

陶瓷刀具车削 GH4169 表面粗糙度研究^{*}

Study on Surface Roughness in Turning GH4169 Superalloy by Using Ceramic Tool

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 武导侠 姚倡锋
西安陕鼓动力股份有限公司 赵磊 胡创国

[摘要] 采用单因素试验法,使用陶瓷刀片进行 GH4169 高温合金的车削试验,分析了各切削参数对表面粗糙度的影响规律,结果表明:进给量是影响高温合金车削加工中表面粗糙度的最主要因素,其次是切削速度,切削深度的影响最小;切削速度在 190~230m/min 范围内,进给量在 0.1~0.2mm/r 范围内,可以保障表面粗糙度在 1.2 μ m 以内;进给运动轨迹构成了试件已加工表面形貌轮廓的主要特征。

关键词: GH4169 高温合金 车削 表面粗糙度 表面形貌

[ABSTRACT] The effect of cutting parameters on surface roughness is studied by single factor experiment by using ceramic tool in turning GH4169 superalloy. The study demonstrates that feed rate has highly obvious influence on surface roughness, followed by cutting speed and cutting depth; the optimum cutting speed ranges from 190m/min to 230m/min, and the optimum feed rate ranges from 0.1mm/r to 0.2mm/r. The optimum cutting parameters can control the roughness below the value of 1.2 μ m; the trajectory of feed movement constitutes the main feature of the machined surface topography.

Keywords: GH4169 superalloy Turning Surface roughness Surface topography

高温合金又称热强合金、耐热合金或超合金,能承受复杂应力并能够在相当苛刻环境下进行高温服役。其主要特点是含有较多的高熔点、高激活能合金元素,并具有优良的热强性能、热稳定性能及热疲劳性能。高温合金因为能长期在 600~1100 $^{\circ}$ C 的氧化和燃气腐蚀条件下工作,广泛应用于航空、宇航、船舶及化学工业中^[1]。高温合金按基体元素可分为铁基、镍基和钴基 3 种。GH4169 是一种典型的镍基高温合金,等同于美国牌号 Inconel718,是以体心四方 r'' 和面心立方 r' 相沉淀强化的镍基合金,从低温到 700 $^{\circ}$ C 以下具有很高的屈服强度、拉伸强度和持

久强度,在 650~760 $^{\circ}$ C 具有良好的塑性。GH4169 广泛用于制造喷气发动机的涡轮盘、涡轮轴、轴颈、封严环和叶片等高温部件^[2]。但是 GH4169 切削加工性较差,具体表现为切削力大、切削温度高、刀具磨损剧烈、加工硬化、粘刀现象严重、排屑困难^[3-5]。

国内外学者对 GH4169 的切削进行了多方面研究。Arunachalam 等^[6-7]研究了 CBN、陶瓷和涂层硬质合金刀具车削 Inconel718 的残余应力和表面粗糙度,结果表明陶瓷刀具产生的残余拉应力比 CBN 刀具产生的大。CBN 刀具产生的残余应力和表面粗糙度对切削速度和切削深度更敏感,采用冷却液可产生残余压应力或较低的残余拉应力,而干切削产生残余拉应力。Pawade 等^[8-9]研究了加工参数和刀刃几何对表面完整性的影响,结果表明采用较高切削速度、较低进给率和适当的切深时,加上刃磨的切削刃在已加工表面可以获得残余压应力,硬化深度为 30 μ m,变化范围为 370~490HV,此时基体硬度为 220~361HV,加工影响区深度达到 200 μ m,硬化程度受刀刃几何和切深影响大。Ezugwu 等^[10]研究了陶瓷刀具车削 Inconel718 时不同冷却压力对切削力和表面完整性的影响,结果表明 15MPa 的冷却压力可以抑制沟槽磨损,从而延长刀具寿命。切削力随冷却压力的增加而降低,生成的粗糙度都很低,微观组织结果表明存在塑性变形,硬化深度达到 0.15mm。黄奇等^[11]研究了车削 GH33A 的表面完整性,结果表明车削后表面粗糙度和残余拉应力较大,而且加工硬化严重,采用较小的进给量和切削深度使粗糙度、残余应力和加工硬化减小,适当提高切削速度有利于降低表面粗糙度和残余应力。

