高温合金微量润滑振动钻削温度与刀具磨损

孔凡霞 张德远

(山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 淄博 255049) (北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘 要: 为了解决高温合金钻削温度高、刀具磨损快的问题,采用微量润滑的振动钻削加工方法,从换热机制角度对振动钻削的降温机理进行分析,并进行振动钻削和普通钻削对比实验. 结果表明:微量润滑普通钻削的最高测量温度达到了 110 ℃且温度随钻削深度、钻孔个数的增加而升高,而振动钻削的测量温度为 55 ℃左右且随削深度、钻孔个数的增加增长缓慢;普通钻削刀具磨损量达到 0.5 mm 且随钻孔个数的增加磨损加剧,振动钻削刀具磨损量只有 0.22 mm 且磨损量增加缓慢.

关 键 词: 高温合金; 微量润滑; 振动钻削; 切削温度; 刀具磨损

中图分类号: TG 506.7

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2012)06-0849-04

Cutting temperature and tool wear in minimum quantity lubrication vibration drilling of superalloys

Kong Fanxia

(School of Agriculture and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Zhang Deyuan

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Processing method of minimum quantity lubrication (MQL) vibration drilling was used to solve difficulty of high cutting temperature and rapid tool wear in drilling of superalloys. Cooling mechanism in vibration drilling was analyzed from the point of heat transfer mechanism and comparative experiments between traditional drilling and vibration drilling were carried out. The results show that the cutting temperature in MQL traditional drilling reaches 110 ℃ and increases with the drilling depth and the number of holes, while the cutting temperature in MQL vibration drilling is only about 55℃ and changes slowly with the drilling depth and the number of holes; Tool wear in MQL traditional drilling reaches to 0.5 mm and significantly increases with the number of holes, while tool wear in MQL vibration drilling is only 0.22 mm and slowly increases with the number of holes.

Key words: superalloys; minimum quantity lubrication; vibration drilling; cutting temperature; tool wear

高温合金具有优良的抗高温耐腐蚀性能和高温综合力学性能,广泛应用于制造航空发动机、各类燃气轮机热端部件,如涡轮部分的工作叶片、导向热片、涡轮盘和燃烧室等[1-2]. 高温合金优良的高温性能同时也给切削加工带来很大难度,尤其是钻削加工存在切削力大、切削温度高、刀具烧伤严重、加工精度低等问题[2-4],采用传统的浇注冷却、普通钻削方法难以实现高温合金材料的高效率、低成本钻削. 振动钻削是在普通钻削的基础上给钻头或工件附加规律可控的振动,使钻头和工

收稿日期: 2011-03-30; **网络出版时间**: 2012-06-15 15:44

网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20120615.1544.038.html

基金项目: 国防预研基金资助项目(51318020203)

作者简介: 孔凡霞(1977 -),女,山东临沂人,讲师,kfx0309@163.com.

件之间产生相对运动,由于附加振动使钻削过程变成动态的、脉冲的切削过程,从而产生了一系列优良的工艺效果[5-7],已经走向工程化[8]. 最小量润滑是将压缩空气和微量切削液混合雾化,喷射到加工区对刀具和工件进行冷却和润滑的一种半干切削技术,具有冷却润滑好、污染小且成本低等优点[9-10].

本文本着为实际加工难题探索解决办法的目的,对高温合金的钻削采用了微量润滑振动钻削方法,在刀具寿命、加工效率方面都取得了明显的工艺效果,为高温合金的钻削加工工艺提供了重要的指导意义.

1 微量润滑振动钻削换热机理

普通材料的钻削加工,50% 的热量需要由工件传出,而对于高温合金材料由于导热系数小,热传递效率将大大降低. 普通切削时,前刀面上切削液进入切削区的方向与切屑排出的方向相反,且前刀面与切屑之间、后刀面与待加工表面之间存在较大的压力,切削液很难到达切削区. 对于钻削加工,即使采用微量润滑的冷却方法,切削刃温度最高的位置也不会得到很好的冷却,这与此区域需要快速冷却的需求相矛盾. 如图 1 所示Ⅰ区刀尖部位由于切削液很难挤入,热传递主要依靠工件、切屑以及刀具的热传导,传热效率非常低,导致刀刃始终处在高温环境内,长时间工作后切削刃将首先被磨损或烧毁. Ⅱ区前刀面与切屑背面之间、Ⅲ区后刀面与工件表面之间的间隙很小,即使切削液勉强可以进入,但很快被高达 1 000 ℃的热环境汽化,形成了具有压力场的气膜层,如图 2 所示. 气膜层的存在导致此区域长时间处在膜态换热状态,换热效率低,导致切削温度升高;而且,具有一定压力的气膜层的存在阻碍雾滴到达热源表面,也导致换热效率降低,进一步导致切削区温度的升高. 切削区高温高压气膜会使刀具表面发生氧化,导致刀具表面烧伤,以至于刀具磨损或产生崩刃.

