

引文格式: 李本凯, 丁文锋, 马艳艳, 等. 新型刚玉砂轮磨削 GH4169 镍基高温合金的性能评价研究[J]. 航空制造技术, 2021, 64(4): 14-19.

LI Benkai, DING Wenfeng, MA Yanyan, et al. Performance evaluation on grinding of nickel-based superalloy GH4169 using new corundum abrasive wheel[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(4): 14-19.

新型刚玉砂轮磨削GH4169镍基高温合金的性能评价研究*

李本凯¹, 丁文锋¹, 马艳艳², 肖红³, 黄庆飞², 司文元², 杨嘉³

(1. 南京航空航天大学机电学院, 南京 210016;

2. 苏州远东砂轮有限公司, 苏州 215151;

3. 中国航发西安航空发动机有限公司, 西安 710021)

[摘要] 镍基高温合金是航空发动机部件的常用材料,其磨削加工存在工具损耗严重、寿命短等难题。针对3种新研制的刚玉砂轮(分别为粒度60#的微晶和单晶混合磨料砂轮、粒度60#的单晶刚玉砂轮,以及粒度70#的单晶刚玉砂轮),开展了GH4169镍基高温合金材料的磨削试验,从磨削力、磨削温度、砂轮磨损以及表面粗糙度等方面对3种砂轮的磨削性能进行了评价。结果表明,3种砂轮磨削GH4169材料在砂轮磨损和表面粗糙度方面未表现出明显差异,而通过对磨削力和磨削温度的综合评价发现粒度60#的单晶刚玉砂轮的磨削性能更优。3种砂轮磨削GH4169材料的磨削比在0.5~3之间。在正常磨削条件下,3种砂轮的磨削表面粗糙度 R_a 小于 $0.4\mu\text{m}$ 。同时发现,砂轮磨损(主要包括磨粒的破碎和脱落)是造成磨削表面缺陷形成的重要原因。

关键词: 镍基高温合金 GH4169; 刚玉砂轮; 磨削; 砂轮磨损; 表面粗糙度

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2021.04.014



李本凯

博士研究生,主要从事航空发动机难加工材料高效高性能磨削技术研究。

GH4169 镍基高温合金以其优良的高温性能,如优异的强度、热稳定性、热延展性、耐疲劳和抗腐蚀性,成为航空发动机盘/轴/叶片/机匣等核心关键零部件最常用的材料之一^[1-2]。然而,这些优良的性能也使得 GH4169 材料成为了典型的难加工材料^[3-4]。砂轮磨削是镍基高温合金材料高效精密加工的重要方式,对于零件的加工精度和表面完整性具有重要影响^[5-6]。但是,磨削过程中镍基高温合金也存在磨削力大和温度高、砂轮磨损严重、功耗

高等难点^[7-8],同时镍基高温合金表面极易产生硬化层、残余应力、白层以及晶粒变形等问题^[9]。因此,深入研究镍基高温合金的磨削加工性,开发高效磨削工具和工艺对提高镍基高温合金的加工效率和质量具有重要意义。

目前国内外学者在镍基高温合金磨削加工方面进行了众多研究。Qian等^[10]采用刚玉砂轮进行了K4125和GH4169的对比试验,对两种材料的磨削加工性能进行了对比研究,发现同等条件下,K4125

