

文章编号 1004-924X(2015)增-0388-08

高速切削时温度影响因素的响应面实验

冯 勇*, 贾丙辉, 贾晓林

(南京工程学院 机械工程学院, 江苏 南京 211167)

摘要: 利用响应面法研究了高速切削 AISI1045 钢过程中主要切削参数变化对切削温度的影响。建立了高速切削温度测量实验系统; 然后, 在斜角切削机理分析基础上, 应用 Box-Behnken Design(BBD) 响应面实验方法设计了考虑切削速度、进给量、轴向切深和径向切宽的 4 因素 3 水平实验; 最后, 分析了各因素对高速切削温度的影响及温度变化范围。结果表明: 进给量约为 0.05~0.11 mm 时, 随切削速度增加, 切削温度缓慢升高; 进给量大于 0.11 mm 时, 随切削速度的增加, 切削温度呈缓慢降低现象; 保持切削速度不变, 随轴向切深增大, 切削温度呈线性增大; 当轴向切深小于 1.5 mm 时, 随径向切宽的增加切削温度先变小后变大; 当轴向切深大于 1.5 mm 时, 切削温度随径向切宽的增大线性增大。综合分析表明, 进给量和轴向切深的变化对切削温度影响较显著。

关键词: 高速切削; 切削参数; 温度测量; 响应面分析

中图分类号: TG506.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152313.0388

Response surface experiments of effect factors on temperature in high speed cutting

FENG Yong*, JIA Bing-hui, JIA Xiao-lin

(School of Mechanical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

* Corresponding author, E-mail: fengyong007@sina.com

Abstract: On the basis of the response surface method, the influences of main high speed cutting factors on cutting temperatures in AISI10 45 steel cutting processing were researched. A high-speed cutting temperature measurement test system was established. The tests with four factors and three levels were designed by applying Box-Behnken Design (BBD) response surface experimental design method considering the cutting speed, feed, axial cutting depth and the radial cutting width. Then, the effects of various factors on high-speed cutting temperature and temperature range were analyzed. Results show that when the feed is 0.05—0.11 mm, the cutting temperature rises slowly with cutting speed increasing; when the feed is greater than 0.11 mm, the cutting temperature decreases slowly with cutting speed increasing. However, when cutting speed maintains unchanged, the cutting temperature increases linearly with axial cutting depth increasing. When axial cutting depth is less than 1.5 mm, the cutting temperature first decreases then increases with radial cutting width increasing; when axial cutting depth is greater than 1.5 mm, the cutting temperature increases with radial cutting

收稿日期: 2015-04-17; 修订日期: 2015-05-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 51275227); 江苏省自然科学基金资助项目(No. BK20131341); 南京工程学院校科研启动基金资助项目(No. YKJ201303)

width increasing linearly. Comprehensive analysis shows that feed and axial cutting depth effect on cutting temperature changes more significant.

Key words: high speed cutting; cutting parameter; temperature measurement; response surface analysis

1 引 言

在高速切削过程中存在复杂的局部非线性的摩擦接触现象,同时会发生高温产生等物理过程,切屑不能及时带走热量导致切削表面区域产生较高的切削温度,可能造成微小区域内的材料组织改变又将导致刀具磨损、生产率下降、加工精度降低等^[1]。切削热直接影响到刀具的磨损与使用寿命、工件的加工速度与加工表面质量,严重时甚至引起机床热变形。因此,大量的研究正致力于解决切削区域最大温度预测以及温度场分布等问题^[2]。Chen Ming 等通过实验印证了萨洛蒙假设^[3],文献^[4]对萨洛蒙假设提出以来的相关文献进行了总结,认为在刀屑接触区不会出现萨洛蒙所假设的情况,在工件切削表面这种情况是有可能发生的。针对有关切削温度变化规律的争议,刘东^[5]等采用有限元分析的方法研究了切削温度变化规律。Trigger and Chao 建立了考虑剪切变形区及切屑与前刀面接触区域两大热源的模型用以预测了稳态直角切削切屑及刀具平均温升^[6],鲍永杰等采用有限差分法建立了 CFRP 钻削及磨削制孔温度场模型,并开展了复合材料热特性参数的均匀化处理工作^[7-8], P. S. Sreejith 等采用多元回归分析,建立了考虑切削速度、进给率、切削厚度等参数的车削 CFRP 的温度预测模型^[9]。这些研究多从理论上揭示了高速金属切削过程中温度的变化规律,或通过实验对理论分析结果进行了验证,为金属切削的机理研究奠定了基础。在工件加工与生产过程中,切削参数有各种可能的变化,理论分析往往难以准确的给出切削温度的变化范围或量值。本文以 AISI1045 钢在不同切削参数下的温度变化为研究对象,采用响应面法分析高速切削过程中关键切削参数对切削温度的变化范围和规律的影响,为高速切削加工中切削参数的优化提供依据。

