

# 陶瓷圆刀片车削 GH4169 机理 研究及工艺优化

Mechanism Research and Process Optimization of Turning GH4169 With  
Ceramic Circular Insert

哈尔滨汽轮机厂有限责任公司 詹春辉

哈尔滨理工大学 计伟 李克强 岳彩旭 李玉甫



詹春辉

工艺工程师,就职于哈尔滨汽轮机厂有限责任公司工艺处。目前从事大型叶轮叶片的工装设计、工艺编制等工作。

由于具有良好的切削稳定性,晶须增韧陶瓷刀片在高温合金的切削中得到越来越广泛的应用。但是作为切削高温合金的一种新型刀具,其切削机理还未得到充分阐述。为此,本文通过切削机理的研究,得出了陶瓷刀具切削高温合金的最佳工艺条件。

属于难加工材料,在切削加工过程中若条件选择不当,易出现刀具磨损过快、加工质量较差等问题<sup>[1]</sup>。由于具有良好的切削稳定性,晶须增韧陶瓷刀片在高温合金的切削中得到越来越广泛的应用。但是作为切削高温合金的一种新型刀具,其切削机理还未得到充分阐述。为此,本文通过切削机理的研究,得出了陶瓷刀具切削高温合金的最佳工艺条件。

## 高温合金和陶瓷刀具的材料属性

高温合金主要分为铁基高温合金、钴基高温合金和镍基高温合金,其中以镍基高温合金的应用最为广泛。镍基高温合金材料的主要成分为镍,以 GH4169 为例,其镍的含量为 50%~55%,其余主要元素有 Fe、Cr、Nb 等<sup>[2]</sup>。

现在切削高温合金的刀具材料多为涂层和非涂层硬质合金,但是存在较多问题,比如刀具磨损严重<sup>[3]</sup>、一般切削速度低于 100m/min<sup>[4]</sup>。陶瓷刀具抗磨损能力较强,热稳定性好,尤其在 1200~1400℃,硬度仍然能达到 80HRA<sup>[5]</sup>,其抗磨损的能力相当,抗弯强度较强,而价格相对较低,陶瓷刀具的性价比更高些。高温合金对刀具的磨损主要表现为月牙洼磨损<sup>[6]</sup>,陶瓷刀具的抗月牙洼磨损的能力较强。

## 陶瓷刀片车削高温合金试验系统

本研究车削试验现场布置如图 1 所示。车床型号为 CA6140,切削力的测量采用 Kistler 9275B 三向压电式测力仪,表面粗糙度的测量采用 MITUTOYO SV-3000 测量仪。

随着我国国防工业、航空航天天的迅速发展,高温合金、钛合金等难加工材料在这些领域的应用越来越广泛。高温合金是在 600~1200℃ 高温、保持优良力学性能条件下依然可以长时间工作的材料,并且可以承受复杂的应力。该材料具有良好的机械疲劳和热疲劳性能,也具有好的塑性和冲击韧性。但是高温合金