* 基金项目: 国家自然科学基金(51921003,51775275); 南京航空航天大学博士学位论文创新与创优基金(BCXJ19-06)。

的磨削力和磨削温度高于 GH4169, 工件表面粗糙度值也明显大于 GH4169; 同时, 磨削 K4125 时砂轮磨损比磨削 GH4169 时砂轮磨损严重。Žytko 等^[11]采用刚玉砂轮磨削 GH4169, 研究了砂轮线速度对磨削表面完整性的影响, 结果发现随着砂轮线速度增加, 表面粗糙度 R_a 值降低, 当砂轮线速度从 22m/s 增大到 25m/s, 表面粗糙度 R_a 值降低了约 30%; 然而随着砂轮磨损程度增大, 表面粗糙度 R_a 值进一步增大。Miao 等^[12]进行了棕刚玉砂轮和微晶刚玉砂轮磨削 GH4169 镍基变形高温合金、DZ408 定向铸造高温合金、DD6 镍基单晶高温合金的对比试验, 研究了砂轮磨损对工件表面缺陷的影响, 发现棕刚玉砂轮磨削表面的缺陷形态与磨削方向不平行, 主要原因是晶粒的脱落和断裂在磨削力作用下重新参与磨削, 但是磨削方向不受控制; 而微晶刚玉砂轮磨削时, 大块破碎和脱落情况较少, 但由于晶粒的高延展性和硬度在磨削方向上产生了较深的微小沟槽缺陷。Yao 等^[13]进行了刚玉砂轮和 CBN 砂轮磨削 GH4169 的对比试验, 结果表明刚玉砂轮磨削得到了较好的工件表面完整性, 在磨削参数为磨削深度 $a_p=0.005\text{mm}$ 、工件进给速度 $v_w=16\text{m/min}$ 、砂轮线速度 $v_s=25\text{m/s}$ 时, 获得的表面粗糙度为 $R_a=0.112\mu\text{m}$ 。

虽然以上文献对 GH4169 材料的磨削加工开展了研究, 然而由于航空发动机零件加工效率与表面质量的要求越来越高, 目前广泛采用的刚玉砂轮在一定程度上已经难以满足不断提高了加工需求, 因而亟需研制和应用性能更加优良的刚玉砂轮。为此, 本文针对新研制的 3 种刚玉砂轮, 通过 GH4169 材料磨削试验对磨削力、磨削温度、砂轮磨损以及表面粗糙度等进行对比分析, 进而对 3 种砂轮的磨削加工能力进行评价, 为新型刚玉砂轮的研制与优选提供支撑。

试验材料与设备

试验使用的工件材料为 GH4169 镍基变形高温合金, 工件尺寸为 $25\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$, 其化学成分与力学性能见表 1 和表 2。GH4169 材料在室温下的拉伸强度和屈服强

度分别为 1502MPa 和 1360MPa。使用 3 种刚玉砂轮进行平面磨削试验, 砂轮宽度为 $b_s=20\text{mm}$ 。3 种砂轮分别为粒度为 60# 的单晶和微晶混合磨料砂轮 (SA/SGF60L6V)、60# 单晶刚玉砂轮 (SAF60L6V) 和 70# 单晶刚玉砂轮 (SAF70L6V), 表面形貌如图 1 所示。

磨削试验在 BLOHM PROFIMAT MT-408 高速平面磨床上进行, 最大主轴转速为 8000r/min, 输出功率为 45kW。试验装置如图 2 所示。试验条件分别为磨削方式采用顺磨, 工件磨削宽度为 5mm, 冷却液为 5% 的乳化液, 冷却液压力和流量分别为 1.5MPa 和 90L/min; 磨削参数如表 3 所示。磨削力采用 KISTLER 9317C 型三通道压电测力仪及 KISTLER 5018 型功率放大器进行测量, 测力仪 X、Y、Z 3 个方向的固有频率分别为 5kHz、5kHz 和 20kHz, 分别采用

表1 GH4169材料的化学组成 (质量分数)