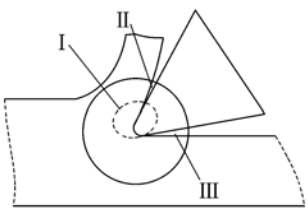


图 1 切削区换热方式

振动钻削时切削刃与切削区具有周期性时切时离的特点. 在一个振动周期内,当刀具切削时切削刃与工件及切屑短暂的接触,此时换热机理与普通钻削一样,切削液不能到达切削刃最需要冷却润滑的位置. 但当刀具与切削区分离时,切削液喷雾可以充满整个切削区,微量润滑冷却换热区域扩大,前后刀面、切削刃及外缘刀尖都处在微量润滑环境中. 换热界面的气膜层被打破,刀具热源表面与切削液之间以具有高换热效率的过度沸腾、核态沸腾等换热方式进行换热. 与普通钻削相比很大程度上减少了膜态换热,提高了换热效率. 如图 3 所示,振动钻削分离时使切削区周期性打开,切削液得以进入切削区,增强润滑,减小摩擦,减少切削热的产生,同时使刀刃得到冷却液的充分冷却,刀刃参与喷雾冷却的面积增加,并使切削区换热方式发生了变化,加强了换热效果,降低了切削区温度,使钻头切削区工作环境得到改善,大大提高刀具寿命.

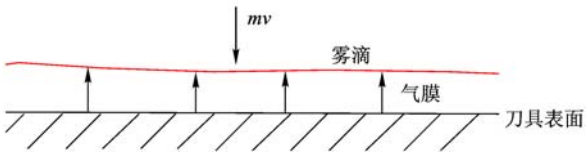


图 2 普通钻削刀具切削刃换热界面换热方式

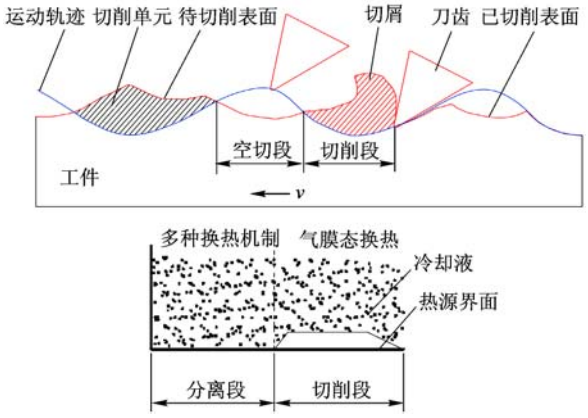


图 3 振动切削换热方式

2 实 验

钻削实验装置如图 4 所示. 工件随车床 CA 6140 主轴做回转运动,麻花钻装在自制振动器上,振动并随数控工作台做进给运动. 标准铜-康铜热电偶掩埋在钻头主切削刃与副切削刃转角附近,外接记录仪对切削温度进行采集记录,记录频率为 1 次/s. 由英国哈馒公司研制的高压雾化装置提供切削过程中的微量润滑. 工件材料为 GH 4169,标准热处理硬度 HRC 43 ~ 46. 刀具采用 ϕ10 mm 超细晶粒硬质合金内冷麻花钻头,在光学显微镜下通过光学刻度尺进行钻头磨损量的测量,热电偶埋设及磨损量测量方法见图 4.

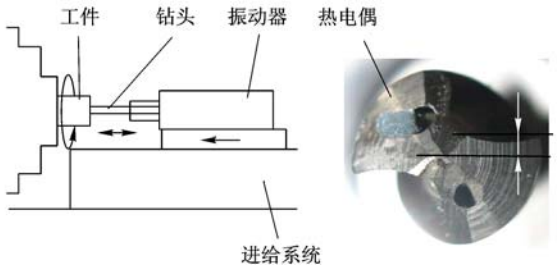


图 4　GH4169 钻削实验系统图

实验中采用的转速为 710 r/min,进给量为 0.05 mm/r,振幅 0.015 mm,振动频率 50 Hz. 按上述实验条件进行普通钻削与振动钻削实验,对其钻削温度和刀具磨损状态进行对比.

