

# 蠕墨铸铁绿色车削性能研究

姚凯<sup>1</sup>, 王成勇<sup>2</sup>, 袁尧辉<sup>2</sup>, 罗杰<sup>1</sup>, 熊伟强<sup>3</sup>

<sup>1</sup>广西大学; <sup>2</sup>广东工业大学; <sup>3</sup>东莞安默琳机械制造有限公司

**摘要:** 通过在干切削、MQL、微量油膜附水滴三种绿色切削方式下进行蠕墨铸铁切削加工的对比试验,研究了不同涂层刀具下的切削力、切削温度、表面粗糙度、刀具磨损以及不同类型的润滑油对车削蠕墨铸铁的影响。研究表明:在切削速度小于 80m/min 时,干切削、MQL、微量油膜附水滴三种冷却方式下的切削力相差不大;在切削速度大于 80m/min 时,微量油膜附水滴冷却润滑技术对切削力的影响显著;不同冷却方式下,需要配合使用合适的涂层刀具才能获得最小的切削力、最低的切削温度、最小的表面粗糙度以及最低的刀具磨损率;不同类型的切削油对切削温度、表面粗糙度、后刀面磨损产生不同影响,其中,2000-10 润滑油可以获得高的表面质量,2000-25 润滑油可以获得低切削温度以及较低的刀具磨损率。

**关键词:** 绿色切削;切削力;涂层刀具;润滑油

中图分类号: TG115.63;TH161

文献标志码: A

## Study on Mechanical Properties of Compacted Graphite Iron (CGI) in Green Turning

Yao Kai, Wang Chengyong, Yuan Yaohui, Luo Jie, Xiong Weiqiang

**Abstract:** Through three ways of dry cutting, MQL, Oils on Water turning compacted graphite iron, cutting force, cutting temperature, surface roughness, tool wear of different coated tool's and different types of lubricant's influences on turning compacted graphite iron are studied. The experimental results illustrate that when the cutting speed is less than 80m/min, the cutting force under dry cutting, MQL and Oils on Water is not much different. When the cutting speed is more than 80m/min, the Oils on Water has a significant effect on the cutting force. Using different cooling methods, the appropriate coating tool is necessary to get the minimum cutting force, minimum cutting temperature, minimum surface roughness and lowest tool wear rate. Different types of cutting oil have different effects on the cutting temperature, surface roughness, flank wear, which 2000-10 lubrication oil can get higher surface quality. Using 2000-25 lubrication oil can get lower cutting temperature and lower tools wear rate.

**Keywords:** green cutting; cutting force; coated tool; lubrication oil

### 1 引言

蠕墨铸铁 (CGI) 材料因其兼具灰铸铁和球墨铸铁高抗压强度、高硬度以及高耐磨性等优越性能,成为发动机轻量化设计首选材料并得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。蠕墨铸铁作为发动机轻量化发展目标材料的同时,其绿色加工技术也得到了越来越多学者的关注。蠕墨铸铁强度高,微观组织内含有硬质相并添加 Ti 元素作为合金元素,且切削加工中不能形成 MnS 润滑层,使其切削加工过程中存在切削力大、切削温度高、易发生磨粒磨损以及刃口粘附和崩刃等问题,导致刀具切削性能快速失效<sup>[2,3]</sup>。

采用传统切削液冷却方式进行蠕墨铸铁切削加工可有效降低刀具整体切削温度,但在高速切削时,

切削刃口部位存在高切削应力,使切削液很难渗透进切削区域对刃口部位起到冷却润滑作用。此外,大量使用切削液还存在生产成本低、对车间环境及工人健康影响大等问题。并且在铸铁切削加工中,铸铁所含的石墨易与切削液混合成为油泥沾附在导轨表面磨损导轨,不利于切削液的循环利用,进一步加大了切削液使用成本<sup>[4,5]</sup>。有效实现干切削或准干式切削加工是解决上述问题的有效途径,但普通干切削加工缺乏有效冷却润滑作用,导致刀具耐用度大幅降低,严重降低了蠕墨铸铁加工效率,由此各类准干式绿色切削加工技术应运而生,如低温液氮冷却技术、低温 CO<sub>2</sub> 技术、低温冷风技术以及微量润滑 (MQL) 技术等<sup>[6,7]</sup>。

微量润滑 (MQL) 技术作为一种绿色加工技术被广泛应用在多种难加工材料的切削过程中,如钛合金、高温合金、不锈钢等。但常规 MQL 切削技术多采用纯油雾进行冷却润滑,采用压缩气体作为运

输媒介可有效实现高速切削时对刀具刃口部位的润滑,改善刀—屑以及刀—工之间摩擦状况,但其对切削部位冷却效果不佳<sup>[8]</sup>。

近年来提出的微量油膜附水滴(OoW)新型微量润滑切削技术,不仅可实现常规MQL采用微量润滑油改善切削刃口部位摩擦状况的作用,同时可利用水滴在切削刃口部位蒸发吸热带走大量切削热,有效实现切削刃口部位的冷却,提升刀具切削寿命和工件加工质量。

