高强钢铣削中微量润滑技术效果的试验分析

袁松梅 刘晓旭 严鲁涛 刘 强

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191)

摘 要：为了验证微量润滑技术对刀具磨损及工件表面粗糙度的影响，研制出一套微量润滑系统，利用压缩气体流经的截面变小所产生的压强差来吸取箱体中的液体，并传输到喷嘴进行雾化.将其应用在高强度钢铣削加工中.试验结果表明：相对于干切削和传统浇注冷却，微量润滑技术具有明显的优势，它可有效地减小刀具磨损，并将工件表面粗糙度控制在较低的水平，尤其在高转速、大切深、快进给加工中，同时其还具有结构简单、冷却液用量小、对环境污染小等优点.对试验结果进行了初步分析.

关 键 词：微量润滑技术；刀具磨损及工件表面粗糙度；高强度钢；铣削加工

中图分类号：TG 502

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2009)02-0179-04

Experimental analysis of minimal quantity lubrication in milling high-strength steel

Yuan Songmei Liu Xiaoxu Yan Lutao Liu Qiang

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

Abstract: In order to validate the influences that MQL(minimal quantity lubrication)brings to the tool wear and surface roughness, a MQL system was developed. It used the difference of pressure that caused by the compressed air flow through the decrescent areas to imbibe the cooling fluid in the box, and transported it to the nozzle for atomizing. The application in milling high-strength steel was also investigated. The experiment indicates that MQL has obvious predominance compared with dry and traditional cooling method, it can efficiently reduce the tool wear and keep the surface roughness at a low level, especially in the machining of high spindle rotating speed, big depth of cut and fast feed rate. It also has the characteristics such as the simple structure, the less dosage of cooling fluid and the less pollution to the environment. The experimental results were analyzed elementarily.

Key words: minimal quantity lubrication; tool wear and surface roughness; high-strength steel; milling

随着机械工业的发展，机器和零件的性能要求越来越高，高强度钢作为强度及韧性结合很好的钢种，其应用将更加普遍.但其零件在制造过程中的加工难度日益凸显：①刀具易磨损，耐用度低，切削过程中刀具与切屑的接触长度小，切削区的应力和热量集中，易导致刃口崩缺或烧伤；②切削力大，根据大量车削试验，其主切削力比45号钢提高30%左右；③切削温度高，高强度钢的切削力、切削功率大，消耗能量及形成的切削热较多，同时其导热性较差，因此刀具切削区域温度较高[1].

从上述高强度钢的加工特点可以看出，切削中的冷却及润滑会直接影响高强度钢的加工性能.使用乳化液冷却润滑的传统浇注方法可以起到一定的冷却润滑作用，但随着加工业的快速发展，大量的乳化液进行循环使用以及加工中的废

收稿日期：2008-07-20

基金项目："十一五"国家科技支撑计划资助项目(2006BAF02A06－03)；北京市教育委员会共建项目专项资助

作者简介：袁松梅(1971－)，女，吉林公主岭人，副教授，yuansm@buaa.edu.cn.

液排放造成了严重的环境污染问题.普通的切削液中不仅含有对人体有害的硫磺、磷、氯等添加剂,而且产生的大量废液需要高成本进行处理[2-3].鉴于以上原因,传统浇注方法必将受到种种限制,而以微量润滑技术(MQL, Minimal Quantity Lubrication)为代表的准干切削方法已经受到世界各国学者的广泛重视,有希望在今后的机械加工过程中得到广泛应用.

本文对高强度钢(PCrNi2MoVa)进行铣削试验,通过改变切削参数对3种不同切削条件下(干切削、传统浇注冷却及微量润滑)的刀具磨损、表面粗糙度进行分析,从而验证微量润滑技术在铣削高强度钢方面的有效性及可行性.

1 MQL概述

MQL加工是在压缩气体的作用下,微量的切削油剂以雾状供给加工点的加工方法,压缩气体一般为空气.雾滴直径很小,一般为微米级别.

MQL具有以下优势:冷却油剂主要采用分解性高的合成脂和油脂,加工后刀具、工件、切屑仍然保持干燥,不需要废液处理,对人体无危害,对环境无污染;用量极少,每小时仅为几十到几百毫升,为传统浇注方式的万分之一左右;由于使用切削液量非常少,故无需废液处理设备,节约成本,是一种可以取代传统切削的有效方法[4-6].