Table 1 Chemical composition of GH4169

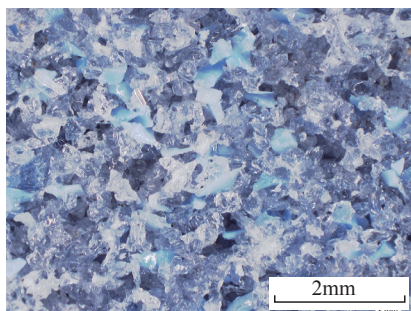
%

Co	Cr	Mo	Al	Ti	Nb	C	Ni	Mn	Cu	Fe
1.0	19	3.1	0.95	0.96	5.25	0.08	53	0.35	0.3	余量

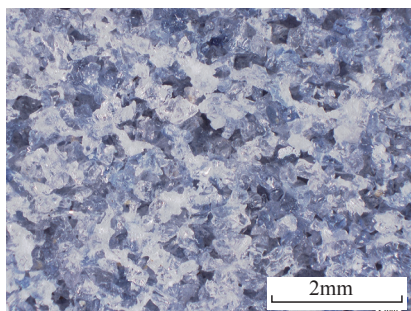
表2 GH4169材料的室温力学性能

Table 2 Mechanical properties of GH4169 at room temperature

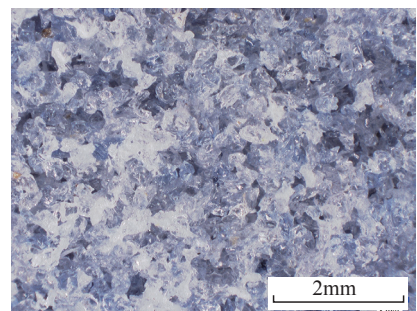
弹性模量 /GPa	拉伸强度 σ_b /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	密度 ρ / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	热导率 k / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
210	1502	1360	8280	13.7



(a) 60#单晶和微晶混合磨料砂轮



(b) 60#单晶刚玉砂轮



(c) 70#单晶刚玉砂轮

图1 3种砂轮表面形貌

Fig.1 Surface topography of abrasive wheels

测力仪的X向测量法向磨削力、测力仪Z向测量切向磨削力。磨削温度采用自然热电偶法进行测量,热电偶由待加工工件、云母片和康铜丝组成。云母片的作用是使工件和康铜丝不接触;密封胶的作用是在磨削加工过程中避免磨削液对热电偶造成损坏;导线连接到信号采集器用以记录温度信号数据。采用 Mahr M1 粗糙度测量仪测量磨削表面粗糙度,其中针尖直径为 0.2 μm ,采用高斯滤波,取样长度为 0.8mm。磨削力、磨削温度和表面粗糙度的试验结果均采用 5 次测量的平均值。工件表面形貌通过 Quanta 200 扫描电镜进行测量。

结果与讨论

1 磨削力

磨削力是磨削过程中最重要的

参量之一,它对砂轮寿命和磨削表面质量具有直接影响。图 3 为切向磨削力、法向磨削力和磨削力比随材料去除率的变化规律。从图 3 (a)和 (b)中可以看出,随着材料去除率的增大,3 种砂轮磨削 GH4169 的磨削力总体上呈现出增大的趋势。随着材料去除率从 0.16mm³/(mm·s) 增大到 1mm³/(mm·s),混合磨料砂轮、粒度 60# 的单晶刚玉砂轮和粒度 70# 的单晶刚玉砂轮的切向磨削力分别从 27.3N、24.5N 和 25.7N 增大到 102.4N、105.7N 和 81N,而法向磨削力分别从 61.7N、60.6N 和 55.6N 增大到 390.2N、333.7N 和 250.2N。在相同的磨削参数下,3 种砂轮的切向磨削力和法向磨削力没有显著区别;而拟合结果发现当材料去除率大于 0.4mm³/(mm·s) 时,粒度 60# 的单晶刚玉砂轮的切向磨削力最小。从图

3 (c) 中发现,3 种砂轮的力比均保持在 2~4.2 之间,从拟合的结果可知,混合磨料砂轮的力比最高,粒度 60# 的单晶刚玉砂轮的磨削力比最小。这说明磨削过程中混合磨料砂轮表面磨粒钝化较严重,微晶磨粒的自锐性能未能充分发挥;而粒度 60# 的单晶刚玉砂轮表面磨粒较锋利。因此综合评价磨削力试验结果,粒度 60# 的单晶刚玉砂轮的磨削性能最优。