2 斜角切削机理

斜角切削机理可看作是二维切削状态的累

积。图 1 所示为斜角切削在等效平面内剪切热源和移动热源共同作用下的温度计算模型;坐标原点在刀屑接触线的末端, z 轴垂直于前刀面, x 轴重合于刀屑接触线; $O'A'$ 和 $A'B'$ 分别为摩擦热源和剪切热源的镜像热源,设置镜像热源后物体内任意点的温度是真实和镜像 2 个等强热源在该点引起温度的迭加^[10-11];斜角切削工件和刀具在等效平面内的温度场计算公式如式(1)~(2)所示:

$$T_{M,chip} = \frac{q_{plf}}{2\pi\lambda} \int_{\omega_i=0}^{t_c/\cos(\varphi-\alpha)} e^{-\langle x-x_i \rangle v_c/2a} \times \left[K_0 \left[\frac{v_c}{2a} R_{if} \right] + K_0 \left[\frac{v_c}{2a} R'_{if} \right] \right] d\omega_i + \frac{q_{plf} B_{chip}}{\pi\lambda} \times \int_{l_i=0}^{l_c} e^{-\langle x-l_i \rangle v_c/2a} [K_0(R_{if} v_c/2a) + K_0(R'_{if} v_c/2a)] dl, \quad (1)$$

式中: a 为材料的热扩散系数($m^2 \cdot s^{-1}$); q_{plf} 为摩擦热流密度($W \cdot m^{-2}$), $q_{plf} = F_f v_c / (l_c \times \omega_c)$; q_{pls} 为剪切热流密度($W \cdot m^{-2}$), $q_{pls} = F_s v_s / A_{sh}$; K_0 为零阶二类贝塞尔函数,其数值可查;

$$\begin{aligned} R_{if} &= \sqrt{(x-x_i)^2 + z^2}; \\ x_i &= l_c - \omega_i \sin(\varphi - \gamma_n); \\ R'_{if} &= \sqrt{(x-x_i)^2 + (z-2t_{dh})^2}; \\ z_i &= \omega_i \cos(\varphi - \alpha); \\ \omega_i &= 0 \sim t_{dh} / \cos(\varphi - \alpha) \\ R_{ix} &= \sqrt{(x-x_i)^2 + (z-z_i)^2} \\ R'_{ix} &= \sqrt{(x-x_i)^2 + (2t_{dh} - z - z_i)^2}; \\ T_{M,tool} &= \frac{q_{plf}}{2\pi\lambda} B_{tool} \int_{y_i=-\omega_c/2}^{\omega_c/2} dy_i \int_{x_i=0}^{l_c} (R_i^{-1} + R'_{i^{-1}}) dx_i, \quad (2) \end{aligned}$$

式中: $R_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + z^2}$; $R'_{i} = \sqrt{(x-2l+x_i)^2 + (y-y_i)^2 + z^2}$ 。

B_{tool} 、 B_{chip} 为摩擦热源在刀屑间的分配比例,计算中可由所有热源所引起的刀屑接触线上两侧平均温度相等条件而动态确定^[10-11]; $B_{tool} + B_{chip} = 1$ 。