郭以伟等<sup>[9]</sup>采用微量油膜附水滴技术对45钢进行切削加工时,对不同喷射方向的切削效果进行研究。分析发现,与干切削、乳化液相比,微量油膜附水滴冷却润滑技术可以显著降低切削力,对后刀面和刀具的侧面进行喷射时的效果更好。王爱玲等<sup>[10]</sup>采用低温油膜附水滴技术对铬钢SCM435和不锈钢SUS304进行磨削试验研究。试验结果表明,油膜附水滴加工液具有良好的润滑性能,明显提高加工精度及砂轮寿命,能够达到甚至超过使用传统切削液时的磨削效果。魏源迁等<sup>[11]</sup>在研究铝材A6063S切削加工时,采用微量油膜附水滴与传统乳化液在加工后的结果进行对比发现,使用微量油膜附水滴切削方式下的切削力可以有效减少约30%,并且微量油膜附水滴具有良好的冷却性和润滑性。刘永姜等<sup>[12]</sup>采用微量油膜附水滴技术对不锈钢进行切削加工研究,通过分析发现,采用微量油膜附水滴技术与干切削相比,可以显著降低切削力和延长刀具使用寿命。吴月颖<sup>[13]</sup>对在微量油膜附水滴冷却润滑条件下切削Ti6Al4V进行研究,发现在复合喷雾的冷却润滑条件下,刀具的磨损主要为粘结磨损,同时也会伴随着氧化磨损和扩散磨损,同时还发现复合喷雾在高速切削时会加剧刀具的磨损。

目前针对蠕墨铸铁的加工研究主要集中在切削机理方面,张玉玲<sup>[14]</sup>采用H13A无涂层刀片和GC1020涂层刀片在干切削条件下对蠕墨铸铁进行了铣削机理研究。试验结果显示,铣削深度对切削力有最大影响,低速时切削力与切深呈线性增加的关系。当速度增加时,非涂层刀具切削力下降,涂层刀具主切削力下降,切削抗力与进给抗力增加。在铣削过程中,刀具的磨损主要以粘附磨损为主,涂层刀具的粘附现象比非涂层刀具轻。郭院<sup>[15]</sup>在干切削条件下对蠕墨铸铁及灰铸铁铣削力进行了研究分析,试验结果表明不同切削参数下会产生不同大小的切削力以及切削振动,对表面加工质量产生影响。

切削速度增加,工件表面的加工质量会提高,当进给速度和切削深度增加时,工件表面加工质量会下降。切削力大小不同所获得的切屑形态不同。并且发现在铣削蠕墨铸铁过程中刀具的主要失效形式为后刀面磨粒磨损、氧化磨损、涂层剥落。袁华等<sup>[16]</sup>从蠕墨铸铁本身材料的特性出发,综述了目前在蠕墨铸铁加工中的机制、加工工艺、刀具等方面的研究现状,并指出当前蠕墨铸铁加工中存在的 key 问题,以及蠕墨铸铁的未来加工趋势。

蠕墨铸铁的高切削力、高切削温度以及刀具磨损严重等难加工特性极大制约了其在汽车发动机制造领域的广泛应用。采用新型绿色切削技术是提升蠕墨铸铁切削加工刀具寿命和加工质量的有效方式。虽然目前在干切削方面已经对蠕墨铸铁的切削加工进行了研究,但是对于蠕墨铸铁绿色切削加工,尤其是在微量油膜附水滴(OoW)冷却润滑条件下的蠕墨铸铁切削加工研究较少,需要对此进行进一步的研究探索。

王翔<sup>[17]</sup>使用微量油膜附水滴冷却润滑方式对蠕墨铸铁的切削加工进行研究,在对前后刀面、前刀面以及后刀面不同喷射位置进行研究时发现,不同喷射位置对切屑变形的影响不大,在对前后刀面同时进行喷射时可以获得最小的后刀面磨损率,但是对前后刀面喷射时的表面粗糙度是最高的。王成勇等<sup>[18]</sup>把微量油膜附水滴(OoW)技术应用在蠕墨铸铁切削加工中。研究发现,微量油膜附水滴具有更好的冷却和润滑效果,当采用外部冷却前后刀面同时喷射方式和内冷(水量1.2L/h)方式时,前刀面和后刀面的切屑粘结量最少、刀具磨损率最低。此外,油膜附水滴冷却润滑条件下和涂层刀具应进行匹配,才能实现最佳的切削性能。当采用外部冷却方式对前后刀面同时进行喷射时,通过使用基于CVD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的涂层刀具(Tiger)在蠕墨铸铁的加工中获得了最低的刀具磨损率。

以上关于新型微量油膜附水滴(OoW)冷却润滑技术应用与蠕墨铸铁的切削研究主要集中于其对刀具磨损特征、加工表面粗糙度等方面,但对微量油膜附水滴冷却润滑技术对蠕墨铸铁切削过程中的切削力、切削温度以及不同类型润滑油对切削性能的影响没有做出较细致的研究。

针对以上问题,本文在采用新型油膜附水滴(OoW)冷却润滑切削技术条件下对蠕墨铸铁切削加工中的切削力、切削温度以及刀具磨损进行了研究,并对比分析了干切削、常规微量润滑(MQL)切