2 磨削温度

磨削温度是磨削过程中另一个重要参量。不同于车削与铣削等加工方式,磨削过程中产生的热量大部分传入到工件中,造成工件表面温度的急剧升高。磨削温度过高会使得磨削表面完整性变差,严重影响零件疲劳性能。因此控制磨削温度是磨削加工中最重要的问题之一。图 4 为 3 种砂轮磨削 GH4169 的磨

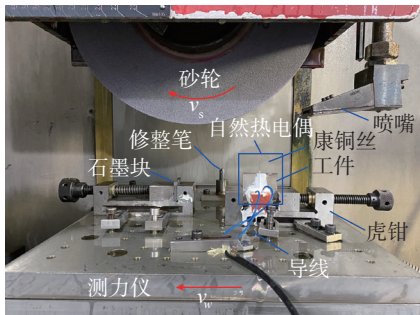
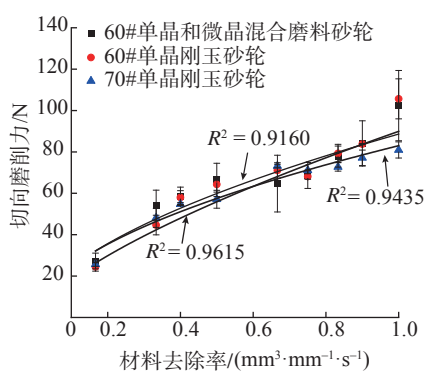


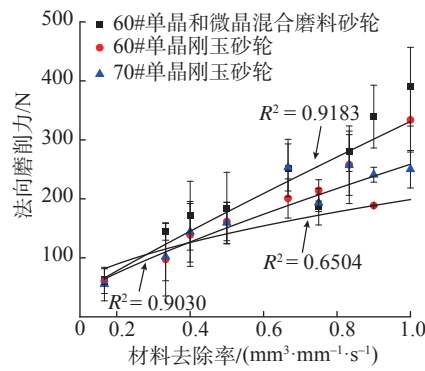
图2 磨削试验设备
Fig.2 Experimental setup

表3 磨削参数
Table 3 Grinding parameters

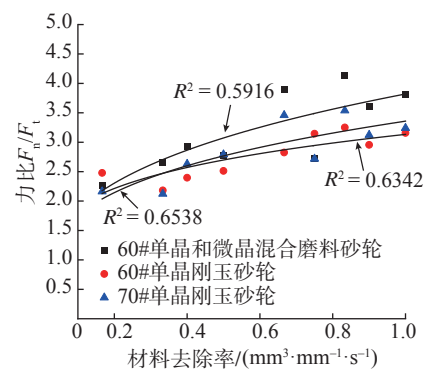
磨削参数	第 1 组	第 2 组	第 3 组
砂轮线速度 $v_s / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	25	25	20, 25, 30, 35
工件进给速度 $v_w / (\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	100	80, 100, 150, 180, 200	100
磨削深度 a_p / mm	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5	0.3	0.3



(a) 切向磨削力



(b) 法向磨削力



(c) 磨削力比

图3 材料去除率对切向磨削力、法向磨削力及磨削力比的影响规律

Fig.3 Effects of material removal rate on tangential grinding force, normal grinding force and grinding force ratio

削温度试验结果。当材料去除率小于 $0.83\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ 时,3种砂轮的磨削温度均在 100°C 以下,而且3种砂轮的磨削温度都非常接近,这是因为在当前磨削参数下,3种砂轮磨削 GH4169 材料时都处于正常缓进深切磨削过程中,在磨削区发生了核态沸腾换热现象,从而使得磨削温度较低^[14]。而当材料去除率高于 $0.83\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ 时,磨削温度迅速升高到 500°C 以上,造成了工件表面烧伤。这说明在当前磨削参数下,磨削区热流密度过高,超出了磨削液的冷却换热能力,从而使得磨削温度急剧升高。因而从磨削温度的试验结果可知,3种砂轮磨削 GH4169 材料不发生烧伤的最大材料去除率为 $0.83\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ 。另外发现,总体上粒度 60# 的单晶刚玉砂轮的磨削温度略低于其他两种砂轮,因此说明该砂轮在磨削 GH4169 材料上性能更优。

