

磨削区气流运动特性仿真与实验研究

王宇钢, 裴少勇, 修世超

(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 在对磨削区气流运动特性研究的基础上,应用 FLUENT 仿真软件建立磨削区有限元模型,仿真计算不同工作条件下磨削区气流的压力及速度分布特性. 结合磨削加工实验,研究磨削区气流运动对工件表面完整性的影响并对仿真结果进行验证. 研究表明,磨削区气流运动会阻碍磨削液有效进入磨削区. 当磨削液喷入方位接近砂轮与气流运动的速度同向区时,可提高工件表面质量,磨削液的利用效果好,磨削过程绿色度得到提高.

关 键 词: 气流运动;磨削液;绿色度;仿真;FLUENT

中图分类号: TG 580.61

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)01-0091-04

Simulation and Experimental Research on Airflow Movement Characteristics of Grinding Zone

WANG Yu-gang, PEI Shao-yong, XIU Shi-chao

(School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China.

Corresponding author: WANG Yu-gang, E-mail: 9932783@qq.com)

Abstract: Based on the research of airflow movement characteristics in the grinding zone, FLUENT was used to build the finite element model to simulate and calculate pressure distribution and velocity distribution on different working conditions. Combined with the grinding experiment, influence factors of airflow movement on the integrity of the work piece surface were studied and the simulation results were verified. The results indicated that airflow movement in the grinding zone impedes the grinding fluid into the grinding zone. When the injection position of grinding fluid was close to the area with the same direction of wheel rotation linear velocity and airflow velocity, the surface quality of the work piece improved, the utilization rate of grinding fluid and the green degree of grinding raised.

Key words: airflow movement; grinding fluid; green degree; simulation; FLUENT

磨削过程中,由于工件表面发热量大、温度高,会导致工件尺寸精度和表面质量变差,必须要建立可靠的磨削冷却系统.但在实际生产中大量的磨削液并未进入磨削区,磨削液没有得到有效的利用.这种现象不仅严重地破坏了环境而且极大地增加了成本.因此在磨削过程中应有效地使用磨削液,减少磨削加工对环境的污染,提高磨削制造的绿色度水平^[1-2].

在磨削加工时,高速运转的砂轮带动周围空气回转形成极其复杂的流场,产生了一个气体边界层,通常称其为气流屏障.在磨削区中气流主要

由砂轮圆周环流和端面径向流两部分构成.圆周环流为沿旋转砂轮周边高速运行的回转气流;端面径向流为砂轮端面与空气作用下吸入磨削区内的气流,且在离心力作用下沿砂轮外圆面射出.因此,磨削过程中由于磨削区气流屏障的阻碍,只有少量磨削液能够进入到磨削区砂轮与工件接触范围内,起到冷却和润滑作用.所以研究不同工况下磨削区气流运动的变化规律,对于提高磨削液的有效利用,保证磨削工件质量有着重要的理论和工程意义^[3-6].

本文在对磨削区气流运动特性的分析中,采

用有限元法建立仿真模型,通过 FLUENT 软件的仿真计算,研究在不同工作条件下(砂轮线速度、最小间隙)气流的压力及速度分布特性.最后,结合磨削加工实验,研究磨削区气流对工件表面完整性的影响并对仿真结果进行验证.结果表明,当磨削液喷入方位接近砂轮与气流旋转的速度同向区时,磨削液的利用效果好,磨削加工的绿色度得到提高.

1 磨削区气流运动仿真实验

在磨削时,考虑到砂轮磨粒突出的高度不同和砂轮气孔率的分布等因素,砂轮和工件在接触区实际上存在最小间隙,并由此实现磨削液的冷却和冲洗作用^[7-8].采用 Gambit 建立描述空气流动特性的数学模型并划分网格,运用 FLUENT 计算气流的压力和速度,求得在不同条件下,磨削区气流压力和速度的分布特性.

1.1 磨削区气流建模

现以平面磨削过程为研究对象,砂轮直径为 300 mm,宽度为 40 mm,仿真计算并分析磨削区气流参数及变化规律.仿真实验参数如表 1 所示.

表 1 仿真参数 Table 1 Simulation parameters		
仿真实验	砂轮线速度 v	最小间隙 M_g
	$m \cdot s^{-1}$	mm
1 [#]	20	1
2 [#]	40	1
3 [#]	20	0.1
4 [#]	40	0.1
5 [#]	20	0.05
6 [#]	40	0.05

注: $\mu=1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\rho=1.2 \text{ kg/m}^3$.