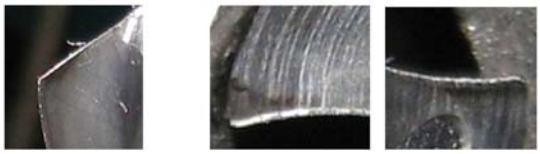
3　实验结果与讨论

3.1　刀具磨损对比

普通钻削和振动钻削各加工 12 个孔后钻头后刀面和前刀面的状态如图 5 所示. 普通钻削钻头磨损严重,2 个切削刃外缘有深度烧伤,外缘尖端部位烧毁或严重崩刃,后刀面表面崩刃量达到 0.5 mm. 可见普通钻削时,即使采用内部微量润滑,钻头也会由于切削温度高而发生严重磨损.



a　普通钻削钻头



b　振动钻削钻头

图 5　钻头磨损状态

振动钻削钻头的切削刃部位也有烧伤,但烧伤面积和烧伤深度都比普通钻削的钻头小得多,而且也没有发生明显的崩刃及严重的磨损,后刀面最大磨损量不足 0.2 mm. 振动钻削的分离切削特性使切削区周期性打开,切削液得以进入切削区,增强了切削区的润滑,使刀刃得到冷却液的充分冷却,切屑排出顺畅,加强了换热效果,提高了热传递效率,使钻削区温度降低,钻头工作环境得到改善,从而避免了崩刃及严重磨损的产生.

磨损量以后刀面最大磨损量为准,2 种钻削方式下磨损量随钻孔个数的变化曲线如图 6 所示. 随钻孔个数的增加,普通钻削刀具磨损呈明显上升趋势,振动钻削刀具磨损量比较小,且随钻孔个数增加上升速度较慢.

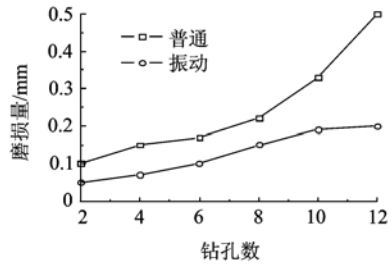


图 6　钻头磨损曲线

3.2　切削温度对比

3.2.1　温度随钻削深度的变化

振动钻削和普通钻削时,温度随钻削深度的变化呈现出不同的规律.

1）普通钻削随孔深温度变化曲线.

普通钻削时温度随钻削深度变化的特点如图 7 所示. 根据钻削深度的不同可以把温度变化分为 4 个阶段:①入钻阶段;②钻削初期阶段;③钻削中后期阶段;④出钻阶段. 阶段①,随着入钻深度的增加,材料去除量迅速增加,随之产生的热量也相应增加,温度迅速升高. 阶段②,在钻头外缘切削刃切入工件初期的一段深度之内,材料去除速率与切屑排出速率一致,切削热量的产生与传递过程稳定,切削温度基本不变. 阶段③,随着钻削深度的增加,排屑难度加大,切削液排出也受到限制,热传递效率降低,而切削热的产生速率不变,导致热源温度升高. 如果钻削深度继续增加,切削温度会继续上升. 阶段④,随着钻头钻出材料端面长度的变化,材料去除减少,随之产生的热量也减少,切削温度降低.

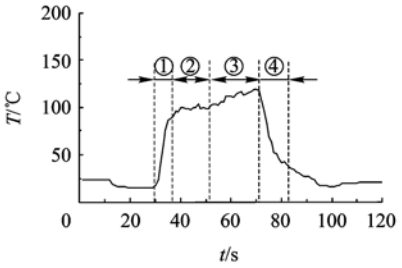


图 7　普通钻削典型温度曲线

2）振动钻削典型温度曲线.

分离型振动钻削温度曲线如图 8 所示,与普通钻削温度曲线相比具有明显不同的特点. 随钻削深度的增加,入钻后振动钻削温度的初期和中后期合并为钻削中期,而且钻削中期温度随孔深的变化很小. 这是因为分离型振动钻削生成的切屑细小,在喷雾冷却混合液气的冲击下迅速离开切削区,使得换热过程稳定,切削区温度平稳;分

离型振动钻削切削刃与孔底周期性分离,使得刀刃得到更好的冷却效果,温度降低.

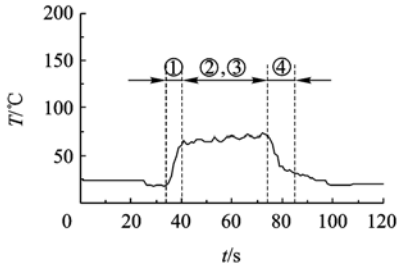


图 8 振动钻削典型温度曲线

3.2.2 温度随钻孔个数的变化

取振动钻削和普通钻削各孔入口结束及出口开始时的温度数值绘制曲线并进行拟合,得到的出入口温度随孔个数变化曲线见图 9. 无论是入口还是出口温度,振动钻削比普通钻削的温度都要低;对比出入口温度梯度可以看出,普通钻削出入口温度梯度是振动钻削出入口温度梯度的 2 倍之多. 这说明普通钻削时,温度随深度的变化比较敏感,而振动钻削温度随深度的变化敏感度较低.