削以及新型微量油膜附水滴(OoW)冷却润滑切削等切削技术下的切削力和切削温度特征,同时对不同类型的润滑油在微量油膜附水滴条件下对刀具磨损的影响进行了分析。

## 2 试验条件

试验使用的微量油膜附水滴设备及 MQL 设备由东莞安默琳机械制造有限公司提供,蠕墨铸铁(CGI)工件材料由广西玉柴集团提供。试验蠕墨铸铁(CGI)圆棒长 300mm,直径 50mm,材料牌号为 Rut400 的棒料,在沈阳机床公司生产的 CAK3665nj 数控车床上进行切削试验。试验中所使用的五种刀具型号均为 CNMG120404,其中涂层刀具 TH1000(nc-TiAlSiN)、TP1030(TiAlSiN)与 TS2000(TiN/TiAlN)采用物理气相沉积法(PVD)制备涂层,Tiger( $Al_2O_3$ )与 TK2001( $Al_2O_3/Ti(C,N)$ )采用化学气相沉积(CVD)制备涂层。车刀柄型号为(DCLNF2020 2-M),采用的切削参数为切削速度 70m/min、切削深度 0.9mm、进给速度 0.15mm/r。

采用的加工方式为干切削加工、常规微量润滑(MQL)切削加工、外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )切削加工以及内冷油膜附水滴( $IOoW$ )切削加工,同时还对比了两种不同的润滑油在外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )情况对切削性能的影响。MQL、外冷油膜附水滴( $EOoW$ )、内冷油膜附水滴( $IOoW$ )冷却方式下的油量为 20ml/h,气压 0.35MPa。外冷油膜附水滴与内冷油膜附水滴条件下的水量均为 1200ml/h。MQL 与外冷油膜附水滴条件下的喷嘴分别位于前刀面、后刀面、前后刀面三个位置,而内冷油膜附水滴条件下的喷嘴位于前后刀面。

试验中所使用的润滑油 2000-10 与 2000-25 均由东莞安默琳机械制造有限公司提供。与 2000-25 润滑油相比,2000-10 的雾化性能与粘度较低,润滑性能与冷却性能高于 2000-25 润滑油。2000-10 与 2000-25 润滑油的闪点分别为 165℃ 与 300℃。

切削试验过程中,使用 Kistler9129AA 测力仪和配套数据分析软件 DynoWare 对切削过程切削力进行了测量和分析。使用 NEC 公司生产的型号为 TVS-500EC 红外热成像仪以及配备的 Avoi Studio 2009、Image Process Pro 3.0、Thermal Control 等软件对切削过程中的切削温度进行测量分析。同时还使用 Nova Nano SEM 430 电子扫描显微镜对前后刀面的磨损进行观察。切削过程见图 1。

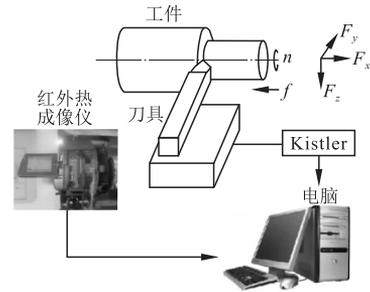


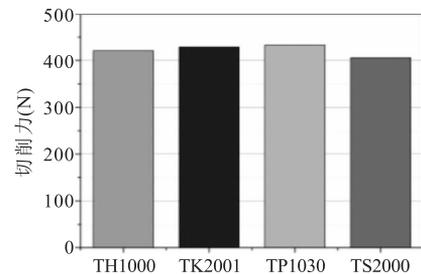
图 1 切削过程

## 3 试验结果与分析

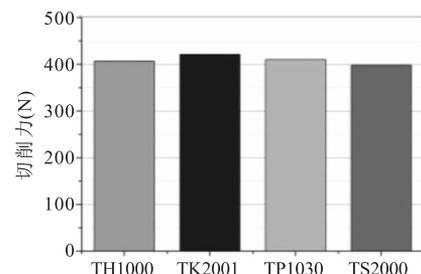
### 3.1 切削力

如图 2 所示,四种涂层刀具在干切削、微量润滑(MQL)、外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )不同冷却润滑条件下切削力依次减小,并且四种涂层刀具的切削力在不同冷却润滑条件下的大小顺序也会发生改变。在干切削时,切削力由大到小依次是 TP1030、TK2001、TH1000、TS2000;在微量润滑(MQL)下的切削力由大到小依次是 TK2001、TP1030、TH1000、TS2000;在外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )下的切削力由大到小依次是 TK2001、TP1030、TH1000、TS2000。

如图 2b 和图 2c 所示,在微量润滑(MQL)和外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )两种冷却润滑方式下,CVD 涂层刀具 TK2001 的切削力最大,大于 PVD 的其余三种涂层刀具。相比于其他三种涂层刀具,TS2000 无论是在干切削、微量润滑(MQL)还是外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )三种润滑方式中,其切削力最小,因此 TS2000 相比于其他三种涂层刀具更适用于蠕墨铸铁的切削加工。



(a) 干切削



(b) 微量润滑(MQL)

