

文章编号:1008-1542(2012)02-0119-03

精密切削淬硬轴承钢 GCr15 的 表面粗糙度预测与加工参数优化

陈光军^{1,2}, 毕立歌¹, 薛迪¹, 刘明月¹, 姜金¹

(1. 佳木斯大学机械工程学院, 黑龙江佳木斯 154007; 2. 哈尔滨理工大学机械动力工程学院, 黑龙江哈尔滨 150080)

摘要:建立了淬硬钢精密切削加工表面粗糙度预测模型;采用 PCBN 刀具对 GCr15 淬硬钢进行了正交切削优化试验,获得了相当于精磨加工的表面粗糙度;试验结果表明进给量和刀尖圆弧半径是影响 PCBN 刀具精密硬态切削表面粗糙度的主要因素。研究可为精密硬态切削工艺参数的选择提供参考和依据。

关键词:硬态切削;表面粗糙度;正交优化;GCr15;PCBN 刀具

中图分类号:TG506 文献标志码:A

Surface roughness prediction and parameters optimization of precision turning hardened bearing steel GCr15

CHEN Guang-jun^{1,2}, BI Li-ge¹, XUE Di¹, LIU Ming-yue¹, JIANG Jin¹

(1. College of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi Heilongjiang 154007, China; 2. Mechanical and Power Engineering College, Harbin University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang 150080, China)

Abstract: The prediction model of surface roughness for hardened steel turning has been established. Through optimization of orthogonal hard turning test by using PCBN tools, the surface roughness of hardened bearing steel GCr15 equals that of fine grinding processing. The results show that feeding and corner radius are the most important factors which affect the surface roughness in precision hard turning by using PCBN tools. This research could provide reference for the selection of process parameters in precision hard turning.

Key words: hard turning; surface roughness; orthogonal optimization; GCr15; PCBN tools

淬硬钢是典型的耐磨和难加工材料,这类工件经淬火处理后硬度高达 HRC 50~65。由于其具有较高的机械强度和抗疲劳磨损能力,因而被广泛应用于轴承、汽车、模具等工业领域。硬态切削取代磨削作为淬硬钢的最终加工形式,具有加工效率高、加工柔性好、能耗低、污染小的优点,已经得到越来越多的认可和工业应用。

国内外学者进行硬态切削的表面粗糙度及表面完整性研究较多,ÖZEL T 等运用回归分析和神经网络的方法建立了表面粗糙度预测模型^[1];曹永泉等通过 PCBN 刀具干、湿切削淬硬轴承钢 GCr15 的对比试验,对两种条件下的切削力随刀具磨损的变化、刀具寿命及被加工工件表面粗糙度进行了对比^[2]。陈涛等和

收稿日期:2011-12-07;责任编辑:冯民

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175227);佳木斯市重点科研基金资助项目(11191);黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支持计划项目(1252G057);佳木斯大学青年基金资助项目(Lq2011-028)

作者简介:陈光军(1975-),男,黑龙江佳木斯人,副教授,博士,主要从事精密切削加工方面的研究。

CHEN Guang-jun 等在淬硬钢切削研究方面进行了系统的理论研究和实验研究工作,运用 RSM 法建立了硬态切削表面粗糙度预测模型,并通过试验验证了模型的准确性^[3-4]。

如何保证获得理想的加工表面粗糙度是实现用硬态切削替代磨削工艺加工淬硬钢的关键问题。笔者建立了刀尖圆弧和部分直线刃承担切削工作的淬硬钢精密切削加工表面粗糙度预测模型,采用 PCBN 刀具对 GCr15 淬硬钢进行了小切削用量下的正交切削优化试验,研究了各试验因素对表面粗糙度的影响规律。

1 精密硬态切削表面粗糙度预测数学模型

精密硬态切削加工采用的刀具一般具有较大刀尖圆弧半径 r_ϵ 和较小副偏角 k'_r ,选择的进给量 f 较小,且 $r_\epsilon > 2f$,刀尖圆弧和部分直线刃承担切削工作,形成的表面微观几何形状如图 1 所示。根据图 1 中的几何关系,可得到刀痕之间的残留高度为

$$R'_{\max} = \frac{1}{2} f \sin(2k'_r) + r_\epsilon \sin^2 k'_r \pm \sin^2 k'_r \sqrt{r_\epsilon^2 + 2fr_\epsilon \cot k'_r - f^2} \quad (1)$$