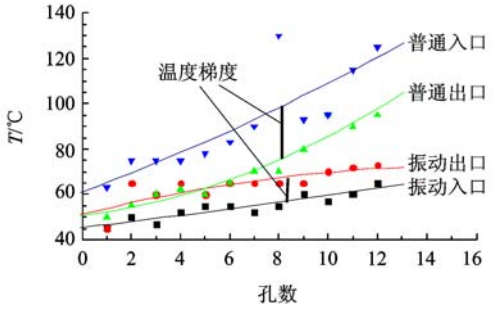


图 9 2 种钻削出入口温度随孔个数变化特性曲线

随钻孔个数的增加,振动钻削温度比普通钻削上升缓慢. 这是因为振动钻削切削区换热效率高,切削温度低,刀具磨损少;而普通钻削时切削区换热效率低,温度高,刀具磨损速度快,导致切削温度持续升高. 当钻削第 12 个孔时,振动钻削的温度比普通钻削温度降低了 50%.

4 结 论

1) 普通钻削高温合金时钻头磨损量大且随钻孔个数的增加磨损速度增加,振动钻削时刀具磨损量小,没有发生明显的崩刃及严重的磨损且磨损速度随钻孔个数的增加变化缓慢.

2) 普通钻削温度随钻孔个数的增加明显升高,振动钻削温度随钻孔个数的增加变化缓慢.

3) 普通钻削温度随钻孔深度的增加明显升高,具有深度敏感性,而振动钻削温度随孔深的变化不敏感.

参考文献 (References)

[1] Gerald A Z, Ronald S, Rene R, et al. Microstructure and mechanical properties of the superalloy ATI Allvac 718Plus[J]. Materials Science and Engineering, 2009, 523(1/2): 295 – 301

[2] 乔阳,艾兴,刘战强,等. 涂层刀具铣削粉末冶金镍基高温合金试验研究[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2010,38(8):83 – 88
Qiao Yang, Ai Xing, Liu Zhanqiang, et al. Experimental investigation into milling of Nickel-based powder metallurgy superalloy with coated tools[J]. Journal of South China University of Technology, 2010, 38(8): 83 – 88(in Chinese)

[3] 刘光耀,孙长荣. 高温合金孔加工技术[J]. 重型机械科技,2007(2):32 – 34
Liu Guangyao, Sun Changrong. Machining technique for high temperature alloy hole[J]. Heavy Machinery Science and Technology, 2007(2): 32 – 34(in Chinese)

[4] 王殿龙,荀志锋,庞继有,等. K24 镍基高温合金切削性能实验研究[J]. 机械工程学报,2002,38(12):190 – 194
Wang Dianlong, Huan Zhifeng, Pang Jiyou, et al. An investigation of the machine ability of K24 Nickel-based superalloy[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(12): 190 – 194(in Chinese)

[5] Chern G L, Liang J M. Study on boring and drilling with vibration cutting[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2007, 47(1): 133 – 137

[6] 隈部淳一郎. 精密加工振动切削基础与应用[M]. 韩一昆,薛万夫,孙祥根,等译. 北京:机械工业出版社,1985
Kumabe J. Fundamentals and application of vibration cutting [M]. Translated by Han Yikun, Xue Wanfu, Sun Xianggen, et al. Beijing: China Machine Press, 1985(in Chinese)

[7] 马利杰,王贵成,张春燕,等. 最小量润滑在振动钻削中的应用[J]. 机械工程学报,2009,45(1):223 – 228
Ma Lijie, Wang Guicheng, Zhang Chunyan, et al. Application of minimum quantity lubricant in vibration drilling[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(1): 223 – 228(in Chinese)

[8] 邢立华,江旭初,张德远,等. 浮动铰刀振动铰削小口径火炮身管的研究[J]. 兵工学报,2007,28(6):739 – 742
Xing Lihua, Jiang Xuchu, Zhang Deyuan, et al. Study on vibration reaming of small caliber gun tube with auto aligning reamer [J]. Acta Armamentarii, 2007, 28(6): 739 – 742(in Chinese)

[9] 袁松梅,刘晓旭,刘强,等. 高强钢铣削中微量润滑技术效果的试验分析[J]. 北京航空航天大学学报,2009,35(2):179 – 182
Yuan Songmei, Liu Xiaoxu, Liu Qiang, et al. Experimental analysis of minimal quantity lubrication in milling high-strength steel [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautic, 2009, 35(2): 179 – 182(in Chinese)

[10] Leonardo D C, Guido T, Miroslav P, et al. Investigation on capability of the reaming process using minimal quantity lubrication [J]. Journal of Manufacturing Science and Technology, 2009, 2(1): 47

(编 辑:文丽芳)