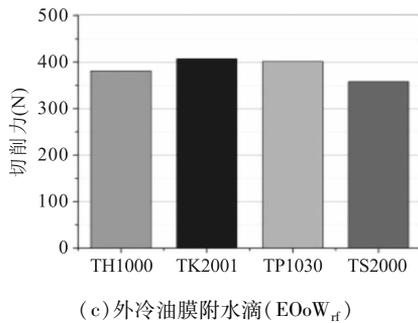


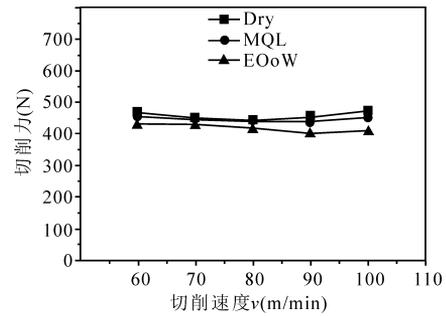
图2 四种涂层刀具的切削力对比  
( $V_c = 70\text{m/min}$ ,  $f = 0.15\text{mm/r}$ ,  $a_p = 0.9\text{mm}$ )

如图3a所示,当切削速度 $V > 60\text{m/min}$ 时,随着切削速度的增大,主切削力逐渐减小。这是由于当切削速度 $V > 60\text{m/min}$ 时,随着切削速度的增大摩擦系数会减小,刀具的剪切角会增大,变形系数减小。同时,切削速度的增大也会导致切削温度的升高,使加工工件的强度和硬度降低,因此随着切削速度的增大切削力会逐渐减小;当切削速度 $V > 90\text{m/min}$ 时,主切削力会逐渐增大。这是由于随着切削速度的提高,金属切除速率也会增大,单位时间内切除的金属量会增多,在金属切削过程中还会产生积屑瘤,使刀具的实际前角减小,同时切削温度也会升高,切削温度对于刀具的热软化效应大于对金属材料的热软化效应,降低刀具的强度和硬度,增大了切削力。

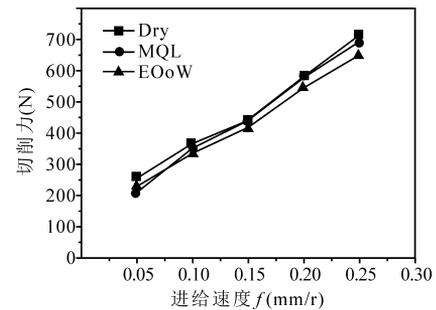
随着切削速度的增大,不同冷却方式下的切削力相差变大(见图3a)。这主要因为在低速切削时产生的切削热量少,涂层刀具完全能够抵抗低速下的刀具磨损。随着切削速度的进一步提高,切削温度逐渐升高,切削热对刀具的影响要大于对工件材料的影响。使用微量润滑(MQL)技术可以降低刀具与工件、刀具与切屑之间的摩擦,降低切削热、减少摩擦,但是冷却效果仍然有限。相比于微量润滑(MQL)的冷却方式,由于外冷油膜附水滴( $\text{EOoW}_{\text{r}}$ )的冷却方式有水滴蒸发进行冷却,切削温度低于微量润滑(MQL)方式,同时可以保证润滑油在切削区域的润滑特性,不会因高温而使润滑油失去特性。因此,随着切削速度的提高,外冷油膜附水滴( $\text{EOoW}_{\text{r}}$ )冷却方式对切削力的影响更加显著。

在干切削、微量润滑(MQL)、外冷油膜附水滴( $\text{EOoW}_{\text{r}}$ )三种冷却润滑方式下,微量油膜附水滴( $\text{EOoW}_{\text{r}}$ )方式下的切削力最小,微量润滑(MQL)的切削力次之,干切削时的最大;随着切削深度、进给速度的增大,三种冷却方式下的切削力都会依次增大,但是不同冷却方式下的切削力相差不大(见图

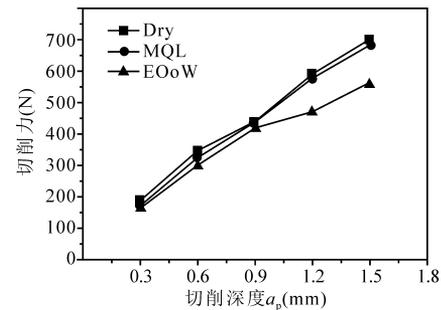
3b、3c)。



(a) 切削速度( $f = 0.15\text{mm/r}$ ,  $a_p = 0.9\text{mm}$ )



(b) 进给速度( $V_c = 70\text{m/min}$ ,  $a_p = 0.9\text{mm}$ )



(c) 切削深度( $V_c = 70\text{m/min}$ ,  $f = 0.15\text{mm}$ )

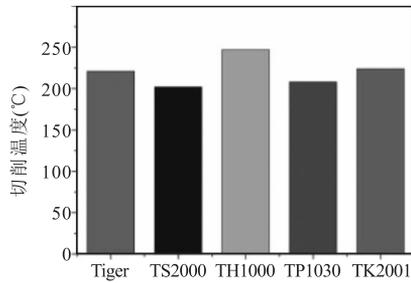
图3 切削参数对切削力影响(Tiger 刀具)

