

低温微量润滑温度对表面粗糙度的影响实验

刘大维, 覃孟扬, 周莉, 徐兰英

广东技术师范学院

摘要: 为了解低温微量润滑(CMQL)温度对工件表面粗糙度的影响,设计45钢的车削试验,在三组不同切削参数下进行干切削、浇注冷却、微量润滑(MQL)和不同温度的CMQL车削,然后测量试样表面粗糙度和用扫描电镜(SEM)观察表面形貌,探明不同润滑条件的粗糙度差异。实验结果表明,同样切削参数下,CMQL的粗糙度小于MQL;当温度低于某个值,CMQL的粗糙度小于传统浇注冷却;CMQL温度越低,获得粗糙度越小,但当低于某个温度,CMQL温度对粗糙度影响可以忽略不计;切削越剧烈,CMQL温度对粗糙度的影响越明显;CMQL对表面粗糙度的影响机理是强渗透性和强冷却能力。

关键词: 微量润滑;粗糙度;加工机理;加工表面质量

中图分类号: TG501.1;TH161

文献标志码: A

Effect of Cold Minimal Quantity Lubrication Temperature on Finish

Liu Dawei, Qin Mengyang, Zhou Li, Xu Lanying

Abstract: In order to understand the effect of CMQL temperature on surface finish, there is a turning test of 45 steel. Turning were carried by dry-cutting, casting lubrication, MQL or CMQL of different temperatures under three different parameters, and then sample surface finish are measured and their surface morphology was observed by scanning electron microscopy (SEM). The difference of finish is found. The results show that CMQL finish is less than MQL by the same cutting parameters; when the temperature is lower than a certain value, CMQL finish is less than the traditional casting lubrication; CMQL lower temperature, CMQL will get a smaller finish; when CMQL temperature is smaller than a certain temperature, its effect on the finish can be ignored; CMQL temperature has the more obvious impact on finish when cutting more intense. The mechanism of CMQL on surface finish is strong penetration and strong cooling capacity.

Keywords: MQL; finish; processing mechanism; machined surface quality

1 引言

低温微量润滑(Cold Minimal Quantity Lubrication, CMQL)指将低温压缩气体与极微量润滑液混合汽化后,形成油气混合物,喷射到切削区进行有效润滑的一种切削加工方法,被认为是微量润滑(Minimal Quantity Lubrication, MQL)和低温切削的结合,既具有MQL的绿色环保优点,又具有低温切削强冷的特点,是一种性能优越的先进切削润滑技术。

CMQL的冷却润滑机理和传统浇注冷却、MQL以及低温切削有很大不同,因此国内外学者对其加工机理和加工质量进行了大量研究。安庆龙^[1]研究了CMQL工况条件对气液流量、喷雾温度等参数的影响;严鲁涛等^[2]对CMQL难加工材料的加工效果进行了研究,结果表明CMQL切削技术适合难加工材料的加工和成型;李新龙^[3]对CMQL铣削TC4

钛合金进行了研究,探明了切削力和刀具磨损特点;康晓峰等^[4]在研究CMQL切削TA15铁合金时发现,CMQL条件下切削铁合金时,工件变形小于使用冷却液的加工方式,刀具寿命明显提高;T. Wakabayashi等^[5]研究了CMQL在切削NiTi合金时的刀具磨损机理和状态;袁松梅等^[6]则对CMQL的喷嘴方位的加工效果进行研究;Attanasio A.等^[7]研究了CMQL在车削铜基高温合金中的刀具磨损和切屑形貌。工件加工表面粗糙度是一个重要的加工质量参数,以往CMQL研究中,由于受制冷方法的限制,系统阐述CMQL温度对粗糙度的影响规律及作用机理的文献很少,无法全面认识CMQL对粗糙度的影响,因此需要对该问题进行更深入研究。

本文通过45钢的车削试验,在不同切削参数下进行干切削、浇注冷却、常温MQL和不同温度CMQL的车削,探明切削参数、润滑条件和试样粗糙度的关系,分析CMQL温度对粗糙度影响机理。

2 CMQL设备

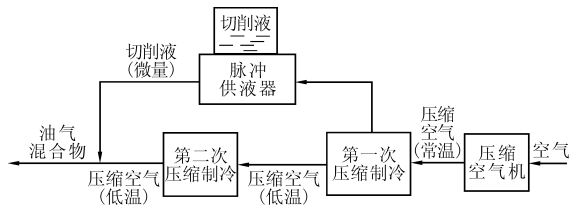
为达到超低温的冷却效果,CMQL所用的压缩

基金项目: 国家自然科学基金(51375101);广东省自然科学基金(2015A030313670);广州市科技计划(201607010229);广东省公益研究与能力建设(2016A010102019)