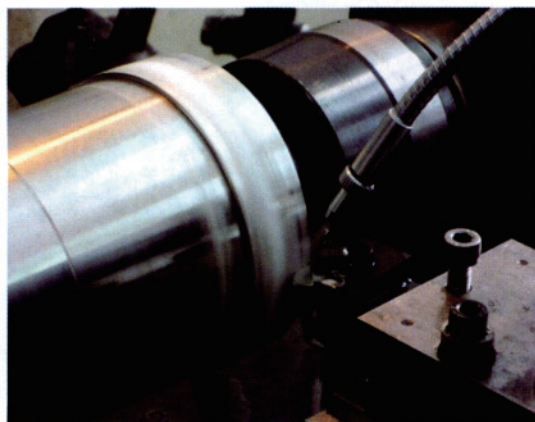


图1 试验台现场

工件材料高温合金牌号为GH4169, 刀具为美国绿叶公司型号为RNGN120700S-WG-300的陶瓷圆刀片, 如图2所示。

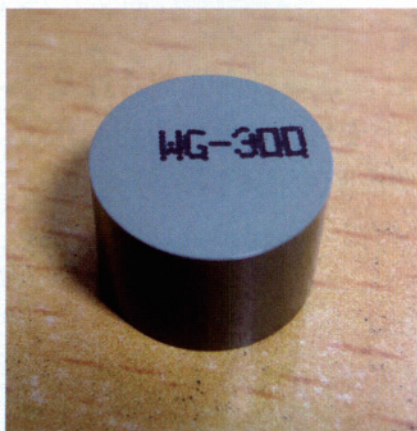


图2 陶瓷圆刀片

为了降低切削温度、延长刀具寿命、改善润滑条件<sup>[7]</sup>, 本试验采用微量润滑切削(MQL)辅助系统, 设备如图3所示。

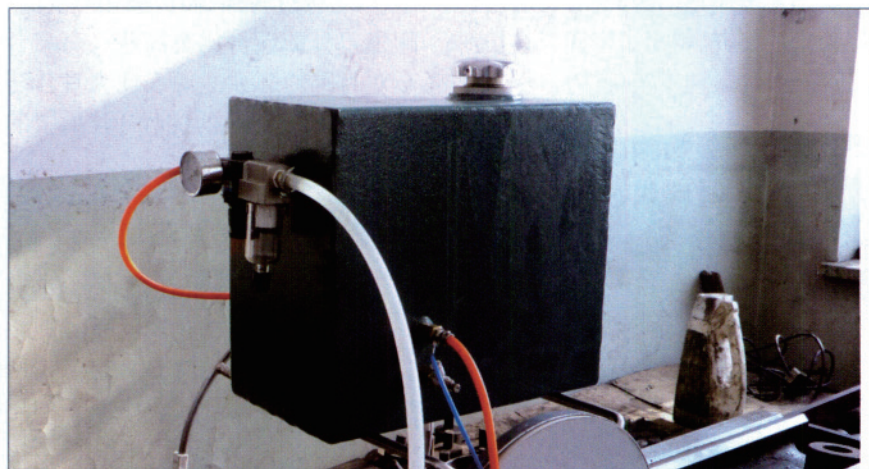


图3 汽雾冷却系统

### 试验方法及试验数据分析

本文通过高温合金车削单因素试验和正交试验, 对切削力、表面粗糙度以及刀具的磨损进行了研究。

#### 1 车削GH4169单因素试验研究

首先进行车削GH4169切削参数的单因素试验,

对其切削机理进行研究, 试验的切削速度为162m/min、170m/min、215m/min、272m/min, 切削深度为0.15mm、0.25mm、0.30mm、0.35mm, 进给量为0.05mm/r、0.08mm/r、0.14mm/r、0.18mm/r。

(1) 切削速度对切削力及表面粗糙度的影响。

图4为切削速度对切削力的影响, 当切削速度增加时, 切削力首先减小; 随着切削速度的进一步增大, 切削力达到一定的值后开始增大。由于当切削速度较小时, 切削区域充分变形, 所以此时切削力较大; 当切削速度增加时, 切削区域未发生变形的时前切削刃就会通

过, 所以切削力降低; 当切削速度进一步增加时, 必然会引起刀具-工件系统的振动的增加, 切削的稳定性降低, 所以切削力增加。表面粗糙度随着切削速度的增加而增加, 如图5所示, 因为当切削速度增加时, 振动对表面粗糙度的影响。同时, 随着切削速度的增加剪切滑移变成了剪切撕