微量润滑的供液方式有内喷法和外喷法两种.油气混合物通过机床主轴和刀具中间的通道喷向切削区的方法,称为内喷法,由于直接通过刀具喷向切削区,故冷却润滑效果很好,但对机床及刀具的结构要求很高;外喷法是气液混合物在机床外部直接喷至加工区域的方法,其冷却润滑效果没有内喷法好,但其结构简单,故应用比较广泛.

2 试验装置、条件及测量系统

2.1 试验装置及条件

本文将微量润滑技术应用到高强度钢的铣削加工中,装置原理如图1所示,该系统是由实验室自行研制,其原理为:空气压缩机所产生的压缩气体依次通过减压阀、调压阀后连接到系统的进气口,进气口的另两端分别接到吸液装置及腔体,吸液装置内有一"收缩-扩张"孔,当压缩气体流经时,收缩孔截面的减小使得气体压强变小,这时腔体中气体与收缩孔处的气体产生压强差,冷却剂由腔体进入到吸液装置中,冷却剂在压缩气体的作用下传输到喷嘴处进行雾化,雾化后的气液混合物直接喷射到加工区域,属于微量润滑的外喷式,该系统结构简单紧凑,安装方便,实物见图2.

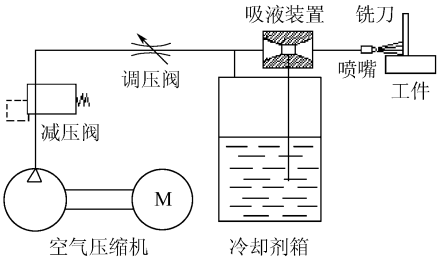


图1 微量润滑冷却装置示意图


图2 微量润滑系统实物图

调节气压使进入系统的气体压力为0.5 MPa,在此情况下,该系统的流量为80 mL/h,本文所有微量润滑条件下的试验都在以上系统参数下进行.其他试验条件见表1.

表1 试验条件

项目	条件
机床型号	沈阳机床 VMC0850B 立式加工中心
铣刀类型	两齿可转位刀盘,硬质合金刀片
铣刀直径/mm	32
主轴转速/(r·min^{-1})	1 000～4 000
切宽/mm	32
切深/mm	0.5, 0.8
进给速度/(mm·min^{-1})	200, 300
工件材料	PCrNi2MoVa
工件尺寸(mm×mm×mm)	120×100×30

2.2 测量系统

后刀面磨损通过数显式测量显微镜测量,把显微镜通过电子镜头连接到计算机上,把加工后的刀片放置于载物台上进行取图,并利用其自带软件进行后刀面磨损V_B的测量.工件表面粗糙度的测量选用PerthometerM2型表面粗糙度测量仪.

3 试验结果与分析

为了正确评估微量润滑在铣削高强度钢中的冷却润滑效果,除了改变相应的切削参数,本文测得的所有试验数据都是在铣刀行程为两个工件长度的情况下获得的.

3.1　主轴转速对刀具磨损及表面粗糙度的影响

图 3、图 4 给出了不同冷却条件下,在其他切削参数不变的情况下,后刀面磨损值及工件表面粗糙度随主轴转速的变化曲线.

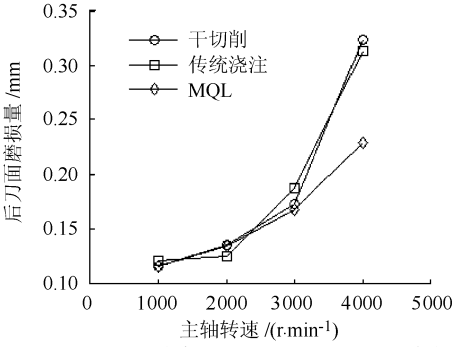


图 3　不同冷却方式下,刀具后刀面磨损值随主轴转速的变化曲线

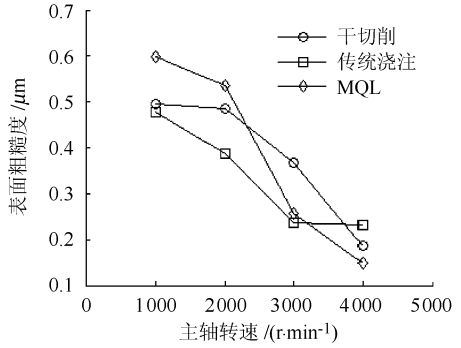
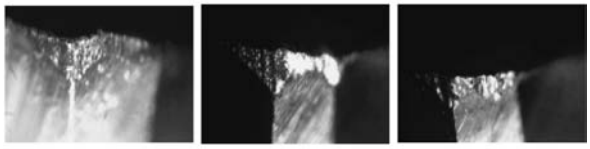