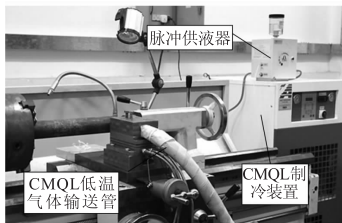
收稿日期: 2017年11月

空气经双重压缩制冷来降低温度,即采用空压机制冷。第一次制冷后,空气可以降温 40℃;第二次制冷,空气再次下降 40℃。在实验室条件中,可以获得最低温度达 -65℃ 的低温压缩空气。

搭建 CMQL 系统见图 1。由空气压缩机提供可调节压力的压缩空气大部分经过两级压缩制冷机降温,另一小部分的压缩空气经过切削液脉冲供液器,驱动切削液以小液滴形态在管路流动;可以通过脉冲供液器调节供液频率,调整供液量快慢,供液范围为 0-20ml/h。冷却的压缩空气和切削液滴在管路中汇合后,在后续压缩空气的驱动下经喷嘴喷出。压缩空气从喷嘴喷出时,体积瞬间膨胀,切削液液滴也分裂为微小液体颗粒(小于 2μm),随之喷射而出,形成向一定方向喷射的低温油雾。



(a) 实验原理



(b) CMQL 设备

图 1 CMQL 系统结构

由于切削液以雾状在空气中存在,加工人员不可避免呼吸到这些颗粒,因此本研究采用环保切削液。切削液的最低工作温度小于 CMQL 的最低温度,避免工作时冷凝成固体。如果关掉 CMQL 系统的制冷功能,该系统只能喷出常温油雾,相当于常温 MQL 系统。不同温度的 CMQL 和常温 MQL 都在本设备上进行了试验,避免因设备不同所引起的误差。

3 实验过程

(1) 实验条件

实验机加工设备采用 CA6140 卧式车床。所有 MQL/CMQL 的压缩空气压强为 0.8MPa,切削液为 10ml/h。所有 MQL/CMQL/浇注冷却均采用相同的耐超低温环保切削液。实验试样为 45 钢材料,预先加工为长 400mm、直径 30mm 的圆棒。所用刀具为硬质合金外圆车刀(见图 2),为了避免喷嘴设置误

差,采用刀具内冷的喷射方式,对刀具前刀面和后刀面同时喷射油雾。



图 2 内冷式车刀

(2) 实验方案及测量方法

采用三组切削参数(见表 1),分别为精加工(第一组)、半粗加工(第二组)和粗加工(第三组),每组在干切削、浇注冷却、常温 MQL(24℃)和不同温度的 CMQL(0/-20/-40/-60℃)条件下车削试样。

表 1 切削参数

组别	切削速度 v_a (m/min)	进给量 f (mm/r)	切削深度 a_p (mm)
第一组	150	0.08	0.2
第二组	100	0.12	0.5
第三组	50	0.15	1

用时代公司 TR2000 型手持表面粗糙度仪测量试样表面粗糙度值 R_a ,通过对比发现 CMQL 温度对粗糙度的影响规律;用怡星公司 JSM6010 型扫描电镜(SEM)观察试样表面形貌,了解不同润滑条件加工表面形貌的差异。

4 实验结果和分析

图 3 为所有试样的粗糙度结果。可以看出:即使切削参数相同,润滑条件不同,粗糙度也不同;或者润滑条件相同,切削参数不同,粗糙度也不同。在相同的润滑条件下,粗糙度从大到小依次是粗加工、半粗加工和精加工,在 MQL 和 CMQL 条件下也是一样,说明切削参数对粗糙度的影响大于润滑条件的影响,不同润滑方式只在一定范围内影响粗糙度。

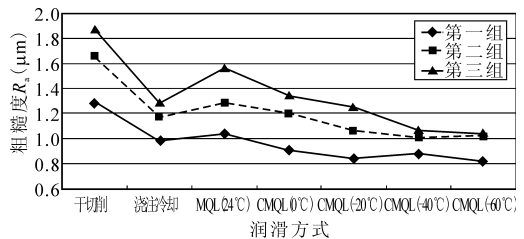


图 3 粗糙度

当润滑条件不同时,每一组试样的粗糙度排序很相似。最大的粗糙度数值是干切削,然后是 MQL,CMQL 最小。MQL 的粗糙度大于传统浇注冷却,显示 MQL 虽然在节约切削液上有着出色表现,但在润滑效果方面要稍差于浇注冷却。原因是

MQL 强渗透性和相变汽化吸热机理使微小量的切削液也发挥着充分的润滑冷却作用,但受切削区的环境影响,一方面油汽喷射容易受切屑运动阻碍,无法连续供液,同时油汽中微小体积的液滴容易汽化,导致切削区中出现润滑油膜频繁随机被破坏,形成局部干切削现象,加大工—刀—屑之间的摩擦,影响粗糙度。