建立的模型及划分网格如图 1 所示.



图 1 三维磨削区模型的网格划分
Fig. 1 The mesh grid generation of 3D grinding zone

1.2 仿真实验结果

仿真实验中 1[#],3[#]和 5[#]的磨削区最小间隙两侧气流压力分布图如图 2 所示.

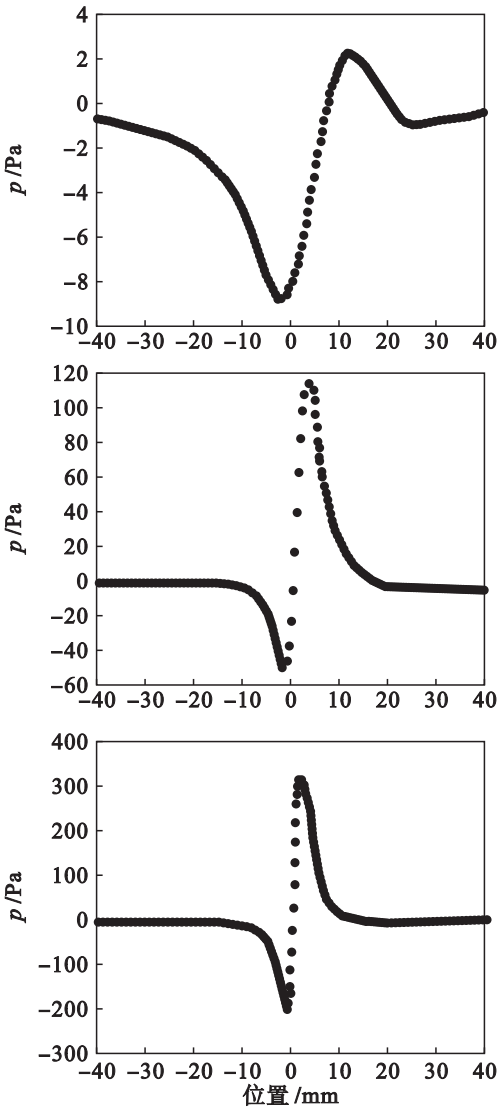


图 2 仿真实验压力分布图
Fig. 2 Simulation experiment pressure chart
(a)—1[#]; (b)—3[#]; (c)—5[#].

将不同工况下最小间隙两侧最大正、负压力值归纳如表 2 所示.

表 2 最小间隙处最大正、负压力值 Table 2 Maximum positive and negative pressure values on the minimum gap		
M_g/mm	$v/(m \cdot s^{-1})$	
	20	40
1	3	15
	-9	-11
0.1	120	200
	-50	-100
0.05	350	700
	-220	-380

由表 2 可知,随着最小间隙的减小,最大压强值随之增大,并存在一定的比例关系. 还可以得知,最小间隙处出现了负压区,而且负压最大值为正压最大值的 50% 左右. 可以推测:由于正压区和负压区的存在,必然导致磨削区空气回流和补偿流动.

磨削区气流的空气速度分布特性如图 3 所示.