### 3.2 切削温度

如图4所示,在干切削时,不同涂层刀具的切削温度由大到小依次是:TH1000、TK2001、Tiger、TP1030、TS2000;在外冷油膜附水滴( $\text{EOoW}_{\text{r}}$ )方式下,切削温度由高到低依次为:Tiger、TP1030、TS2000、TK2001、TH1000;在内冷方式下,切削温度由高到低依次是:TP1030、Tiger、TS2000、TH1000、TK2001。在使用内冷油膜附水滴冷却润滑时,不同涂层刀具的切削温度相差不大,而在干切削和外部冷却条件下,不同涂层刀具之间的温度相差明显。

对于降低切削温度,使用外冷油膜附水滴( $\text{EOoW}_{\text{r}}$ )冷却方式要比内冷油膜附水滴( $\text{IOoW}$ )冷却方式的效果好(见图4b和图4c)。这是由于外冷油膜附水滴( $\text{EOoW}_{\text{r}}$ )冷却时喷射的油膜附水滴喷雾场面积要大于内冷油膜附水滴( $\text{IOoW}$ )的喷雾场,可以使切削区域周围温度较低,起到包裹的效果。

同时,外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )喷射时可以加速切削区域周围空气的流动性,起到强制换热的作用。



(a) 干切削

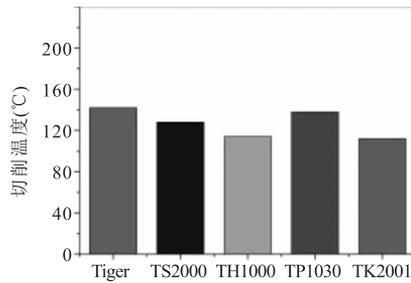
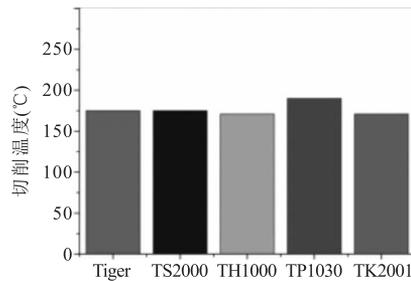
(b) 外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )(c) 内冷油膜附水滴( $IOoW$ )

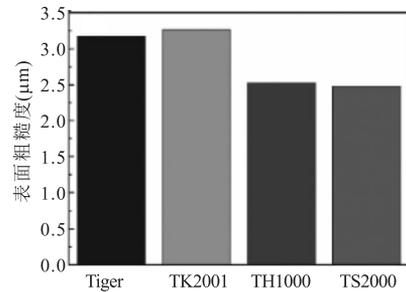
图4 不同涂层刀具切削温度  
( $V_c = 70\text{m/min}$ ,  $f = 0.15\text{mm/r}$ ,  $a_p = 0.9\text{mm}$ )

### 3.3 不同冷却方式对表面粗糙度与刀具磨损的影响分析

由图5和图6可知,在干切削、外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )、内冷油膜附水滴( $IOoW$ )(1.2L/h)条件下分别使用TS2000、TH1000、TH1000涂层刀具时获得的表面质量最佳,因此不同涂层刀具需要配合合适的冷却方式才能获得最好的表面加工质量。在外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )与内冷油膜附水滴( $IOoW$ )(1.2L/h)冷却润滑条件下,CVD涂层刀具Tiger与TK2001比PVD刀具TH1000与TS2000的后刀面磨损率低,在三种冷却润滑条件下Tiger刀具的磨损率都为最低<sup>[18]</sup>。

在干切削条件下,TS2000的切削力与切削温度都是最低,降低切削力可以减小对刀具的冲击,减少切削热的产生,降低刀具涂层在高温下的破坏,所以TS2000在干切削时的表面质量最好。

在外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )和内冷油膜附水滴( $IOoW$ )(1.2L/h)条件下,TH1000刀具的切削温度最低,切削热的降低可以有效减少刀具刃口的热软化效应,保持刀具刃口强度,减少刀具磨损,所以在外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )和内冷油膜附水滴( $IOoW$ )(1.2L/h)条件下TH1000刀具的表面加工质量最好。



(a) 干切削

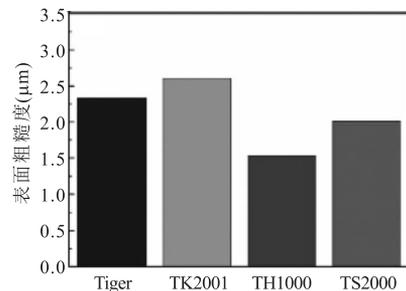
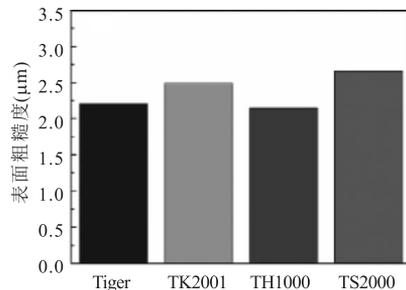
(b) 外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )(c) 内冷油膜附水滴( $IOoW$ )(1.2L/h)

图5 四种涂层刀具的表面粗糙度  
( $V_c = 70\text{m/min}$ ,  $f = 0.15\text{mm/r}$ ,  $a_p = 0.9\text{mm}$ )