每一组试样中,CMQL 粗糙度都小于 MQL,而且 CMQL 粗糙度随着油汽温度下降而减小,当温度低于某个值时,CMQL 粗糙度甚至小于浇注冷却。但需注意,当油汽温度下降到一定程度时,比如第一组的 -20°C ,第二、第三组的 -40°C ,粗糙度不再随油汽的温度而减小。CMQL 粗糙度小于 MQL 甚至浇注冷却,主要原因在于 CMQL 相对浇注冷却有更强的渗透性,可以更深入切削变形区深处,降低该处的摩擦和温度;相对于 MQL,CMQL 具有更强的高温高速条件下润滑油膜形成和生存能力,整体冷却润滑性能要好于 MQL。另外,CMQL 的强冷特点可以显著降低切削温度,有利于抑制切削过程积屑瘤和鳞刺的产生,避免粗糙度恶化。从常温到某个低温范围,油汽温度越低,越有利于润滑油膜生存和抑制积屑瘤和鳞刺,所以 CMQL 温度越低,粗糙度值就越小;但当 CMQL 温度下降到某个值时,受其他加工环境影响,润滑油膜的存在无法进一步提高,同时积屑瘤和鳞刺也可能完全消失,这时继续下降温度也很难再减小粗糙度。因此,降低 CMQL 温度以获得较好的粗糙度在一定温度范围内起作用。

与传统浇注冷却相比,MQL/CMQL 性能容易受工艺设定和切削环境影响。以干切削或者浇注冷却的粗糙度值为参考,粗加工(第三组)的 MQL 粗糙度明显恶化,是因为在粗加工的高温高速环境中,刀—工—屑之间的润滑油膜频繁被破坏,大大减弱其润滑冷却性能。不同 CMQL 温度有不同的粗糙度,但同样幅度的 CMQL 温度变化,不同组的试样粗糙度变化幅度不一样,变化率从大到小依次是:粗加工、半粗加工和精加工。说明 CMQL 冷却润滑特性在高温高速的激烈加工环境中并没有减弱,切削越激烈,CMQL 的冷却润滑性能发挥越好,对粗糙度影响越明显。CMQL 和 MQL 明显不同,原因是低温冷风的强冷作用,使 CMQL 在高温高速条件下保持润滑油膜的存在以及对积屑瘤和鳞刺的抑制,从而获得一个较小的粗糙度值。当 CMQL 温度越低,润滑油膜的存在以及对积屑瘤和鳞刺的抑制就越有利,越容易获得较小的粗糙度。

图 4 为切削速度 $v_c = 100\text{mm}/\text{min}$ 、进给速度 $f = 0.12\text{mm}/\text{s}$ 、切削深度 $a_p = 0.5\text{mm}$ 在不同润滑条件试样的加工表面形貌。可以看到,所有试样的表面都有明显和规则的刀具轨迹形貌,波峰波谷纹理清晰。干切削表面的刀具轨迹波峰上批锋显著,不但数量多,而且体积大,充分体现了干切削的激烈切削状态以及刀—工接触面缺乏润滑,所以其加工表面粗糙度最差。浇注冷却、MQL 和 CMQL 试样表面则比干切削光滑很多,显示切削液在刀—工接触面之间起到了润滑作用。仔细比较 SEM 图可以看出,MQL 试样刀具轨迹波峰上依然存在少量轻微批锋,导致其粗糙度比浇注冷却和 CMQL 差;这些批锋显示了 MQL 的润滑油膜的缺失。浇注冷却和 CMQL 试样表面没有发现批锋,但浇注冷却试样表面没有 CMQL 光滑,存在不规则的刮痕,所以浇注冷却的粗糙度要差于 CMQL;这些刮痕的产生可能是浇注冷却切削过程中刀—工接触面深处缺乏润滑导致,也可能是由于积屑瘤和鳞刺变化导致。

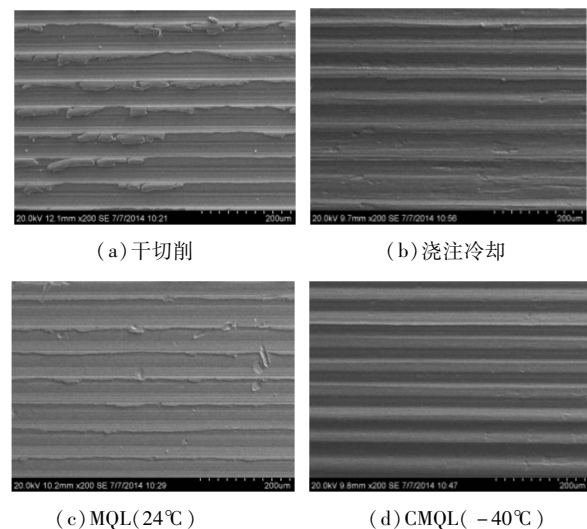


图 4 SEM 图

综上所述,CMQL 对表面粗糙度的影响机理是强渗透性和强冷却能力。强渗透性可以对切削区深处进行润滑冷却,强冷能力既可保证在高温高速环境下依然可以生成润滑油膜,也可以抑制积屑瘤和鳞刺的生成,使 CMQL 的粗糙度小于 MQL 和浇注冷却。CMQL 温度和强冷性能有直接关系,和渗透性间接相关,这也是 CMQL 温度可以影响粗糙度的根本原因。