3 表面粗糙度

磨削表面粗糙度是评价磨削加工质量的重要参数,表面粗糙度较大时容易造成工件表面的应力集中(尤其是在工件表面存在着较深的磨痕时),进而对工件的疲劳寿命造成不利影响。图5为3种砂轮磨削 GH4169 的表面粗糙度试验结果。可以发现,随着材料去除率的增大,磨削表面粗糙度值总体上呈现出增大趋势。随着材料去除率从 $0.16\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ 增大到 $1\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$,混合磨料砂轮、粒度 60# 单晶刚玉砂轮和粒度 70# 单晶刚玉砂轮的磨削表面粗糙度 R_a 分别从 $0.24\mu\text{m}$ 、 $0.25\mu\text{m}$ 和 $0.16\mu\text{m}$ 增大到 $0.92\mu\text{m}$ 、 $0.97\mu\text{m}$ 和 $0.78\mu\text{m}$ 。当材料去除率小于 $0.83\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ 时,3种砂轮磨削 GH4169 的表面粗糙度值都小于 $0.4\mu\text{m}$,这说明在正常磨削条件下,3种砂轮磨削 GH4169 材料的表面粗糙度可以达到零件加工的需求;而当材料去除率大于 $0.83\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ 时,3种砂

轮磨削 GH4169 的表面粗糙度值都快速升高,混合磨料砂轮和粒度 60# 单晶刚玉砂轮磨削 GH4169 的表面粗糙度值都高于 $0.8\mu\text{m}$ 。从磨削温度试验结果可知,材料去除率超过 $0.83\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ 时工件发生磨削烧伤现象,从而造成了磨削表面粗糙度的急剧增大。

4 磨削表面形貌分析

磨削表面形貌主要是由磨粒去除材料形成的沟痕叠加而成,因此工件表面磨粒的状态对磨削表面形貌具有重要的影响。图6为3种砂轮在 $a_p=0.1\text{mm}$ 、 $v_w=100\text{mm}/\text{min}$ 和 $v_s=25\text{m}/\text{s}$ 参数下的磨削表面形貌。3种砂轮在相同磨削参数下的表面形貌没有显著差异,这从表面粗糙度的试验结果中也可以得到印证。

图7为采用3种砂轮磨削 GH4169 材料过程中出现的典型磨削表面缺陷。图7(a)中裂纹产生

的主要原因可认为是磨削后残余应力释放所引起;图7(b)和(c)中的沟槽以及划痕主要是由破碎或者脱落磨粒在磨削区划擦造成,其中图7(b)中沟槽较深,这是由于磨粒在磨削力的作用下被压入材料中划擦形成;而图7(c)中划痕是由于磨粒在工件表面划擦形成;图7(b)和(c)中材料涂覆主要由磨粒在工件表面耕犁造成材料的隆起导致。从磨削表面形貌分析可以发现,磨削表面缺陷的形成主要与砂轮磨损有关,因此提高刚玉砂轮磨粒的耐磨性也是提高磨削表面质量的重要措施。

5 磨削比分析

砂轮磨损是影响砂轮性能发挥的重要因素,砂轮磨损严重时会使砂轮表面磨粒钝化,磨除材料能力下降,造成较大的磨削力和较高的磨削温度,从而导致较差的磨削表面质量。磨削比是评价砂轮耐用度的一