由式(1)和(2)可知,影响切削温度的主要参数为切削速度、切削深度、径向切宽和进给量,这与实际工件切削加工过程中所设定主要参数吻合。为此,主要考虑这 4 个主要因素对切削温度

的影响。

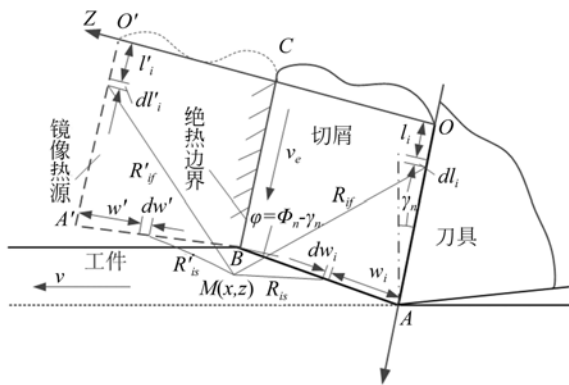


图 1 等效平面内的温度计算模型

Fig. 1 Temperature calculate model in equivalent plane

3 实验过程

3.1 实验系统构建

实验在立铣加工中心上进行, 机床型号 MCV850, 试验中工件采用 AISI 1045 钢; 刀具采用硬质合金刀具四刃铣刀, 通过三维扫描可获知所采用刀具型号为 HPL10.0M 硬质合金刀具, 其几何参数为: 直径为 10 mm, 刀齿数 $N=4$, 名义螺旋角 $i=30^\circ$, 径向法前角 $\gamma_n=0^\circ$, 刀具后角 $\alpha_o=20^\circ$, 齿楔角 $\delta=70^\circ$, 直径 $\varphi=10$ mm; 铣削方式为顺铣, 干式切削; 环境温度为 15°C 。

根据切削温度测量需要, 构建如图 2 所示高速切削温度测量系统。

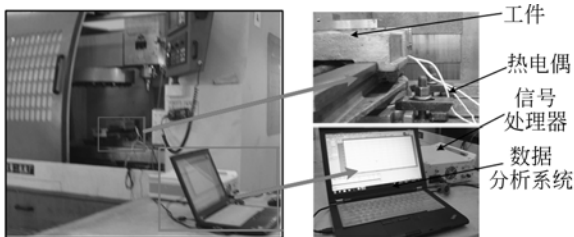


图 2 高速切削温度测量实验系统

Fig. 2 Experiment system of high speed cutting temperature measurement

切削温度拾取采取半人工热电偶方法测量切削温度, 将工件如图 3 所示剖分成 2 块, 工件剖面处黏贴绝缘片(云母片), 将康铜热电偶丝置于剖分后的工件之间, 处于轴向切深的 $2/3$ 位置, 然后

用虎钳将两块工件在工作台上对齐夹紧, 在远离切削点的位置处固连另一根康铜丝作为热电偶的冷端。切削过程中, 当被夹紧的康铜丝感受到切屑温度时毫伏计输出相应的电压值, 最后通过温度标定试验获得切削点的温度变化曲线^[12]。

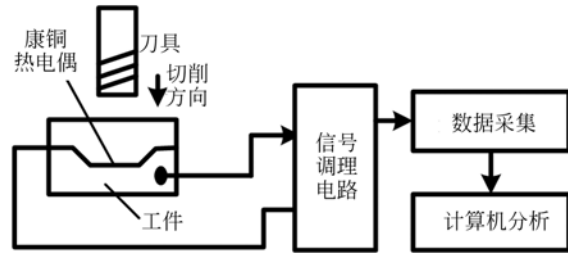


图 3 半人工热电偶切削测温原理图

Fig. 3 Schematic diagram of cutting temperature measurement

3.2 实验过程

在上述构建实验系统上, 根据工程中切销主要参数范围, 取得各参数均取 3 个水平如表 1 所示。工件的加工与分析采用响应面法 BBD(Box-Behnken design) 设计方法。响应曲面设计方法利用合理的试验设计方法并通过实验得到一定数据, 采用多元二次回归方程来拟合因素与响应值之间的函数关系, 用以寻找考虑输入变量值的变异或不确定性之后的最佳响应值^[13]。响应曲面法通过实验的方法探索最佳操作条件, BBD 响应面实验设计方法在因素数相同时比中心复合设计所需的试验次数少。本文中采用 BBD 设计方法对 4 因素 3 水平响应面设计所得实验条件如表 2 所示。为避免切削过程中刀具损坏, 实验中选定切削参数最大和最小值范围。