因为 $R_{\max} \cot k'_r < f$,且 $R_{\max} < r_\epsilon$,则圆弧与直线组合刃的精密硬态切削表面残留几何高度为

$$R_{\max} = \frac{1}{2} f \sin(2k'_r) + r_\epsilon \sin^2 k'_r - \sin^2 k'_r \sqrt{r_\epsilon^2 + 2fr_\epsilon \cot k'_r - f^2} \quad (2)$$

式中: f 为进给量; k'_r 为车刀的副偏角; r_ϵ 为刀尖圆弧半径^[5]。

式(2)建立起表面轮廓峰谷之间高度 R_{\max} 与刀尖圆弧半径 r_ϵ 、副偏角 k'_r 和进给量 f 之间的对应关系,在切削条件已知的条件下,可预测出精密硬态切削将要获得的表面粗糙度。减小进给量、增大刀尖圆弧半径以及减小副偏角 k'_r ,表面粗糙度值都有减小的趋势。

2 精密硬态切削试验

2.1 精密硬态切削试验条件

机床为 CA6140 车床;采用 PCBN 刀片,刀具刃口制作成负倒棱形式,有较强的刃口强度;试件材料为轴承钢 GCr15,这种材料在轴承行业应用具有以车代磨的应用前景,淬火处理后硬度为 HRC 62~64,试件直径为 110 mm,图 2 为切削试验照片。

在切削速度 $v = 217 \text{ m/min}$, $a_p = 0.1 \text{ mm}$,刀尖圆弧半径 $r_\epsilon = 0.4 \text{ mm}$ 的切削条件下,以进给量 f 为单一变量进行单因素切削试验。

2.2 表面粗糙度试验结果与表面形貌

图 3 是用本文所建立的表面粗糙度预测模型计算出的粗糙度理论预测值和实测值的对比,可以看出理论计算较准确地预测出工件表面粗糙度值。

用 HITACHIS-3000 型电子扫描电镜进行加工表面微观形貌的观察研究。切削表面 SEM 微观照片如图 4 所示,工件表面完全是由刀具切削刃直接切出来的,工件表面上复制了刀具切削刃形状,刀具进给运动的轨迹清晰可见,随进给量的增加,每条均匀间隔突起的棱脊之间的宽度也增大。

2.3 精密硬态切削正交试验优化

试验利用正交设计方案,该方法能够以较少的试验次数获得较多信息,有利于把每个因素的作用效果区分

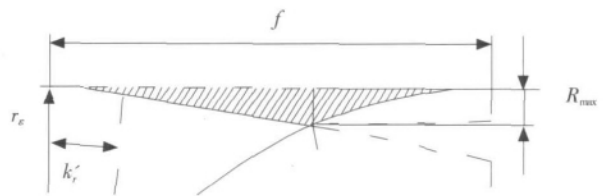


图 1 车削表面微观几何形状

Fig. 1 Micro geometry shape of turning surface

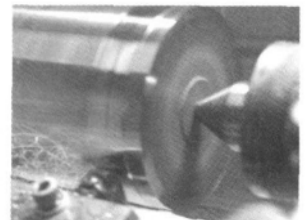


图 2 淬硬钢切削试验

Fig. 2 Cutting test of hardened steel

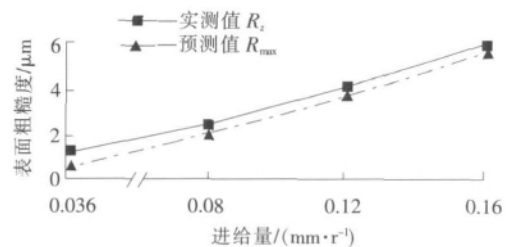


图 3 表面粗糙度理论预测值与实测值

Fig. 3 Calculated and experimental roughness values

清楚。

根据本文建立的精密硬态切削表面粗糙度预测数学模型,进给量 f 和刀尖圆弧半径 r_e 对加工表面粗糙度的影响较大;结合切削生产实践,选择切削速度 v 作为第 3 个正交切削试验的因素。正交试验选用 $L_9(3^4)$ 正交表,其因素水平见表 1。