以上三种冷却润滑条件下,Tiger刀具加工过程中的切削温度很高,在切削热的作用下会同时对工件以及刀具刃口产生热软化效应,而Tiger刀具切削过程中产生的切削热对工件的热软化效应大于对刀具刃口的作用,所以在以上三种冷却润滑条件下Tiger刀具的磨损率最低。在外冷油膜附水滴( $EOoW_{rf}$ )条件下TK2001的切削温度最低,在内冷油膜附水滴( $IOoW$ )(1.2L/h)冷却润滑条件下TK2001的切削温度与最低切削温度的TH1000相差不大,同时TK2001的 $Al_2O_3$ 涂层能够抵抗氧化磨损和扩散磨

损,延长刀具使用寿命,所以在外冷油膜附水滴(EOoW<sub>fr</sub>)与内冷油膜附水滴(IOoW)(1.2L/h)冷却润滑条件下,TK2001比PVD刀具TH1000与TS2000的后刀面磨损率低。

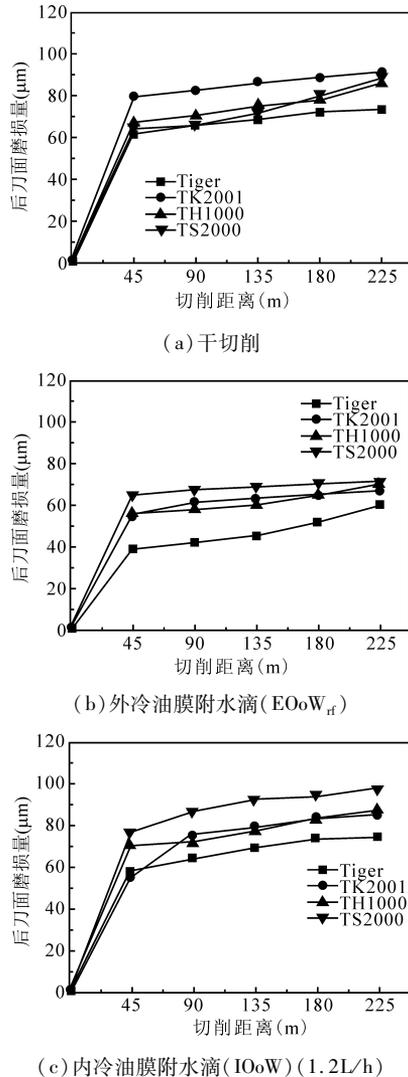


图6 四种涂层刀具的磨损  
( $V_c = 70\text{m/min}$ ,  $f = 0.15\text{mm/r}$ ,  $a_p = 0.9\text{mm}$ )

### 3.4 不同类型的润滑油对切削性能的影响

王翔等<sup>[19]</sup>使用2000-10润滑油对切削温度、表面粗糙度、刀具磨损进行了研究,研究结果显示在使用2000-10润滑油条件下,随着切削距离的增大,切削温度上下波动范围较大,表面粗糙度呈现先下降然后趋于平稳的趋势,后刀面磨损率缓慢增加。本文对2000-25润滑油的切削温度、表面粗糙度、刀具磨损等试验结果与文献[19]中2000-10润滑油的试验结果进行了对比分析。

图7为两种润滑油在外冷油膜附水滴(EOoW<sub>fr</sub>)冷却润滑方式下的切削温度、工件表面粗糙度、后刀面磨损量。

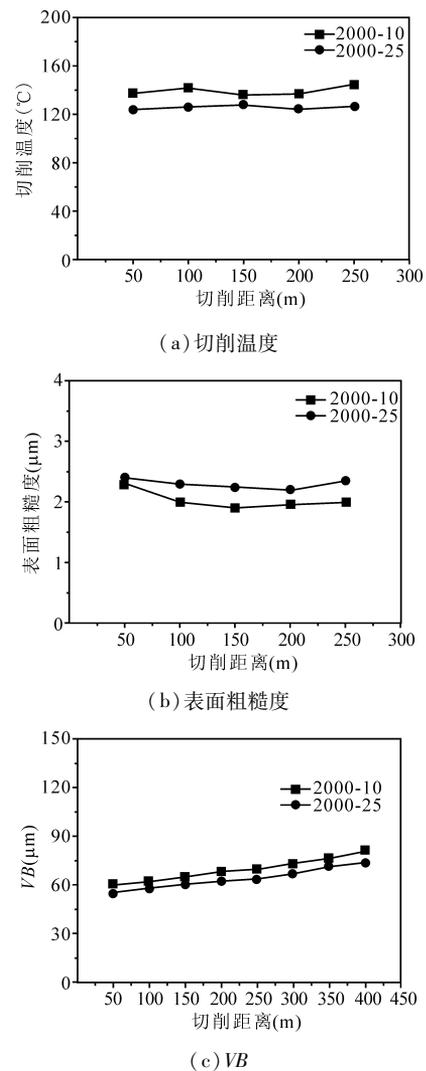


图7 采用Tiger刀具EOoW<sub>fr</sub>下两种润滑油对车削蠕墨铸铁性能的影响  
( $V_c = 70\text{m/min}$ ,  $f = 0.15\text{mm/r}$ ,  $a_p = 0.9\text{mm}$ )