表 1 实验主要切削参数及水平设计

Tab. 1 Main operation parameters and level of cutting experimentation design

main operation parameter	Level 1	Level 2	Level 3
Cutting speed	40 m/min	100 m/min	150 m/min
Feed	0.05 mm/r	0.1 mm/r	0.3 mm/r
Axial depth of cut	0.5 mm	1.5 mm	3 mm
Radial width of cut	2.0 mm	6.0 mm	9.0 mm

表 2 切削实验条件设计

Tab. 2 Experimental design and cutting conditions

Experimental serial	Cutting speed m/min	Feed mm/r	Axial depth of cut mm	Radial width of cut mm
1	150	0.3	1.5	6
2	150	0.1	0.5	6
3	100	0.3	1.5	2
4	100	0.1	3	9
5	100	0.05	0.5	6
6	100	0.3	3	6
7	150	0.05	1.5	6
8	40	0.1	1.5	9
9	150	0.1	1.5	9
10	100	0.1	1.5	6
11	100	0.3	1.5	9
12	100	0.05	1.5	9
13	40	0.3	1.5	6
14	150	0.1	3	6
15	100	0.05	3	6
16	100	0.05	1.5	2
17	40	0.1	3	6
18	150	0.1	1.5	2
19	100	0.1	0.5	2
20	100	0.1	3	2
21	100	0.3	0.5	6
22	100	0.1	0.5	9
23	100	0.1	1.5	6
24	40	0.1	0.5	6
25	40	0.05	1.5	6
26	40	0.1	1.5	2
27	100	0.1	1.5	6

3 实验结果分析

3.1 切削温度响应分析模型选取

根据上述实验条件,测得各实验顺序所得温度如表 4 所示。在分析中采用方差分析(ANOVA)方法结果识别哪一个因素对切削温度影响显著。表 5 给出了温度响应的建议采用的分析模型、响应及切削参数的最大、最小值。

表 5、表 6 和表 7 的测试结果表明,线性拟合最适用于描述切削温度响应。表 5 给出了顺序模型的平方和表明增加复杂度对模型的影响;表 6 给出了缺失性检验对残差与恢复设计误差比较结果;表 7 给出的模型方差结果表明该模型缺失性检验不显著,因此,可以确定采用线性模型分析切削温度相应。

表 3 测量所得切削温度

Tab. 3 Cutting temperature measured (°C)

Cutting temperature measured				
sequence	1	2	3	4
temp.	158.83	226.57	111.41	683.81
sequence	5	6	7	8
temp.	53.83	649.94	99.9	243.5
sequence	9	10	11	12
temp.	649.94	179.824	609.3	677.04
sequence	13	14	15	16
temp.	734.62	859.934	836.23	58.91
sequence	17	18	19	20
temp.	477.20	548.33	62.30	473.82
sequence	21	22	23	24
temp.	121.57	168.986	179.82	57.22
sequence	25	26	27	
temp.	461.96	616.07	179.82	

表 4 响应面设计参数最大和最小值范围

Tab. 4 Responses and parameters with minimum and maximum ranges

Responses and parameters with minimum and maximum ranges							
Response	Name	Units	Obs	Analysis	Min	Max	model
Y	Temp.	°C	29	Polynomial	53.83	859.93	Linear
Factor	Name	Units	Type	Subtype	Min	Max	Coded value
A	Cutting speed	m/min	Num.	Continuous	40	150	-1=40,1=150
B	Feed	mm/r	Num.	Continuous	0.05	0.3	-1=0.05,1=0.3
C	Axial cut depth	mm	Num.	Continuous	0.5	3	-1=0.5,1=3
D	Radial cut width	mm	Num.	Continuous	2	9	-1=2,1=9