根据现有的切削用量资料,精密硬态切削作为精加工方式,采用小切削用量,故设定背吃刀量为 0.1 mm。正交试验方案的测量结果如表 2 所示。

3 试验结果与分析

3.1 切削表面测量结果

加工表面粗糙度采用 TR240 表面粗糙度测量仪测得。其测量结果如表 2 所示。

3.2 正交试验结果分析

精密切削淬硬轴承钢 GCr15 的表面粗糙度正交试验数据极差分析如表 3 所示。

由表 3 可以看出,刀尖圆弧半径 r_e 的极差 $R_C = 0.739$,进给量 f 的极差 $R_B = 0.703$,切削速度 v 的极差 $R_A = 0.158$,影响 PCBN 刀具精密硬切削表面粗糙度的主要因素为进给量和刀尖圆弧半径。

从试验得到的加工表面粗糙度数据可以看出,小切削用量下的 PCBN 刀具硬态切削加工可获得相当于精磨加工的表面粗糙度,其中,第 4 号试验的表面粗糙度达 $0.212 \mu\text{m}$,为最小值,其方案是 A2B1C3。为进一步寻找最佳因素水平配合,计算各因素极差,各因素对粗糙度 R_a 值的影响趋势见图 5。

随进给量 f 减小和刀尖圆弧半径 r_e 增大,表面粗糙度 R_a 值减小,且变化显著;切削速度 v 变化,表面粗糙度 R_a 值变化不明显。

采用较小的进给量和较大的刀尖圆弧半径,则可以获得较好的表面粗糙度,优化后的切削参数应为 A1B1C3(切削速度 $v = 109 \text{ m/min}$,进给量 $f = 0.05 \text{ mm/r}$,刀尖圆弧半径 $r_e = 1.2 \text{ mm}$),在此切削条件下得到了比较理想的切削加工表面,测得表面粗糙度 R_a 值为 $0.203 \mu\text{m}$ 。

4 结 论

1)建立了刀尖圆弧和部分直线刃承担切削工作的淬硬钢精密切削加工表面粗糙度预测模型,减小进给量、增大刀尖圆弧半径以及减小副偏角,表面粗糙度值都有减小的趋势;

2)进给量和刀尖圆弧半径是影响 PCBN 刀具

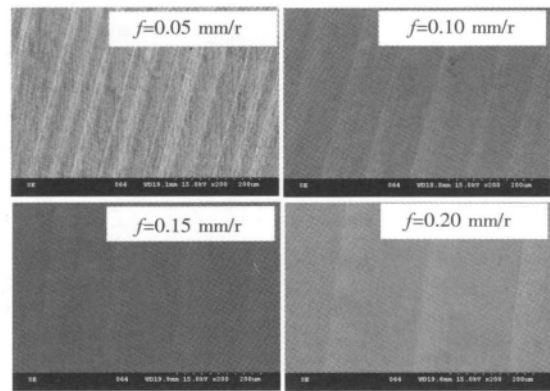


图 4 淬硬轴承钢 GCr15 精密切削加工表面形貌

Fig. 4 Surface morphology in precision turning of hardened bearing steel GCr15

表 1 正交试验的因素水平表

Tab. 1 Experimental factors and levels

水平	A $v/(m \cdot \text{min}^{-1})$	B $f/(\text{mm} \cdot \text{r}^{-1})$	C r_e/mm
1	109	0.05	0.4
2	217	0.08	0.8
3	270	0.10	1.2

表 2 切削表面粗糙度测量结果

Tab. 2 Orthogonal test programs and results of cutting surface measurement

序号	A	B	C	$R_a/\mu\text{m}$
1	109	0.05	0.4	0.319
2	109	0.08	0.8	0.547
3	109	0.10	1.2	0.315
4	217	0.05	1.2	0.212
5	217	0.08	0.4	0.544
6	217	0.10	0.8	0.583
7	270	0.05	0.8	0.339
8	270	0.08	1.2	0.272
9	270	0.10	0.4	0.675

表 3 正交切削试验极差分析

Tab. 3 Orthogonal range analysis of orthogonal test data

参量	A	B	C
K1	1.181	0.870	1.538
K2	1.339	1.363	1.469
K3	1.286	1.573	0.799
k1	0.394	0.290	0.513
k2	0.446	0.454	0.490
k3	0.429	0.524	0.266
R	0.158	0.703	0.739