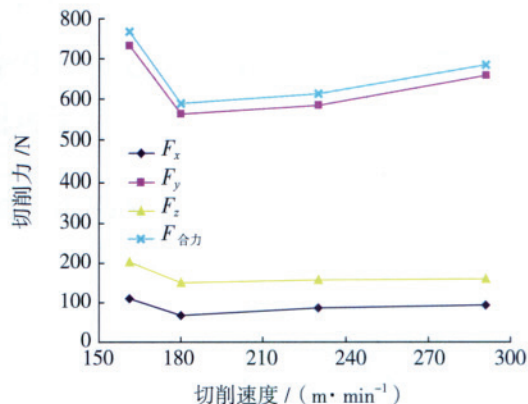


图4 切削速度对径向切削力的影响

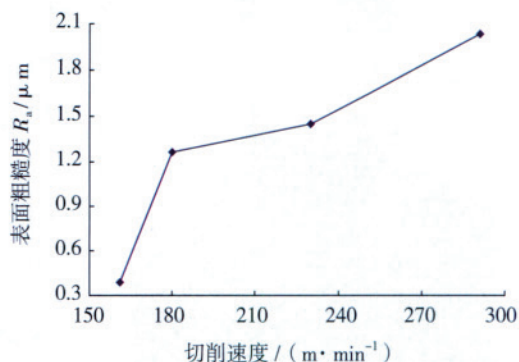


图5 切削速度对表面粗糙度的影响

裂, 这两个因素使表面粗糙度值急剧增加。

(2) 切削深度对切削力及表面粗糙度的影响。

图6和图7为切削深度对切削力和表面粗糙度影响曲线, 此种陶瓷刀具是负前角的, 并且切削刃形式为负倒棱, 切削加工本身是剪切滑移过程, 所以在切削的时候, 即将被加工的金属有一部分与负倒棱平面相接触, 由于高温合金属于塑性材料, 这部分金属产生了分流, 一部分金属随着切屑流出, 另一部分停留在被加工的工件表面, 产生对刀具的抗力作

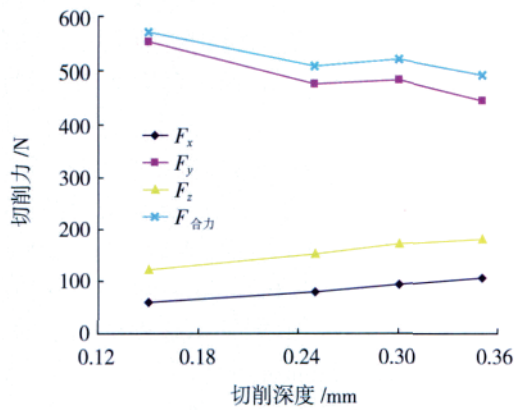


图6 切削深度对切削力的影响

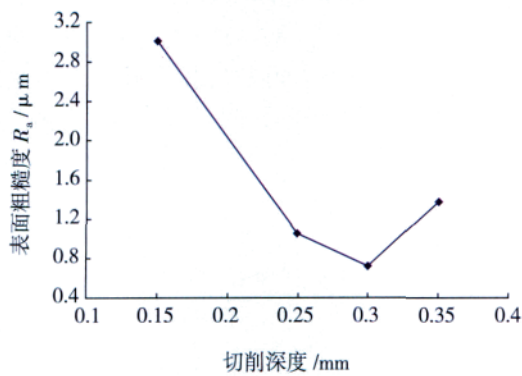


图7 切削深度对表面粗糙度的影响

用,而且表面质量不好,表面粗糙度较高。当切削深度较小时,被分流的金属层与切屑的质量比较大,切屑带走的金属较少,所以切削力较大,表面粗糙度较差;当切削深度加大时,切屑带走的金属相对增多,切削力会有下降的趋势,表面质量提高。但是当切削深度达到一定值的时候,切削力就不再减小了,因为金属的去除量过大时,轴向切削力就会明显增加,导致表面质量变差。

(3) 进给量对切削力及表面粗糙度的影响

图8和图9是进给量对切削力和表面粗糙度的影响。进给量的变化对切削力的影响不大,

这是由于进给量的增加时,切削厚度、切削宽度、切削面积和金属去除率变化不大。但是进给量增大时,增加了工件相邻的表面切削纹理的距离,使切削加工的表面变粗糙,故表面粗糙度值变大。

## 2 车削 GH4169 正交试验研究

采用正交试验设计来确定车削 GH4169 的最佳切削参数。试验数据如表1所示。

根据正交试验得到的试验结果为:对于切削力而言,切削速度与切削深度影响较大,而进给量的影响较小;对表面粗糙度而言,与切削3要素都有比较明显的关系。综合考虑切削力和表面粗糙度,并且几何单因素试验的试验结果,可以得到 WG300 陶瓷圆刀片精车 GH4169 的最优切削参数。即切削速度变化范围为 250~290m/min,切削深度变化范围为 0.25~0.30mm,进给量变化范围为 0.08~0.11mm/r。