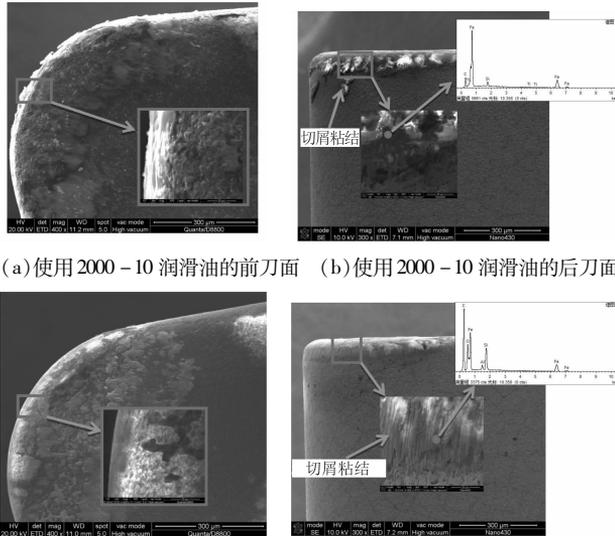
如图7a所示,当切削距离较短时,两种润滑油的切削温度接近,随着切削距离的增加,由于2000-25的润滑性能较高,2000-25的切削温度更低。同时,2000-25润滑油可以更好地实现雾化,经过压缩气体雾化后的2000-25润滑油颗粒较小,雾化颗粒要更均匀,使雾化后的2000-25润滑油更容易进入切削加工区域,改善了刀具与工件、刀具与切屑之间的接触状况,减少切削热的产生。

如图7b所示,使用2000-25时表面粗糙度质量较低。这主要是因为润滑油2000-25粘度较高,所形成的薄油膜流动性较慢、阻力较大。

如图7c所示,2000-25润滑油的后刀面磨损率较小,这主要因为润滑油2000-25的润滑性更高,油雾颗粒更容易进入到切削区域,从而能够获得更低的刀具磨损。

在使用2000-10润滑油条件下,刀具的后刀面

会有大量的切屑粘结,刀具的主要磨损形式是粘结磨损。在外冷油膜附水滴( $EOoW_r$ )下,当切削距离为300m时,使用不同润滑油所获得的刀具前后刀面磨损形貌见图8。



(a)使用2000-10润滑油的前刀面 (b)使用2000-10润滑油的后刀面

(c)使用2000-25润滑油的前刀面 (d)使用2000-25润滑油的后刀面

图8 两种润滑油下刀片磨损情况

试验条件:冷却方式 $EOoW_r$ , Tiger刀片,  $v = 70\text{m/min}$ ,  $f = 0.15\text{mm/r}$ ,  $a_p = 0.9\text{mm}$ , 切削距离300m。使用2000-25润滑油的后刀面切屑黏结量较少,这是因为2000-25润滑油的闪点较高,更容易承受高温,在采用油膜附水滴冷却润滑技术时,喷射到切屑—刀具、工件—刀具接触表面的雾化颗粒中的水被汽化之后,带走了大量的切削热,传递到刀具的热量减少,使切削区的温度低于润滑油的闪点,保证了润滑油的润滑性能。同时,由于2000-25润滑油的粘度较高,在接触表面形成油膜的能力较强,使渗透进入切屑与刀具、工件与刀具接触表面的2000-25润滑油更容易粘附在接触表面形成油膜,因此2000-25润滑油后刀面切屑粘附量也更低。

#### 4 结语

(1) 蠕墨铸铁切削过程中,刀具本身的涂层材料不同,不同的涂层材料与刀具基体的粘附性能会产生差异,并且在切削过程中,不同涂层材料能够承受的切削力以及切削温度的能力也不同。所以在不同冷却方式下,不同涂层刀具的切削力、切削温度、表面粗糙度以及刀具磨损率会有差异。因此,在不同的冷却方式下需要配合使用合适的涂层刀具才能获得最小的切削力、最低的切削温度、最好的表面加工质量以及最低的后刀面磨损率。

(2) 在切削速度低于 $80\text{m/min}$ 时,不同冷却方

式下的切削力相差不大,当切削速度大于 $80\text{m/min}$ 时,外冷油膜附水滴( $EOoW_r$ )冷却方式对降低切削力的影响会更加显著。与微量润滑(MQL)和干切削相比,在切削速度高时更适合用外冷油膜附水滴( $EOoW_r$ )冷却方式;虽然不同冷却方式下的切削力会产生一定的差异,但是切削力之间的差异不足以对材料的去除机理产生影响。因此,微量润滑(MQL)与外冷油膜附水滴( $EOoW_r$ )冷却方式下对于材料的切除机理与干切削时相同。而切削力的变化只是由于刀具与工件、刀具与切屑之间的接触发生变化引起的。

(3) 不同类型的润滑油会对蠕墨铸铁切削性能产生影响。相比于润滑油2000-10,使用2000-25润滑油具有更好的雾化性、更高的粘度、更高的闪点、更好的润滑性,故而使用2000-25润滑油可以得到较低切削温度、更低的后刀面磨损率,但是2000-25润滑油的冷却性一般、粘度较高,使其加工后的工件表面粗糙度要高于2000-10润滑油。