(下转第 130 页)

最小直径的影响。

参考文献:

- [1] 成大先. 机械设计手册(第2卷)[M]. 第5版. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [2] 刘小宁, 张红卫, 刘 岑, 等. 基于信息熵的垫片密封模糊可靠度[J]. 工业安全与环保(Industrial Safety & Environmental Protection), 2011, 37(9): 61-62.
- [3] 倪洪启, 谷耀新. 现代机械设计方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [4] 牟致忠. 螺栓联接的可靠性设计[J]. 机械设计(Journal of Machine Design), 1986, 4(5): 11-16.
- [5] 卢立新, 刘飞飞, 蔡改贫. 螺栓联接的可靠性研究[J]. 机械设计(Journal of Machine Design), 1995, 13(5): 20-21.
- [6] 楼文高, 潘德隆. 受轴向变载紧螺栓组联接的模糊可靠性优化设计[J]. 机械设计(Journal of Machine Design), 1998, 16(3): 28-30.
- [7] 陈金梅, 金誉辉, 金长义. 螺栓联接的模糊可靠性分析[J]. 石油化工设备(Petro-Chemical Equipment), 2011, 40(5): 29-33.
- [8] 刘小宁, 张红卫, 韩春鸣. 基于模糊可靠度的薄壁外压力容器稳定性设计[J]. 机械强度(Journal of Mechanical Strength), 2011, 33(2): 217-224.
- [9] 张红卫, 刘 兵, 刘 岑, 等. 压力容器概率安全评定的可靠指标研究[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2011, 32(2): 192-196.
- [10] 刘小宁, 潘传九, 刘 岑, 等. 钢制内压力容器安全系数与试验压力系数研究[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2011, 32(4): 321-325.
- [11] GB 50153—2008, 工程结构可靠性统一设计标准[S].

(上接第 121 页)

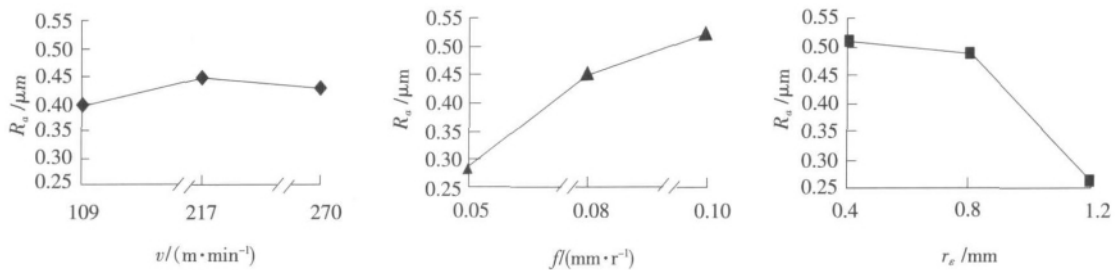


图 5 表面粗糙度的各因素影响趋势

Fig. 5 Changes of roughness value in various factors

精密硬态切削表面粗糙度的主要的因素:

- 3) 经正交试验优化后, 获得了相当于精磨加工的硬态切削加工表面, 其粗糙度 R_a 值为 $0.203 \mu m$ 。

参考文献:

- [1] ÖZEL T, KARPAT Y. Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks[J]. Machine Tools and Manufacture, 2005, 42: 467-479.
- [2] 曹永泉, 张弘强. PCBN 刀具切削淬硬钢 GCr15 的磨损实验研究[J]. 中国机械工程(China Mechanical Engineering), 2006, 17(21): 2 305-2 308.
- [3] 陈 涛, 刘献礼. PCBN 刀具硬态切削淬硬轴承钢 GCr15 表面粗糙度试验与预测[J]. 中国机械工程(China Mechanical Engineering), 2007, 18(24): 2 973-2 976.
- [4] CHEN Guang-jun, LIU Xian-li, YUE Cai-xu. Study on causes of material plastic side flow in precision hard cutting process[J]. Advanced Materials Research, 2010(97-101): 1 875-1 878.
- [5] 陈光军. 淬硬钢高速精密切削过程稳定性与表面塑性侧流研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2011.