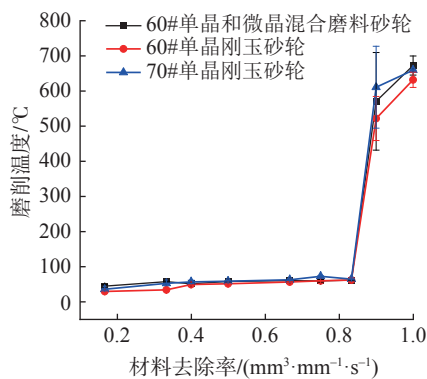


图4 材料去除率对磨削温度影响规律
Fig.4 Effects of material removal rate on grinding temperature

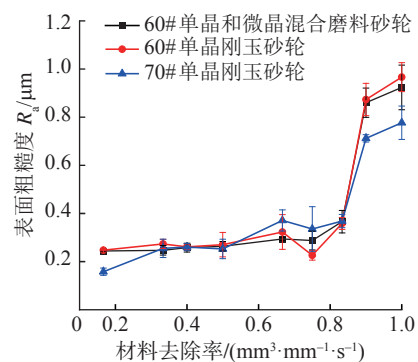
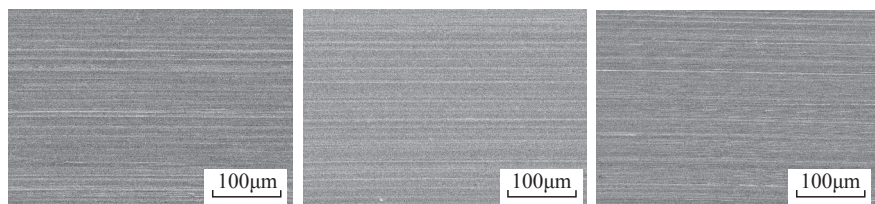
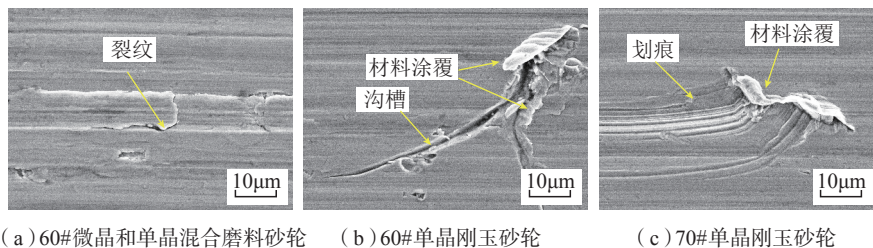


图5 材料去除率对磨削表面粗糙度的影响规律
Fig.5 Effects of material removal rate on surface roughness



(a) 60#微晶和单晶混合磨料砂轮 (b) 60#单晶刚玉砂轮 (c) 70#单晶刚玉砂轮

图6 $a_p=0.1\text{mm}$, $v_w=100\text{mm}/\text{min}$, $v_s=25\text{m}/\text{s}$ 条件下磨削表面形貌
Fig.6 Grinding surface morphology ($a_p=0.1\text{mm}$, $v_w=100\text{mm}/\text{min}$, $v_s=25\text{m}/\text{s}$)



(a) 60#微晶和单晶混合磨料砂轮 (b) 60#单晶刚玉砂轮 (c) 70#单晶刚玉砂轮

图7 典型缺陷
Fig.7 Typical defects

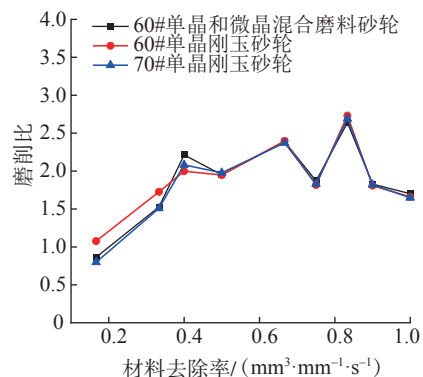


图8 材料去除率对磨削比的影响规律
Fig.8 Effects of material removal rate on grinding ratio

个重要指标,磨削比较大时说明材料较易加工或者砂轮磨削性能较好。图8为3种砂轮磨削GH4169材料的磨削比试验结果。可知,3种砂轮的磨削比都较小,保持在0.5~3之间。