#### 参考文献

- [1] Nam Ki Woo, Lee Soo Chul. A study on wear properties of GCV material with DLC coating[C]. 2nd International Conference on Mechanical Engineering, Materials Science and Civil Engineering (ICMEMSCE 2013). Beijing, oct 25 - 26, 2013.
- [2] M B Da Silva, V T G Naves, J D B De Melo, et al. Analysis of wear of cemented carbide cutting tools during milling operation of gray iron and compacted graphite iron[J]. Wear, 2011, 271(9-10): 2426 - 2432.
- [3] S D Nascimento, A Eduardo Andrade, C L F Guesser, et al. Analysis of tool wear, surface roughness and cutting power in the turning process of compact graphite irons with different titanium content[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences & Engineering, 2010, 32(3): 234 - 240.
- [4] F Klocke, G Eisenblätter. Dry machining[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 1997, 46(2): 519 - 526.
- [5] H Honma, K Yokogawa, Y Yokogawa. Study of environment conscious CBN cooling air grinding technology[J]. Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 1996, 62(11): 1638 - 1642.
- [6] Sujana Debnath, Moola Mohan Reddy, Qua Sok Yi. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review[J]. Journal of Cleaner Production, 2014(83): 33 - 47.
- [7] 罗杰, 王成勇, 袁尧辉, 等. 微量润滑技术在切削加工中

- 的应用[J]. 机电工程技术,2017,46(5):1-9.
- [8]金小云. 切削中运用 MQL 技术大势所趋[J]. 中国科技纵横,2009:107-111.
- [9]郭以伟,王爱玲,郑智贞,等. 微量油膜附水滴不同喷射方向切削效果试验研究[J]. 机械工程与自动化,2008(3):109-111.
- [10]王爱玲,魏源迁,祝锡晶,等. 油膜水滴加工液的磨削性能[J]. 机械工程学报,2005,41(1):208-211.
- [11]魏源迁,钱怡,王爱玲. 微量油膜附水滴切削液的研究[J]. 中国机械工程,2004(2):295-312.
- [12]刘永姜,马国红,杜盼盼,等. 微量油膜附水滴绿色加工技术的研究[J]. 机床与液压,2015(41):135-137.
- [13]吴月颖. 基于 MQL 的钛合金高速切削硬质合金刀具磨损机理的研究[D]. 沈阳:沈阳理工大学,2014.
- [14]张玉玲. 蠕墨铸铁铣削机理及其应用研究[D]. 上海:上海交通大学,2010.
- [15]郭院. 蠕墨铸铁铣削加工切屑形态的研究[D]. 广州:广东工业大学,2014.
- [16]袁华,王成勇,郭院,等. 蠕墨铸铁加工研究进展[J]. 机床与液压,2014(13):162-167.
- [17]王翔. 蠕墨铸铁切削机理研究[D]. 南宁:广西大学,2016.
- [18]Chengyong Wang, Haisheng Lin, Xiang Wang, et al. Effect of different oil-on-water cooling conditions on tool wear in turning of compacted graphite cast iron [J]. Journal of Cleaner Production,2017(148):477-489.
- [19]王翔,王成勇,郑李娟,等. 不同冷却方式对蠕墨铸铁车削性能的影响[C]. 2015年第五届全国地方机械工程学学会学术年会暨中国制造2025发展论坛论文集,2015:994-1004.
- 第一作者:姚凯,硕士研究生,广西大学机械工程学院,530004 南宁市  
First Author: Yao Kai, Postgraduate, College of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China
- 通信作者:王成勇,教授,广西大学机械工程学院,530004 南宁市  
Corresponding Author: Wang Chengyong, Professor, College of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China

## “第八届现代切削与测量工程国际研讨会”将于今年8月在哈尔滨举办

我国正在积极推进实施“中国制造2025”,智能制造已成为制造业发展趋势。中国经济发展也进入了新时代,已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,不断深化的供给侧结构性改革推动着中国由制造大国向制造强国转变进程。国家精密工具工程技术研究中心、国机集团成都工具研究所有限公司和有关行业组织将于2018年8月26-28日在哈尔滨举办“第八届现代切削与测量工程国际研讨会”。会议将立足于国家重点制造业新的加工需求,交流行业最新科技进展,推进切削和测量技术水平的进一步提升。

会议将特邀国内外业界技术专家和企业家在大会上发表大会主题报告、专题技术报告、装备应用报告和企业发展报告等演讲,共同研讨行业技术发展趋势,展示行业最新科研和技术成果。会议内容为现代切削及测量领域的技术发展、先进工具的开发、制造和应用技术、国内外工具市场研究等。会议将积极组织汽车、航空、电力、高铁、3C、工具制造等企业及科研院所、高等院校的专业工作者参加会议。

“现代切削与测量工程国际研讨会”自2004年起每两年一届,分别在成都、北京、深圳、厦门、苏州等



地成功举办了七届,来自于国内外的专业工作者和科技专家在会议中广泛交流先进制造技术的最新科技发展成就,在切削和测量工程业界引起热切关注。欢迎广大业界同仁积极参与!

会议秘书处垂询电话:028-83242219 E-mail:ismcme2018@163.com