本文通过单因素试验方法,采用陶瓷刀片进行 GH4169 高温合金外圆车削试验,分析了切削参数对表面粗糙度的影响规律,观测了车削加工的表面形貌。为优化高温合金材料的切削工艺以及表面粗糙度的工艺控制提供试验依据。

1 GH4169 外圆车削试验

1.1 试验条件

试件为 GH4169 高温合金 ϕ 30mm \times 100mm 圆棒,每

^{*} 国家自然科学基金项目(50975237,51005184),国家科技重大专项(2009ZX04014-053,2013ZX04011031)资助。

个试件上开了两个缺口,平均分成3段,每段加工1组切削参数。试验机床为CK7525数控车床,最大主轴转速为3000r/min,采用乳化液冷却。试验采用了山特维克可乐满生产的刀柄(CRSNR 2525M 12-ID)以及刀片(刀片规格RNGN120700E, Sialon陶瓷,刀具牌号CC6065)。

表面粗糙度采用TR240表面粗糙度测试仪进行测量,在已加工表面上测量了5个点的表面粗糙度,求平均值。表面形貌的测量采用VECOO三维形貌测试仪。

1.2 试验方案

采用单因素试验的方法进行GH4169高温合金的外圆车削试验。车削的切削参数包括切削速度、进给量和切削深度,切削参数选了4个水平,切削参数的选择如表1所示。当研究其中1个因素时,其他因素固定不变。每一个试件进行切削试验之前,都采用同样的参数去除0.5mm的厚度,以消除不均匀的表面,保证试件的一致性。

表1 单因素试验方案及试验结果

序号	切削速度 v / ($m \cdot \min^{-1}$)	进给量 f / ($mm \cdot r^{-1}$)	背吃刀量 a_p / mm	表面粗糙度 R_a / μm
1	110	0.2	0.5	1.297
2	150			1.263
3	190			1.124
4	230			0.724
5	190	0.1	0.5	0.586
6		0.2		1.148
7		0.3		1.287
8		0.4		1.606
9	190	0.2	0.2	0.505
10			0.4	0.664
11			0.6	0.734
12			0.8	0.841

2 试验结果与讨论

2.1 二维粗糙度分析

图1给出了切削速度对表面粗糙度的影响曲线($f=0.2\text{mm/r}$, $a_p=0.5\text{mm}$)。可以看出,随着切削速度的增加,表面粗糙度基本上都呈现下降的趋势。切削速度在110~230m/min范围变化时,表面粗糙度值由1.297 μm 单调减小到0.724 μm ,切削速度在110m/min时,由于切屑形态比较差,排屑不理想,切屑对试件表面有比较严重的刮伤,所以造成表面粗糙度值比较大;切削速度在110~190m/min变化过程中,表面粗糙度值比较平缓,变化

不大;切削速度从190m/min到230m/min时,表面粗糙度值急剧下降。

图2给出了进给量对表面粗糙度的影响曲线($v=190\text{m/min}$, $a_p=0.5\text{mm}$)。可以看出,随着进给量的增加,表面粗糙度基本上呈现上升的趋势。进给量在0.1~0.4mm/r范围变化时,表面粗糙度值由0.686 μm 增加到1.606 μm 。