从3种砂轮的组成方面分析,由于微晶磨粒具有良好的自锐性能,因此粒度为60#的微晶和单晶混合磨料砂轮的磨削力和磨削温度应小于另外两种砂轮,然而磨削力和磨削温度的试验结果显示混合磨料砂轮优异的磨削性能未能充分发挥。而就磨削表面粗糙度而言,粒度70#单晶刚玉砂轮虽然磨粒粒径更小,然而其磨削表面粗糙度相对于粒度60#单晶刚玉砂轮而言,其优势也没有充分发挥出来。这主要是与砂轮的磨损以及材料的磨削特性有关。众所周知,GH4169材料是典型的难加工材料,采用刚玉砂轮磨削时,砂轮极易出现黏附和堵塞等严重的砂轮磨损现象,从而限制了刚玉砂轮磨削性能的发挥。这可以从刚玉砂轮磨削其他材料的磨削比中得到证实,如Nadolny^[15]采用微晶刚玉砂轮在浇注式磨削条件下磨削100Cr6材料时磨削比达到90~120;Kalita等^[16]采用棕刚玉砂轮磨削EN24钢的磨削比达到了23。因此砂轮磨损是影响刚玉砂轮磨削镍基高温合金类材料性能发挥的最主要因素。

结论

本文进行了60#单晶和微晶混合磨料砂轮、60#单晶刚玉砂轮和

70#单晶刚玉砂轮磨削GH4169材料磨削加工GH4169镍基高温合金的对比试验研究,对3种砂轮的磨削特性进行了评价,得到以下结论:

(1)3种砂轮磨削GH4169材料在磨削比、表面粗糙度及表面形貌方面没有表现出显著差异,而通过对磨削力和磨削温度的综合评价发现粒度60#的单晶刚玉砂轮的磨削性能更优。

(2)3种砂轮在正常磨削条件下,表面粗糙度 R_a 均在 $0.4\mu\text{m}$ 以下;砂轮磨损(主要包括磨粒的破碎和脱落)是刚玉砂轮磨削表面缺陷形成的重要原因。

参考文献

[1] DING W F, XU J H, CHEN Z Z, et al. Grindability and surface integrity of cast nickel-based superalloy in creep feed grinding with brazed CBN abrasive wheels[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2010, 23(4): 501-510.
 [2] 李峰,李学崑,融亦鸣. 强化感应加热辅助磨削Inconel718的残余应力主动调控[J]. 机械工程学报, 2018, 54(3): 216-226.
 LI Feng, LI Xuekun, RONG Yiming. Active control of the residual stress in Inconel718 grinding assisted by the strengthen induction heating[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(3): 216-226.
 [3] 丁文锋,苗情,李本凯,等. 面向航空发动机的镍基合金磨削技术研究进展[J]. 机械工程学报, 2019, 55(1): 189-215.
 DING Wenfeng, MIAO Qing, LI Benkai, et al. Review on grinding technology of nickel-based superalloys used for aero-engine[J].

Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(1): 189-215.

[4] 马爽,李勋,崔伟,等. GH4169叶片悬臂插磨表面完整性及参数优化研究[J]. 航空制造技术, 2016, 59(18): 102-108.

MA Shuang, LI Xun, CUI Wei, et al. Study on surface integrity and parameter optimization of GH4169 machined by cantilever plunge grinding[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(18): 102-108.

[5] LI B K, LI C H, ZHANG Y B, et al. Grinding temperature and energy ratio coefficient in MQL grinding of high-temperature nickel-base alloy by using different vegetable oils as base oil[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2016, 29(4): 1084-1095.

[6] 蔡明, 巩亚东, 冯耀利, 等. 镍基高温合金磨削表面工艺性能试验研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2019, 40(2): 234-238.

CAI Ming, GONG Yadong, FENG Yaoli, et al. Experimental study on grinding surface processing property of nickel-based superalloy[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2019, 40(2): 234-238.

[7] DAI C W, DING W F, ZHU Y J, et al. Grinding temperature and power consumption in high speed grinding of Inconel718 nickel-based superalloy with a vitrified CBN wheel[J]. Precision Engineering, 2018, 52: 192-200.