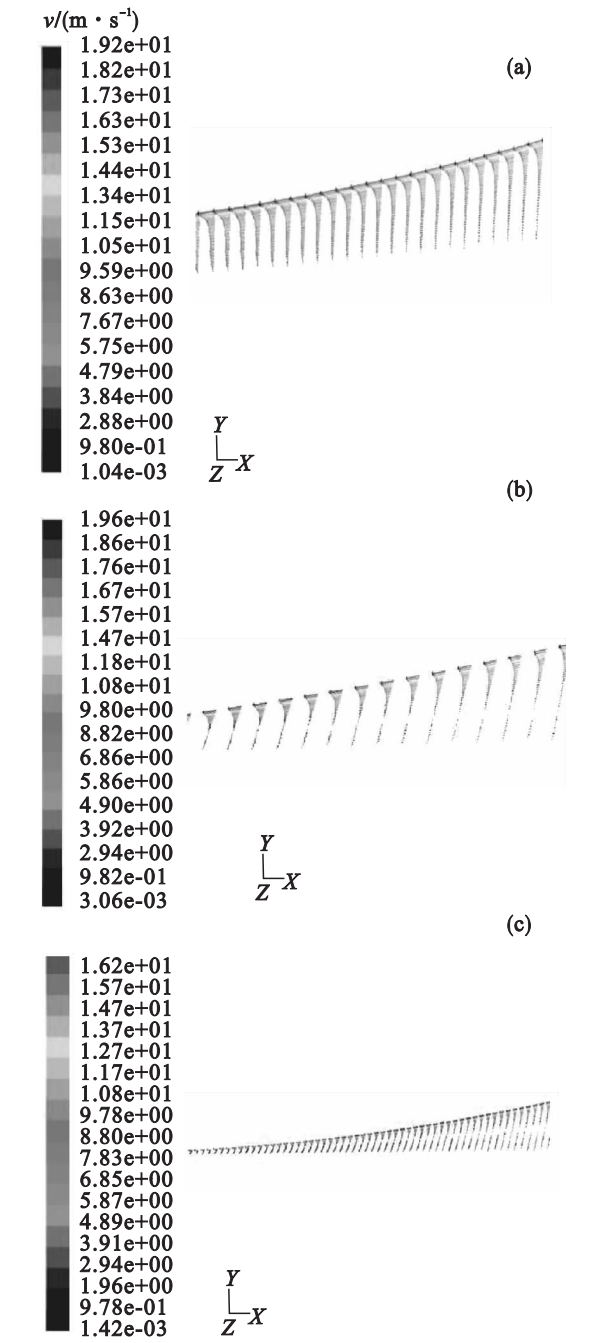


图 3 空气速度矢量图
Fig. 3 Velocity vector picture of air
(a)—1[#]; (b)—3[#]; (c)—5[#].

由图 3 可知:当最小间隙为 1 mm 时,气流绝大部分可以通过磨削区,磨削区内基本没有气流回流发生;而当最小间隙减小为 0.1 mm 时,大部

分气流仍能通过最小间隙,但出现部分气流回流现象;当最小间隙为 0.05 mm 时,有相当一部分气流不能通过最小间隙,气流的回流非常明显.

1.3 仿真结果分析

气流的最高压力值随着砂轮线速度的提高而升高,随着砂轮与工件之间最小间隙的减小而升高;气流的回流速度随着砂轮与工件的最小间隙减小而变大.

从速度矢量图可以看出:在磨削区内可以将速度为零的点连成一条速度零点线^[9]. 速度零点线上方,空气流动速度方向与砂轮旋转线速度方向相同,为速度同向区;而速度零点线下方,空气流动速度方向与砂轮旋转线速度方向相反,为速度反向区. 速度同向区内的空气水平流动速度方向是由磨削液射流位置指向磨削区,有利于磨削液进入磨削区. 而速度反向区内的空气水平流动速度方向是由磨削区指向磨削液射流位置,此时磨削液不易进入磨削区. 由以上分析可知,磨削液应尽量接近速度同向区喷射,有助于磨削液进入磨削区,从而有效减少磨削过程中磨削液的使用量,减少对环境的污染.

2 磨削液喷射位置实验研究

根据仿真结果,可以看出磨削区气流运动将会对磨削液的注入效果产生影响. 因此,在仿真研究的基础上,进行磨削加工实验,研究磨削区气流运动特性与供液方位对加工表面完整性的影响规律. 在砂轮线速度一定的条件下,通过调节磨削液喷嘴射流位置及磨削液流量,分别进行磨削加工. 速度同向区射流为喷嘴距工件表面垂直距离 4 mm,速度反向区射流为喷嘴距工件表面垂直距离 10 mm. 实验原理示意图如图 4 所示. 根据对加工表面完整性指标分析,研究磨削液供给参数对磨削液射流特性和工件表面完整性的影响机理,并验证仿真结果.

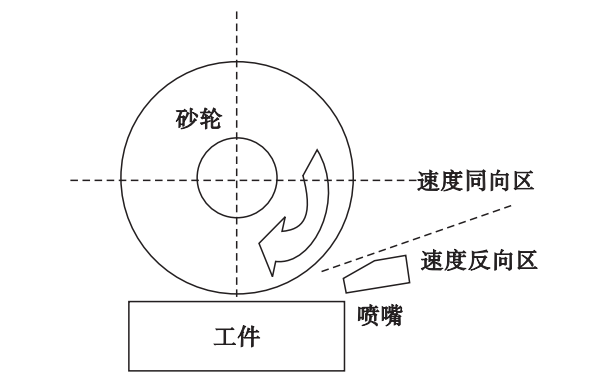


图 4 实验原理示意图
Fig. 4 Experimental principle diagram

2.1 实验参数

磨削实验试件材料为 45 钢,工艺参数见表 3.