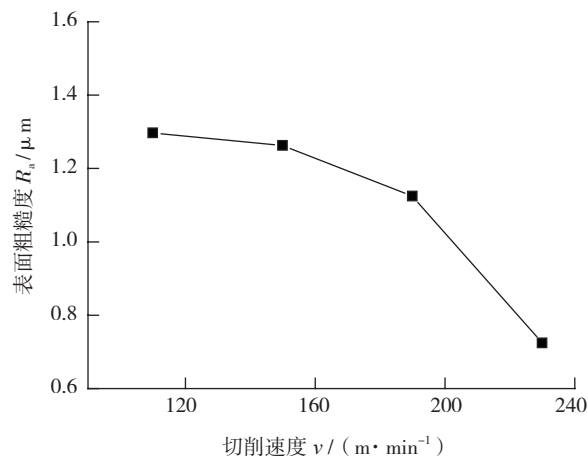


图1 切削速度对表面粗糙度的影响

Fig.1 Effect of cutting speed on surface roughness

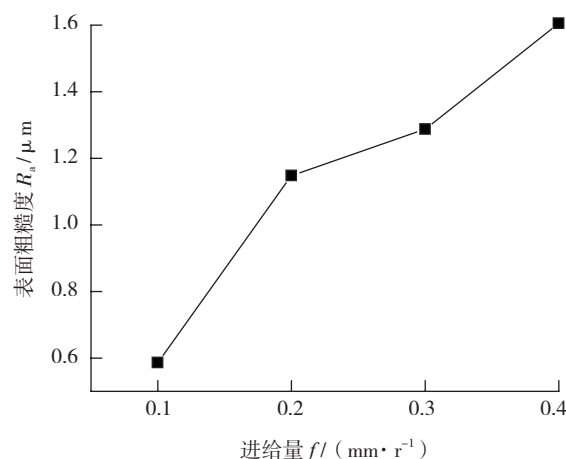


图2 进给量对表面粗糙度的影响

Fig.2 Effect of feed rate on surface roughness

图3给出了切削深度对表面粗糙度的影响曲线($v=190\text{m/min}$, $f=0.2\text{mm/r}$)。可以看出,随着切削深度的增加,表面粗糙度略有上升。对陶瓷刀片,切削深度在0.2~0.8mm范围变化时,表面粗糙度值由0.505 μm 增加到0.841 μm 。

2.2 车削表面形貌分析

通过单因素试验,根据表面粗糙度值优选出切削速度在190~230m/min范围内,进给量在0.1~0.2mm/r范围内,可以保障表面粗糙度在1.2 μm 以内。图4给出了在

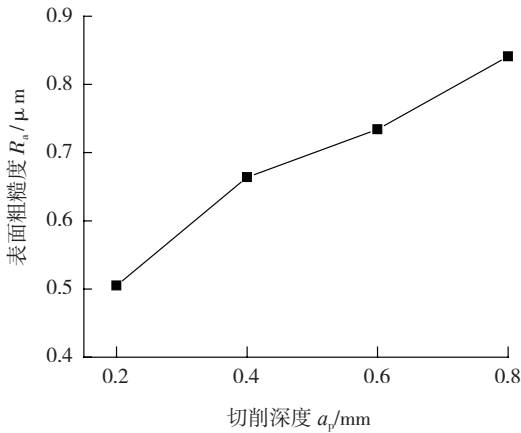


图3 切削深度对表面粗糙度的影响
Fig.3 Effect of cutting depth on surface roughness

切削参数 $v=190\text{m/min}$ 、 $f=0.1\text{mm/r}$ 、 $a_p=0.5\text{mm}$ 情况下,陶瓷刀片车削高温合金试件后的表面形貌。陶瓷刀片加工的试件表面粗糙度为 $0.58\mu\text{m}$,最大波峰高度为 $1.60\mu\text{m}$,最大波谷深度为 $1.60\mu\text{m}$,陶瓷刀片加工的表面纹理粗糙,最高点和最低点的落差比较大,陶瓷刀片一般应用于粗加工以及半精加工。