表1 高温合金GH4169车削正交试验表

因素	切削速度 / ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	进给量 / ( $\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$ )	切深 / mm	表面粗糙度 $R_a$ / $\mu\text{m}$				切削力 / N
				数据 1	数据 2	数据 3	平均值	
试验 1	162	0.05	0.10	1.146	1.563	1.471	1.393	665
试验 2	162	0.08	0.15	1.562	1.554	1.619	1.578	400
试验 3	162	0.11	0.20	0.393	0.403	0.407	0.401	768
试验 4	162	0.14	0.25	0.413	0.412	0.455	0.426	494
试验 5	181	0.05	0.15	0.456	0.905	0.464	0.608	588
试验 6	181	0.08	0.10	0.276	0.275	0.259	0.270	1018
试验 7	181	0.11	0.25	0.411	0.397	0.457	0.422	552
试验 8	181	0.14	0.20	0.460	0.471	0.441	0.457	839
试验 9	230	0.05	0.20	0.233	0.252	0.282	0.256	770
试验 10	230	0.08	0.25	0.764	0.369	0.493	0.542	628
试验 11	230	0.11	0.10	0.497	0.513	0.512	0.507	1189
试验 12	230	0.14	0.15	0.604	0.642	0.702	0.636	737
试验 13	291	0.05	0.25	0.274	0.234	0.287	0.265	714
试验 14	291	0.08	0.20	1.394	2.104	1.045	1.514	470
试验 15	291	0.11	0.15	0.777	0.920	1.034	0.910	741
试验 16	291	0.14	0.10	0.491	0.672	0.448	0.537	804

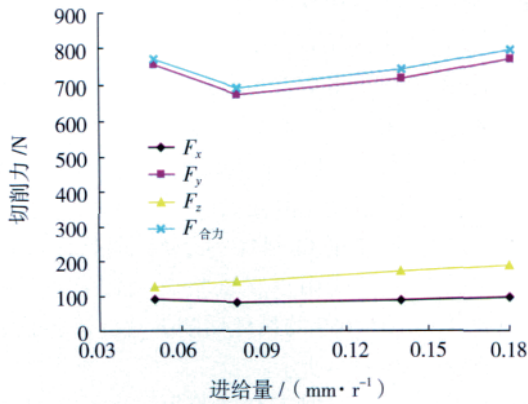


图8 进给量对切削力的影响

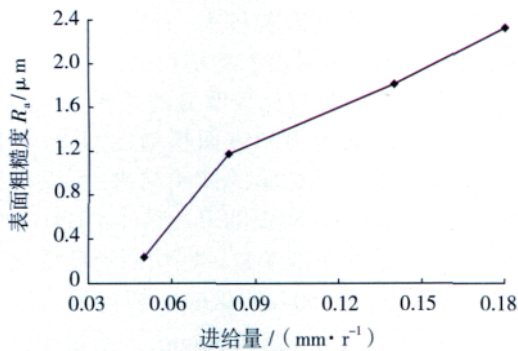


图9 进给量对表面粗糙度的影响

### 3 刀具磨损及破损形式分析

利用 KEYENCE 超景深三维显微系统 VHX-600, 观察 WG-300 陶瓷圆刀片的形态, 研究陶瓷刀片的失效形式。

陶瓷刀具切削高温合金时的径向切削力很大, 高温合金易粘刀, 导

致刀具的后刀面粘刀现象十分明显, 由于高温合金的导热性差, 切削时产生的切削热不能较好的从刀具中散出, 不仅导致后刀面的磨损非常严重, 而且易使刀具后刀面的材料脱落。图 10 中 A 和 B 所示的是未使用过的陶瓷刀片, C 为后刀面的磨损形态, E 为后刀面刀具材料成块脱落形态。后刀面与工件的摩擦过大, 而又不能从后刀面散出大量热量, 使切削刃的温度升高。而且负倒棱上不断有金属划过, 易使切削刃从前刀面处崩刃, 如图 10 中 D 所示; 或者摩擦温度升高而使切削刃温度过高, 而在前刀面上出现灼烧的痕迹, 如图 10 中 F 所示。