图 4　不同冷却方式下,工件表面粗糙度随主轴转速的变化曲线

图 3 可以很明显看出,在低主轴转速时,3 种冷却条件下的后刀面磨损值相差不多.但随着转速的增加,微量润滑则显得更具优势,尤其当转速到达 4 000 r/min 时,后刀面磨损相比其他两种冷却方式要减小约 1/3,如图 5 所示.在工件表面粗糙度方面,如图 4 所示,随着转速的增加,微量润滑条件下所得到的表面粗糙度值要明显小于其他两种冷却方式.这是由于在低速铣削时,铣削区的温度还不是很高,各冷却条件下刀具磨损还不是很严重,此时微量润滑的润滑冷却优势还没有体现出来;而高速铣削时所产生的热量很大,铣削区温度很高,干切削时刀具的粘结磨损及扩散磨损比较严重,所以也导致了工件表面粗糙度的增加.传统浇注主要靠液体渗透,冷却剂的渗透性能弱于微量润滑冷却方式,大流量的冷却液不能输送至铣削区发挥作用.同时,由于铣削区膜态沸腾现象的存在,使得传统浇注时冷却剂更不容易进入铣削区发挥冷却润滑作用[7].而微量润滑所产生的高速流动的气雾混合物具有较强的冲击渗透能力,可以避免加工区膜态沸腾现象的发生,微小的雾滴有利于冷却介质渗透至铣削区,进而形成边界润滑膜,发挥其高效的冷却润滑作用.因此,微量润滑技术可以有效地应用于高强度钢的高速铣削中.



干切削　　传统浇注　　微量润滑

图 5　主轴转速 4 000 r/min 下,刀具后刀面磨损图

3.2　切深对刀具磨损及表面粗糙度的影响

图 6、图 7 给出了在保持主轴转速不变的情况下(1 000 r/min),当切深分别为 0.5 mm 和 0.8 mm时,各冷却方式下后刀面磨损值及工件表面粗糙度的变化图.

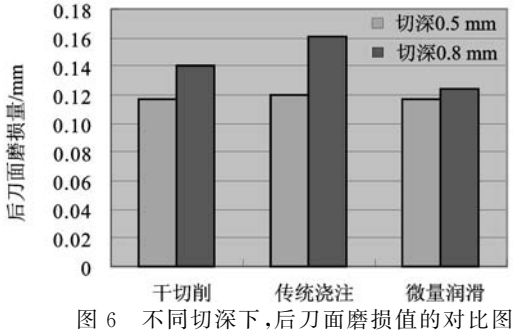


图 6　不同切深下,后刀面磨损值的对比图

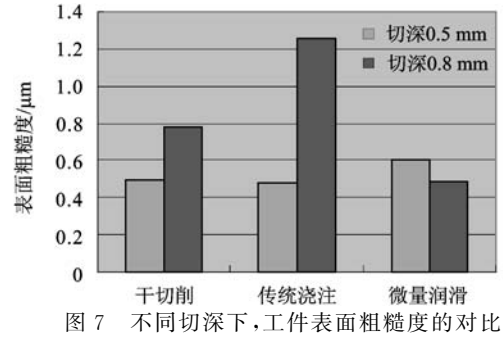


图 7　不同切深下,工件表面粗糙度的对比图

从图 6 可以看出,在切深较小的情况下,3 种冷却条件下的后刀面磨损量和表面粗糙度相差不大.随着切深的增加,各冷却条件下的后刀面磨损值也有所增加,但相比之下,微量润滑始终可以保持较稳定的刀具磨损;图 7 所示的表面粗糙度方面,微量润滑在大切深条件下可以获得较好的表面质量.这是由于微量润滑可渗透至铣削区发挥其有效的润滑作用,从而有效地减小刀具磨损;同时喷射出的气体对铣削区具有较强的冲刷作用,可将残留或粘结在工件表面和刀具表面的切屑冲刷掉,避免了切屑的负面影响,从而获得较好的表面粗糙度值,而传统浇注的渗透及冲刷作用远不

及微量润滑，故效果较差.

3.3 进给速度对刀具磨损及表面粗糙度的影响

图8、图9给出了在保持主轴转速不变的情况下(2000 r/min)，改变进给速度后刀具后刀面磨损及工件表面粗糙度的变化图.