[8] THAKUR A, GANGOPADHYAY S. State-of-the-art in surface integrity in machining of nickel-based super alloys[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2016, 100: 25-54.

- [9] SUGIHARA T, TAKEMURA S, ENOMOTO T. Study on high-speed machining of Inconel 718 focusing on tool surface topography of CBN cutting tool[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 87(1-4): 9-17.
- [10] QIAN N, DING W F, ZHU Y J. Comparative investigation on grindability of K4125 and Inconel718 nickel-based superalloys[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 97(5-8): 1649-1661.
- [11] ŻYŁKA Ł, PŁODZIEŃ M, BABIARZ R. The influence of grinding speed on the creep-feed grinding process[J]. Journal of Mechanical and Energy Engineering, 2018, 2(4): 285-290.
- [12] MIAO Q, DING W F, GU Y L, et al. Comparative investigation on wear behavior of brown alumina and microcrystalline alumina abrasive wheels during creep feed grinding of different nickel-based superalloys[J]. Wear, 2019, 426-427: 1624-1634.
- [13] YAO C F, JIN Q C, HUANG X C, et al. Research on surface integrity of grinding Inconel718[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 65(5-8): 1019-1030.
- [14] LI B K, MIAO Q, LI M, et al. An investigation on machined surface quality and tool wear during creep feed grinding of powder metallurgy nickel-based superalloy FGH96 with alumina abrasive wheels[J]. Advances in Manufacturing, 2020, 8(2): 160-176.
- [15] NADOLNY K. Wear phenomena of grinding wheels with sol-gel alumina abrasive grains and glass-ceramic vitrified bond during internal cylindrical traverse grinding of 100Cr6 steel[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 77(1-4): 83-98.
- [16] KALITA P, MALSHE A P, ARUN KUMAR S, et al. Study of specific energy and friction coefficient in minimum quantity lubrication grinding using oil-based nanolubricants[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2012, 14(2): 160-166.

通讯作者：丁文锋，教授、博士生导师，研究方向为航空航天难加工材料高效高性能磨削技术，E-mail: dingwf2000@vip.163.com。

Performance Evaluation on Grinding of Nickel-Based Superalloy GH4169 Using New Corundum Abrasive Wheel

LI Benkai¹, DING Wenfeng¹, MA Yanyan², XIAO Hong³, HUANG Qingfei², SI Wenyuan², YANG Jia³

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Suzhou Far-East Abrasives Co., Ltd., Suzhou 215151, China;

3. AECC Xi'an Aero-Engine Ltd., Xi'an 710021, China)

[ABSTRACT] Nickel-based superalloys are commonly used materials in the field of aircraft engines. There are some issues on grinding of nickel-based superalloy, such as serious tool wear and short service life. In this paper, the experiments on grinding of nickel-based superalloy material GH4169 was conducted using three kinds of newly developed corundum abrasive wheels, namely, microcrystalline and single crystalline mixed corundum abrasive wheel with the grain size of 60#, single crystalline corundum abrasive wheel with the grain size of 60#, and single crystalline corundum abrasive wheel with the grain size of 70#. The grinding performance was evaluated from the grinding force, grinding temperature, abrasive wheel wear, and surface roughness. The results showed that there was no obvious difference in abrasive wheel wear and surface roughness when grinding GH4169 material with three kinds of grinding wheels. However, through the comprehensive evaluation of grinding force and grinding temperature, it is found that the single crystalline corundum abrasive wheel with the grain size of 60# has better grinding performance. The grinding ratio of the three kinds of abrasive wheels was in the range of 0.5-3. The surface roughness R_a is less than $0.4\mu\text{m}$ under normal grinding conditions. Besides, it is found that the abrasive wheel wear (mainly including the crushing and shedding of abrasive grains) is an important reason for the formation of grinding surface defects.

Keywords: Nickel-based superalloy GH4169; Corundum abrasive wheel; Grinding; Abrasive wheel wear; Surface roughness

(责编 逸飞)