### 结束语

(1) 通过对 WG-300 陶瓷圆刀片车削高温合金 GH4169 的试验研究, 得到了切削参数对切削力及表面粗糙度的影响。随切削速度的增加

切削力先降低再升高, 表面粗糙度呈升高趋势; 随着切削深度增加切削力降低, 而表面粗糙度降低后增加; 进给量增加, 对切削力的变化不明显, 而表面粗糙度急剧增大。

(2) 通过分析正交试验以及单因素试验的结果, 得出了 WG-300 陶瓷圆刀片精车 GH4169 最佳的切削参数范围, 即切削速度变化范围为 250~290m/min, 切削深度变化范围为 0.25~0.30mm, 进给量变化范围为 0.08~0.11mm/r。

(3) WG-300 陶瓷圆刀片高速车削 GH4169 的磨损及破损形式是后刀面磨损及刀具材料脱落、切削刃崩刃、前刀面烧伤等。

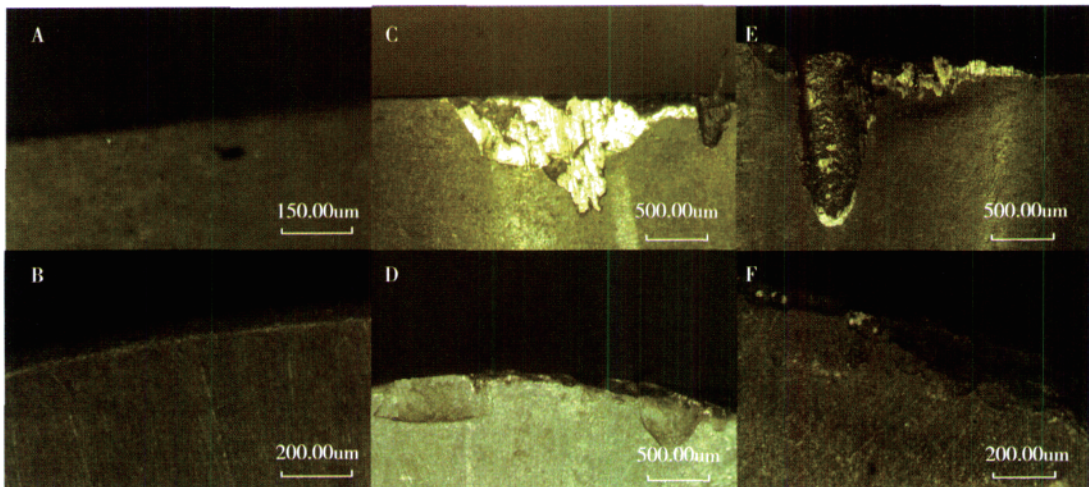
### 参考文献

- [1] 李刘合, 杨海健, 陈五一, 等. 用于加工 Inconel718 的切削刀具发展现状. 工具技术, 2010, 5(44): 3-12.
- [2] 赵秀芬, 王玉华, 刘阳, 等. 镍基高温合金的切削加工. 航空制造技术, 2010(11): 46-50.
- [3] 杨茂奋, 任敬心. 加工表面完整性对高温合金疲劳寿命的影响. 航空精密制造技术, 1996, 32(6): 28-31.
- [4] 赵军, 郑光明, 李安海, 等. 超高速切削 Inconel 718 刀具寿命研究及切削参数优化. 哈尔滨理工大学学报, 2011, 1(16): 9-12.
- [5] 王宝友, 崔丽华, 黄传真, 等. 陶瓷刀具的发展与应用. 工具技术, 2001, 1(35): 3-7.

[6] 郭旭红, 朱圣领, 曾庭卫, 等. 陶瓷刀具和 PCBN 刀具磨损形态的研究. 机械工程材料, 2004, 11(28): 9-11.

[7] Kamata Y, Obikawa T. High speed MQL finish-turning of Inconel 718 with different coated tools. Journal of Materials Processing Technology, 2007(192/193): 281-286.

(责编 泰山)



(其中A、C、E为后刀面, B、D、F为前刀面)

图10 陶瓷刀片磨损的显微结构