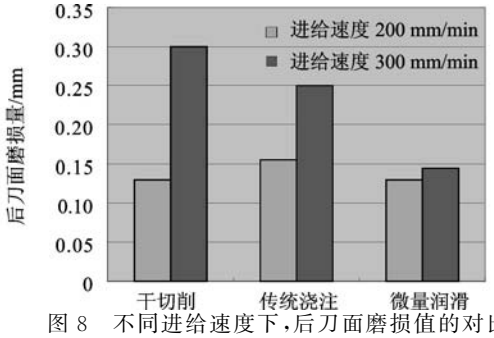


图8 不同进给速度下，后刀面磨损值的对比图

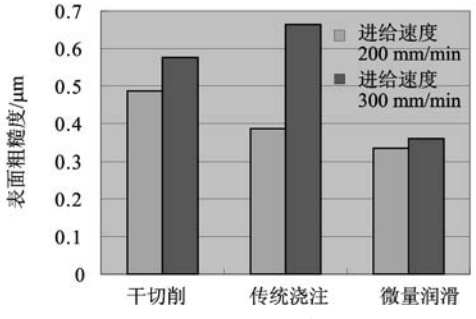


图9 不同进给速度下，工件表面粗糙度的对比图

图8显示出了随着进给速度的增加，刀具磨损及表面粗糙度都会有所增加，而在大进给速度时，微量润滑无论在后刀面磨损还是表面粗糙度方面都要比干切削及传统浇注更具优势. 进给速度增加使得每齿进给量也会随之增加，进而会导致刀具本身承受载荷的增加，从而加剧刀具磨损. 而每齿进给量增加的同时也会影响表面粗糙度，导致其变大. 微量润滑的渗透能力使得冷却剂可以到达铣削区来形成具有一定承载力的润滑膜，从而减少刀具与工件的直接接触，有效地保护了刀具，也提高了工件表面加工质量，进而提高零件的机械性能.

4 结 论

试验结果表明，在高强度钢PCrNi2MoVa的铣削加工中，与干切削及传统浇注相比，微量润滑技术可以起到很好的冷却润滑效果. 尤其在高转速、大切深、快进给时，微量润滑显示了更大优势，可以有效地减小刀面磨损并能提供很好的工件表面加工质量.

微量润滑中冷却剂以雾状高速喷射，提高了冷却剂的渗透性，同时高速流动的压缩气体可以提高切削区的换热性能，故微量润滑可以充分发挥冷却剂的润滑性及压缩气体的冷却及冲刷切屑的作用. 若将其应用于的高强度钢的铣削加工中，既可以有效地解决切削温度高、刀具磨损快的问题，又可以在保证零件加工精度的同时提高材料的去除率. 冷却剂用量少、污染少、结构紧凑、安装方便等优点使得微量润滑技术必将广泛应用于高强度钢及难加工材料的加工中.

参考文献 (References)

[1] 徐少红. 高强度钢和超高强度钢的切削加工[J]. 装备制造技术，2007(2)：72－73
Xu Shaohong. Cutting process of high strength steel and super-high strength steel[J]. Equipment Manufacturing Technology，2007(2)：72－73 (in Chinese)

[2] 王爱玲，魏源迁，赵跃文，等. 油膜附水滴加工液的物理特性与加工性能[J]. 金刚石与磨料磨具工程，2004(1)：5－9
Wang Ailing，Wei Yuanqian，Zhao Yuewen，et al. Physical characteristics and machining performances of the machining fluids of oils on water[J]. Diamond & Abrasives Engineering，2004(1)：5－9(in Chinese)

[3] 魏源迁，王新华，王爱玲，等. 论生态加工液与零排放生产[J]. 金刚石与磨料磨具工程，2004(3)：23－27
Wei Yuanqian，Wang Xinhua，Wang Ailing，et al. Discussion about eco-machining fluids and zero-emission production[J]. Diamond & Abrasives Engineering，2004(3)：23－27(in Chinese)

[4] Sreejith P S，Ngoi B K A. Dry machining：machining of the future [J]. Journal of Materials Processing Technology，2000，101：287－291

[5] Weinert K，Inasaki I，Sutherland J W，et al. Dry machining and minimum quantity lubrication[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology，2004，53(2)：511－537

[6] 张自卫. 切削液的使用现状及相关问题[J]. 磨床与磨削，1984(2)：29－30
Zhang Ziwei，Using actuality of cutting fluids and correlative problems[J]. Grinder And Grinding，1984(2)：29－30(in Chinese)

[7] 曹玉璋. 传热学[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2001：135－142
Cao Yuzhang. Heat transfer[M]. Beijing：Beihang University Press，2001：135－142(in Chinese)