表 5 顺序模型的平方和

Tab. 5 Sequential model sum of squares

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Prob>F	
Mean vs Total	3.755×10^6	1	3.755×10^6			suggested
Linear vs Mean	4.649×10^5	4	1.162×10^5	1.76	0.1707	suggested
2FI vs Linear	4.430×10^5	6	73836.52	1.16	0.3694	
Quadratic vs 2FI	2.629×10^5	4	65722.91	1.04	0.42	
Cubic vs quadratic	3.733×10^5	8	46657.59	0.55	0.7873	Aliased
Residual	5.089×10^5	6	84811.63			
Total	5.808×10^5	29	2.003×10^5			

表 6 缺失性检验

Tab. 6 Lack-of-fit tests

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Prob>F	
Linear	1.421×10^6	20	71 025.31	1.70	0.3261	suggested
2FI	9.775×10^5	14	69 820.50	1.67	0.3311	
Quadratic	7.146×10^5	10	71 459.53	1.71	0.3199	
Cubic	3.413×10^5	2	1.707×10^5	4.07	0.1084	Aliased
Pure Error	1.675×10^5	4	41 883.80			

表 7 响应面模型线性方差

Tab. 7 ANOVA for Response Surface Linear Model

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	Prob>F	
Model	4.649×10^5	4	1.162×10^5	1.76	<0.1707	significant
A-Cutting speed	73 024.84	1	73 024.84	1.10	0.3039	
B-Feed	1.121×10^5	1	1.121×10^5	1.69	0.2055	significant
C-Axial cut depth	1.620×10^5	1	1.620×10^5	2.45	0.1307	significant
D-Radial cut width	1.409×10^5	1	1.409×10^5	2.13	0.1574	
Residual	1.588×10^6	24	66 168.39			
Lack of Fit	1.421×10^6	20	71 025.31	1.70	0.3261	not significant
Pure Error	1.675×10^5	4	41 883.80			
Cor Total	2.053×10^6	28				

4.2 响应面模型

由上分析,得到切削温度的线性回归模型可记为:

$$T = 91.74 + 1.41 \times v_c + 667.91 \times f + 91.90 \times \alpha_d + 29.56 \times \alpha_w, \quad (3)$$

式中: T 为切削温度, v_c 为切削速度, f 为进给量, α_d 轴向切深, α_w 径向切宽。

构型诊断检验结果如图 4、图 5 所示。图 4 所示残差正态概率纸图表示残差基本在一条直线上,表明误差呈正态分布。图 5 所示标准残差分布于正负两个方向内,表明模型是与预测响应值无关。

