.368\}$;

切削热: $\underline{B}_2 = \{0.418, 0.385, 0.180, 0.017\}$;

振动: $\underline{B}_3 = \{0.458, 0.364, 0.178, 0\}$;

磨损: $\underline{B}_4 = \{0.238, 0.143, 0.381, 0.238\}$ 。

根据生产实际中刀具选择情况的调查和统计作出判断。刀具抗磨损性能的高低直接表现为刀具的耐用度,对刀具性能的影响最大,切

削热、振动、切削力对刀具切削性能的影响程度依次递减。各因素的权重分别为:切削力为0.1,切削热为0.3,振动为0.2,磨损为0.4,即权重矩阵:

$$\underline{A} = \{0.1, 0.3, 0.2, 0.4\}.$$

二级综合评价的评价矩阵为:

$$\underline{R} = \begin{pmatrix} \underline{B}_1 \\ \underline{B}_2 \\ \underline{B}_3 \\ \underline{B}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.341 & 0.189 & 0.102 & 0.368 \\ 0.418 & 0.385 & 0.180 & 0.017 \\ 0.458 & 0.364 & 0.178 & 0 \\ 0.238 & 0.143 & 0.381 & 0.238 \end{pmatrix}.$$

二级综合评价的结果为:

$$\underline{B} = \underline{A} \circ \underline{R} = \{0.1, 0.3, 0.2, 0.4\}.$$

$$\begin{pmatrix} 0.341 & 0.189 & 0.102 & 0.368 \\ 0.418 & 0.385 & 0.180 & 0.017 \\ 0.458 & 0.364 & 0.178 & 0 \\ 0.238 & 0.143 & 0.381 & 0.238 \end{pmatrix} = \{0.346, 0.264, 0.252, 0.137\}.$$

二级综合评价的结果表明,刀片1的切削性能最好,刀片2和刀片3次之,刀片4较差。生产现场的使用证明上述评价是正确的,这与铣削试验研究的模糊综合评价结论一致。

结束语

本课题将切削力、切削热、磨损和振动作评价因素,对4组插铣刀的切削性能进行了模糊综合评价。结果表明,具有刀片1几何形状和结构的刀片在钛合金插铣过程中具有很好的切削性能。研究结果对生产实际中刀具性能的测定及刀具选择具有一定的参考价值。(责编 良辰)

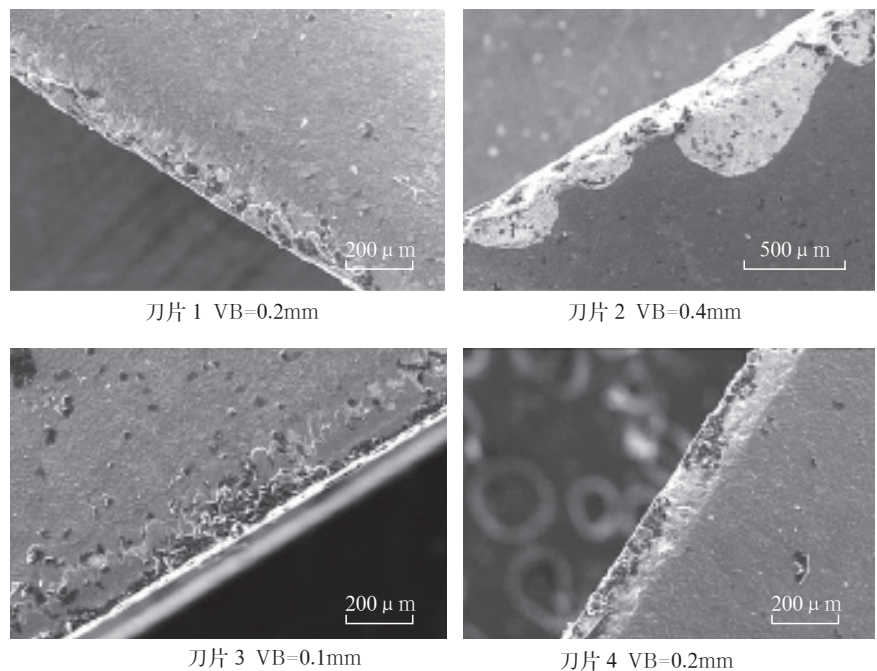


图3 插铣铣刀磨损情况