5 结语

①同样切削参数下,CMQL 的粗糙度要小于 MQL,当温度低于某个值,CMQL 的粗糙度要小于传统浇注润滑。②CMQL 温度越低,粗糙度越小,但当

车刀几何参数对高温合金切削力的影响规律研究

杨文,雷学林,李东鹏,喻展祥,李冠群

华东理工大学

摘要: 为了降低高温合金切削过程的切削力,采用有限元仿真与切削试验相结合的方法,研究了车刀的几何参数(前角、后角和刀尖圆弧半径)对高温合金切削力的影响规律;试验发现:在几何参数的研究范围内,随着刀具前角、后角和刀尖圆弧半径的增大,刀具切削力均呈现逐渐减小的趋势;由此获得切削力最小时的车刀几何参数:前角约 4° ,后角约 14° ,刀尖圆弧半径为 1.2mm 。

关键词: 有限元;高温合金;刀具几何参数;切削试验

中图分类号: TG712;TH161

文献标志码: A

Study on Effect of Turning Tool Geometrical Parameters on Cutting Forces in Super-alloy Machining

Yang Wen, Lei Xuelin, Li Dongpeng, Yu Zhanxiang, Li Guanqun

Abstract: In order to reduce the cutting force in the cutting process of high-temperature alloys, the finite element simulation method combined with the cutting experiment was used to study the effects of the geometric parameters of the turning tool (front and rear corners and arc radius of the tip) on the cutting force of the superalloy. The experimental results show that: within the scope of the study of geometrical parameters, the cutting force of the tool gradually decreases with the increase of the rake angle, the relief angle, and the arc radius of the tool tip; therefore, the tool geometry parameters is obtained when the cutting force is minimal. (front angle of about 4° , back angle of about 14° and tip radius of 1.2mm).

Keywords: FEM; superalloy; tool geometric parameters; cutting experiment

1 引言

高温合金是指以铁、镍、钴为基体,能在 6000°C 以上的高温及一定应力作用下长期工作的一类金属材料。高温合金具有较高的高温强度,良好的抗疲

劳、抗氧化、抗热腐蚀性能,被广泛应用在航空、核能、石油工业等领域内。但其切削力高,刀具磨损严重,切削加工性能极差,是典型的难加工材料^[1]。

国内已有大量关于有限元研究硬质合金车削GH4169高温合金的文献,且较为全面。王作超等^[1]通过DEFORM有限元软件研究了WC硬质合金刀切削Inconel 718(中国对应牌号为GH4169)镍基高温合金时切削性能、刀具选择以及切削参数等

基金项目: 上海市青年科技英才扬帆计划人才项目(17YF1403100);国家自然科学基金青年基金(51705155)
收稿日期: 2018年4月

低于某个温度,CMQL温度对粗糙度影响可以忽略不计;切削越剧烈,CMQL温度对粗糙度的影响越明显。③CMQL对表面粗糙度的影响机理是强渗透性和强冷却能力。

参考文献

- [1] 安庆龙. 低温喷雾射流冷却技术及其在钛合金机械加工中的应用[D]. 南京:南京航空航天大学,2006.
- [2] 严鲁涛. 低温微量润滑切削技术作用机理及试验研究[D]. 北京:北京航空航天大学,2011.
- [3] 李新龙. 基于低温氮气和微量润滑技术的钛合金高速切削技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2004.
- [4] 康晓峰,翟南,初宏震,等. 低温MQL技术在TA15铣削加工中的应用研究[J]. 制造技术与机床,2012(7):36-38.
- [5] T Wakabayashi, S Suda, I Inasaki, et al. Tribological action and cutting performance of MQL media in machining of NiTi [C]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2007, 56(1): 97-100.
- [6] 袁松梅,朱光远,刘思,等. 低温微量润滑技术喷嘴方位正交试验研[J]. 航空制造技术,2016(10):64-69.
- [7] Attanasio A, Gelfi M, Giardini C, et al. Minimum quantity lubrication in turning[J]. Wear, 2016, 260:333-338.

第一作者:刘大维,硕士,实验师,广东技术师范学院机电学院,510635 广州市

First Author: Liu Dawei, Master, Experimentalist, College of Electro-mechanical Engineering, Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510635, China