表 3 磨削实验工艺参数

Table 3 Parameters of grinding experiment

机床	砂轮	磨削方式	磨削液	表面粗糙度测量
M7133 平面磨床	白刚玉,直径 350 mm,宽度 40 mm,粒度 F60	切入式逆磨	10% 乳化液	表面轮廓仪

2.2 实验安排与结果分析

实验安排与磨削加工后各试件表面粗糙度检测结果如表 4 所示.

表 4 实验结果

Table 1 Experiment results

磨削实验编号	磨削液流量 $L \cdot \min^{-1}$	射流位置	R_a μm	R_y μm	R_z μm
1	2	速度反向区	3.1	19.1	18.3
2	2	速度同向区	2.6	16.9	15.8
3	6	速度反向区	2.8	19.4	17.8
4	6	速度同向区	2.4	15.1	13.5

注: $v=26\text{ m/s}$.

根据实验 1 与实验 3 的实验结果,磨削液射流位置为速度反向区时,尽管改变磨削液流量,试件表面粗糙度无明显的变化.说明射流位置为速度反向区时,磨削液很难进入磨削区.其次分别对比实验 1,实验 2 和实验 3,实验 4,可以发现加工试件的表面粗糙度与磨削液射流位置有关,即在速度同向区射入与在速度反向区射入相比较,前者加工试件的表面粗糙度要明显变好.最后由实验 3 与实验 4 的实验结果可知,磨削液加注量增加会显著提高试件表面的质量,说明在实验 1 和实验 2 的磨削液加注情况下,磨削液供给并不充分.

3 结 论

1) 由于磨削区内正压区和负压区的存在,导致空气回流和补偿流动.砂轮旋转线速度越高,最

小间隙越小,磨削区气流压力越大,气流回流的速度越大.

2) 磨削区气流运动会阻碍磨削液有效进入磨削区,通过合理设置磨削液喷射位置,可有效提高工件表面加工质量,降低磨削液耗散量.磨削液喷入方位接近砂轮与气流速度反向区时,磨削液的利用效果较差;磨削液喷入方位接近砂轮与气流速度同向区时,磨削液的利用效果较好,利于提高工件表面质量和加工过程的绿色度.

参考文献:

[1] Morgan M N, Jackson A R, Wu H, et al. Optimization of fluid application in grinding [J]. *CIRP Annals—Manufacturing Technology*,2008,57(1):363 – 366.

[2] Garcia E,Pombo I,Sanchez J A,et al. Reduction of oil and gas consumption in grinding technology using high pour-point lubricants[J]. *Journal of Cleaner Production*,2013,51(6):99 – 108.

[3] 修世超,李长河,庞子瑞,等. 快速点磨削磨削液射流特性及喷嘴极限位置研究 [J]. 东北大学学报:自然科学版,2007,28(3):393 – 396.
(Xiu Shi-chao, Li Chang-he, Pang Zi-rui, et al. Study on properties of grinding fluid jet and nozzle position limit during quick point grinding [J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*,2007,28(3):393 – 396.)

[4] Klock F,Baus A,Beck T. Coolant induced forces in CBN high speed grinding with shoe nozzles[J]. *CIRP Annals—Manufacturing Technology*,2000,49(1):241 – 244.

[5] Ebbrell S,Wooley N H,Tridimas Y D, et al. The effects of cutting fluid application methods on the grinding process[J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*,2000,40(2):209 – 223.

[6] Ramesh K, Huang H, Yin L. Analytical and experimental investigation of coolant velocity in high speed grinding[J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*,2004,44(10):1069 – 1076.

[7] Hryniewicz P, Szeri A Z, Jahanmir S. Application of lubrication theory to fluid flow in grinding: part I—flow between smooth surfaces[J]. *Journal of Tribology*,2001,123(1):94 – 100.

[8] Alberdi R,Sanchez J A,Pombo I,et al. Strategies for optimal use of fluids in grinding [J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*,2011,51(6):491 – 499.

[9] Zheng J Y, Jiang Z F, Zhao L. Specific properties of air flow field within the grinding zone [J]. *Journal of Wuhan University of Technology*,2006,1(S1):307 – 309.