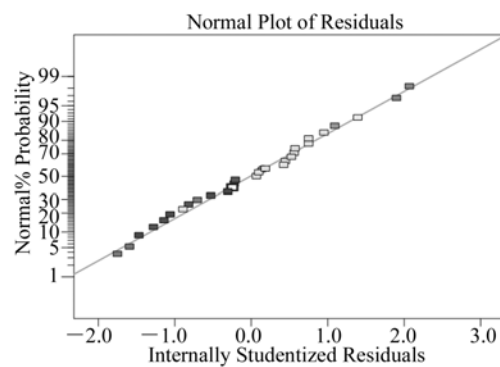


图 4 差正态概率纸图

Fig. 4 Normal Plot of Residuals

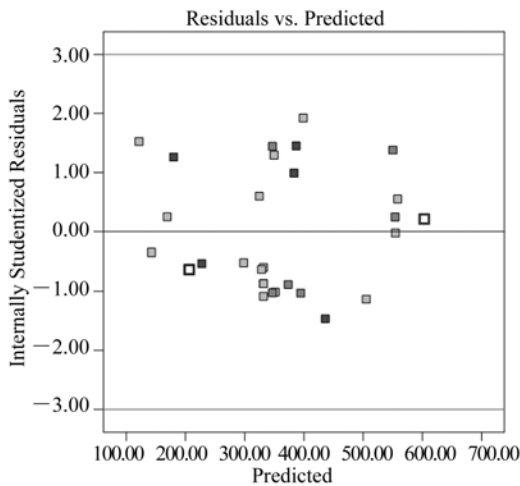


图 5 残差与预测响应的关系
Fig. 5 Plot of residuals vs. predicted response

根据所设计模型,图 6~11 分别给出了切削速度、进给量、轴向切深和径向切宽对金属切削温度和影响。图 6 所示为切削速度与进给量对切削温度的影响,由图 6 可见在较低切削速度下,随进给量增加,切削温度迅速升高;在进给量约为 0.05~0.11 mm 时,随切削速度增加,切削温度缓慢升高;在进给量大于 0.11 mm 时,随切削速度的增加切削温度呈缓慢降低。

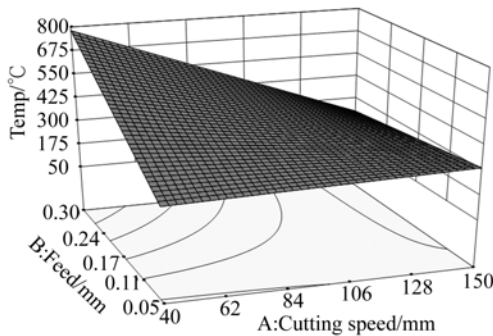


图 6 切削速度与进给量对切削温度的影响
Fig. 6 Effects of cutting speed and feed on cutting temperature

图 7 所示为切削速度与轴向切深对切削温度的影响。在较小轴向切深情况下,随切削速度升高,切削温度变化不大;在较大切深情况下,切削温度随切削速度增加温度升高。保持切削速度不变,随轴向切深增大,切削温度呈线性增大。

图 8 所示为切削速度与径向切宽对切削温度的影响。在径向切宽约小于 5 mm 时切削速度和

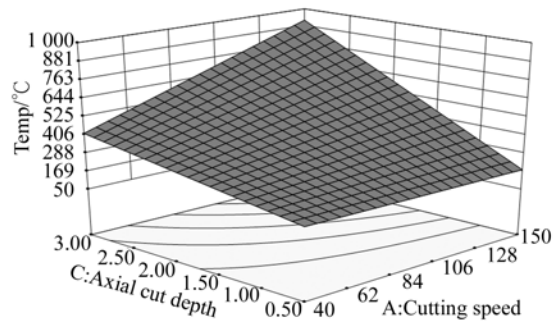


图 7 切削速度与轴向切深对切削温度的影响
Fig. 7 Effects of cutting speed and axial cut depth on cutting temperature

对切削温度的影响明显,在切削速度约小于 84 m/min 时径向切宽对温度的变化影响明显,而是径向切宽约大于 5 mm,切削速度约大于 84 m/min 时,工件处于高温状态,且切削速度和径向切宽对切削温度的变化的影响不大。

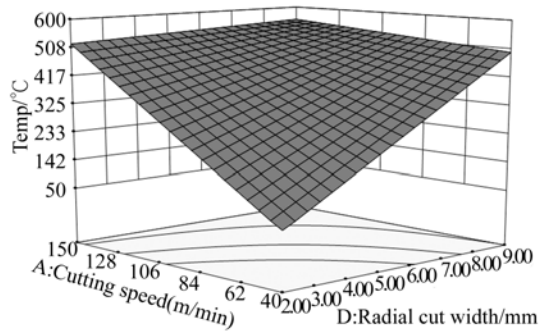


图 8 切削速度与径向切宽对切削温度的影响
Fig. 8 Effects of cutting speed and radial cut width on cutting temperature