工件表面完全是由刀具切削刃直接切出来的,复制了刀具切削刃形状,刀具进给运动的轨迹清晰可见,每条均匀间隔突起的棱脊在进给方向的位移量等于每转进给量。工件表面上分布有沿切削运动方向的细小沟槽,这种沟槽一方面是刀具表面上硬质点对工件加工表面的犁耕,另一方面是刀具磨损表面上粗糙沟槽在工件加工表面上的复制。从图4中可以看出,棱脊不是一条线,而是变成很多磨损沟槽组成的犁垄带,不仅影响加工表面粗糙度,还反作用于刀具表面,使之产生附加沟槽,加剧刀具磨损。在每一转进给量范围内,靠近刀尖部位的工件表面较为光滑平整,越靠近副后刀面和副切削刃尾部刀具与工件分离处,工件加工表面越粗糙,说明刀具磨损带内磨损状态分布不均匀。刀尖部位紧压工件过渡表面,接触稳定,磨损过程稳定,加工痕迹较平整;副后刀面上,

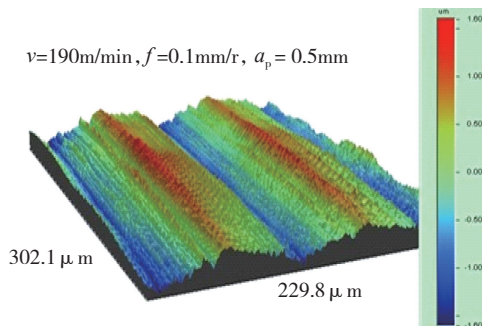


图4 陶瓷刀片加工试件表面形貌
Fig.4 Surface morphology for machining specimen by using ceramic blade

由于副后刀面和切屑锯齿状边缘的影响,离刀尖越远,刀具与工件压紧程度越差,加剧了刀具副后刀面的磨损。

3 结论

通过 GH4169 高温合金车削表面粗糙度及表面形貌研究,可以得出如下结论:

(1) 进给量是影响高温合金车削加工中表面粗糙度的最主要因素,其次是切削速度,切削深度的影响最小。切削过程中的进给运动对已加工表面形貌的形成有至关重要的作用,进给运动轨迹构成了已加工表面形貌轮廓的主要特征。

(2) 切削速度在 $190\sim 230\text{m/min}$ 范围内,进给量在 $0.1\sim 0.2\text{mm/r}$ 范围内,可以保障表面粗糙度在 $1.2\mu\text{m}$ 以内。

参考文献

- [1] Ezugwu E O, Bonney J, Yamane Y. An overview of the machinability of aeroengine alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, (134): 233-253.
- [2] 《中国航空材料手册》编辑委员会编. 中国航空材料手册. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [3] Rahman M, Seah W K H, Teo T T. The machinability of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997, 63: 199-204.
- [4] Dudzinski D, Devillez A, Moufki A, et al. A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2004, 44: 439-456
- [5] Ezugwu E O, Wang Z M, Machado A R. The machinability of nickel-based alloys: a review. *Journal of Materials Processing Technology*, 1999, 86: 1-16.
- [6] Arunachalam R M, Mannan M A, Spowage A C. Residual stress and surface roughness when facing age hardened Inconel 718 with CBN and ceramic cutting tools. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2004(44): 879-887.
- [7] Arunachalam R M, Mannan M A, Spowage A C. Surface integrity when machining age hardened Inconel 718 with coated carbide cutting tools. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2004 (44): 1481-1491.
- [8] Pawade R S, Joshi S S, Brahmankar P K, et al. An investigation of cutting forces and surface damage in high-speed turning of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007 (192-193):139-146.
- [9] Pawade R S, Joshi S S, Brahmankar P K. Effect of machining parameters and cutting edge geometry on surface integrity of high-speed turned Inconel 718. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2008(48): 15-28.
- [10] Ezugwu E O, Bonney J, Fadare D A, et al. Machining of nickel-based, Inconel 718, alloy with ceramic tools under finishing conditions with various coolant supply pressures. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005(162-163): 609-614.
- [11] 黄奇,任敬心. 车削与磨削 GH33A 高温合金表面完整性研究 [J]. *航空工艺技术*, 1991(3): 24-27.

(责编 良辰)