图 9 所示为轴向切深与进给量对切削温度的影响

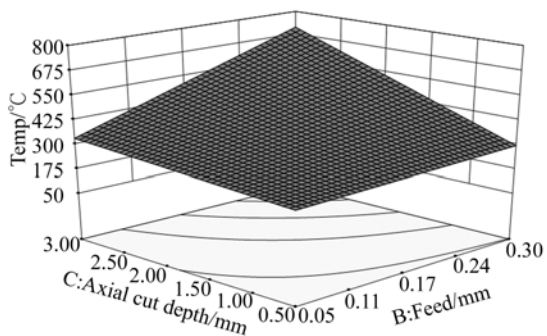


图 9 轴向切深与进给量对切削温度的影响
Fig. 9 Effects of axial cut depth and feed on cutting temperature

影响。在较小切削深度情况下(切深约小于 1.5 mm),进给量的改变对切削温度影响不大;保持进给量不变,随切削深度增加,切削温度缓慢增高。在切深为 3 mm,进给量为 0.3 mm 时,温度最高。

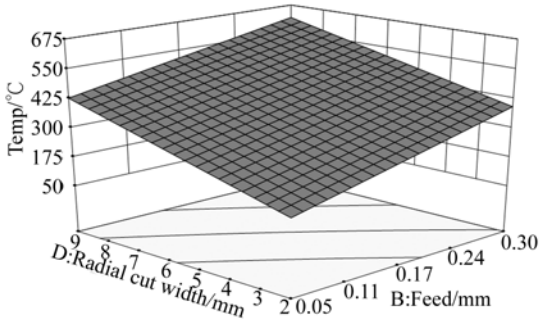


图 10 径向切宽与进给量对切削温度的影响

Fig. 10 Effects of radial cut width and feed on cutting temperature

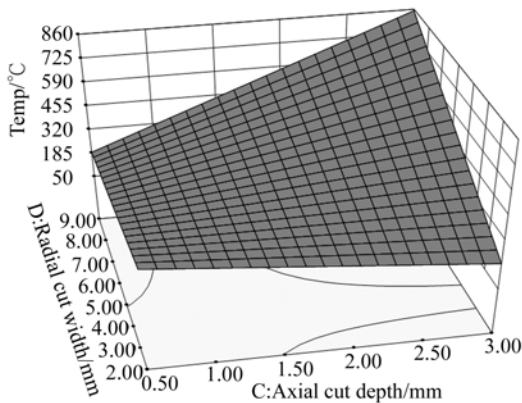


图 11 径向切宽与轴向切深对切削温度的影响

Fig. 11 Effects of radial cut width and axial cut depth on cutting temperature

图 10 所示为径向切宽与进给量对切削温度的影响。当保持径向切宽不变,随进给量变大,切削温度呈线性缓慢增长。

图 11 所示为径向切宽与轴向切深对切削温度的影响。在较小的轴向切深和径向切宽情况下,切削温度的变化规律较复杂,在轴向切深小于 1.5 mm 情况下,随径向切宽的增加切削温度先变小后变大;当轴向切深大于 1.5 mm 情况下,切削温度随径向切宽的增大线性增大。

5 结 论

本文建立了金属高速切削温度测量实验系统,并在斜角切削机理分析基础上,应用 Box-Behnken design(BBD) 响应面实验设计方法设计了考虑切削速度、进给量、轴向切深和径向切宽的 4 因素 3 水平实验;分析了各因素对高速切削温度的影响及温度变化范围。所得主要结论为:在进给量约为 0.05~0.11 mm 时,随切削速度增加,切削温度缓慢升高;在进给量大于 0.11 mm 时,随切削速度的增加切削温度呈缓慢降低现象;保持切削速度不变,随轴向切深增大,切削温度呈线性增大;在较小的轴向切深和径向切宽情况下,切削温度的变化规律较复杂,在轴向切深小于 1.5 mm 时,随径向切宽的增加切削温度先变小后变大;当轴向切深大于 1.5 mm 时,切削温度随径向切宽的增大线性增大。综合分析表明,进给量和轴向切深的变化对切削温度影响较显著。

参考文献:

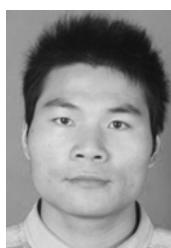
- [1] SUHAIL A. H, ISMAIL N., WONG S. V., et al.. Workpiece surface temperature for in-process surface roughness prediction using response surface methodology[J]. *Journal of Applied Sciences*, 2011, 11(2):308-315.
- [2] 陈明,文亮,姜丽萍,等. CFRP 单向层合板正交切削温度建模与预测[J]. *航空学报*, 2015, 36: DOI: 10.7527/S1000-6893.2015.0037. CHEN M, WEN L, JIANG L P, et al.. A prediction model for cutting temperature while orthogonal machining CFRP unidirectional laminates [J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2015, 36: DOI: 10.7527/S1000-6893.2015.0037
- [3] CHEN Ming SF, WANG H L. Experimental research on the dynamic characteristics of the cutting temperature in the process of high-speed milling [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, (138):468-471.
- [4] LONGBOTTOM J M. A Review of research related to Salomon's hypothesis on cutting speeds and temperatures[J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2006, (46):1740-1747.
- [5] 刘东,陈五一,徐宏海,等. 钛合金 TC4 切削温度变化规律仿真研究[J]. *系统仿真学报*, 2009, 21

- (22):7342-7345.
- LIU D, CHEN W Y, XU H H, *et al.*. Research on regulation of cutting temperature variation during cutting titanium alloy TC4[J]. *Journal of System Simulation*, 2009, 21(22):7342-7345.
- [6] TRIGGER K J, CHAO B T. An analytical evaluation of metal-cutting temperatures[A]. In 1950.
- [7] 鲍永杰,高航,梁延德,等. 碳纤维/环氧树脂复合材料钻削温度场建模与试验[J]. *兵工学报*, 2013, 34 (7): 846-852.
- BAO Y J, GAO H, LIANG Y D, *et al.*. Modeling and experimental research on drilling temperature field of carbon fiber/epoxy reinforced composites [J]. *ACTA Armamentarii*, 2013, 34 (7): 846-852. (inChinese)
- [8] 鲍永杰,高航,马海龙,等. 单向 C/E 复合材料磨削制孔温度场模型的研究[J]. *机械工程学报*, 2012, 48 (1): 169-176.
- BAO Y J, GAO H, MA H L, *et al.*. Research on-temperature field model during grindingdrilling of unidirectional carbon/epoxy composites [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2012, 48 (1): 169-176. (in Chinese)
- [9] SREEJITH P S, KRISHNAMURTHY R, MALHOTRA S K. Effect of specific cutting pressure and temperature during machining of carbon/phenolic ablative composite using PCBN tools[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, 183 (1): 88-95.
- [10] BURYTA D, SOWERBY R, YELLOWLEY I. Stress distributions on the rake face during orthogonal machining [J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 1994, 34: 721-739.
- [11] FENG Y, ZHENG L, WANG ML, *et al.*. Research on cutting temperature of workpiece in milling process based on WPSO [J]. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2015,79:427-435.
- [12] 冯勇,贾丙辉,贾晓林,等. 基于 LS-SVM 的高速切削温度预测. 2015,(5):110-114.
- FENG Y, JIA B H, JIA X L, *et al.*. High Speed Cutting Temperature Prediction Method Based on LS-SVM. 2015,(5):110-114.
- [13] PALANIKUMAR K. Application of Taguchi and response surfacemethodologies for surface roughness in machining glass fiber reinforced plastics by PCD tooling[J]. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2008(36):19-27.

作者简介:



冯 勇(1975—),男,吉林延吉人,博士,副教授,1998年于南京理工大学获得学士学位,2006年于南京理工大学获得博士学位,主要从事高速切削温度预测及机械系统设计方面的研究。
E-mail: fengyong007@sina.com



贾丙辉(1983—),男,山东成武人,讲师,2013年于西北工业大学获得博士学位,主要从事高速切削温度动态测量技术相关研究。E-mail: bhjia@njit.edu.cn