

前刀面槽型结构对 D 型刀片车削球墨铸铁性能的影响

叶延挥, 雷学林, 何云, 杨泊莘

华东理工大学

摘要: 通过切削力、磨损和冲击切削试验,研究了前刀面槽型结构对 D 型刀片车削球墨铸铁切削性能的影响。试验结果显示,刀具的第一前角对切削力的影响最大;在 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 范围内,刀具前角越大,切削力越低;棱带宽度大的刀片具有更加优异的耐磨损性能;具有正刃倾角的刀片显示出更优异的耐冲击性能。

关键词: 球墨铸铁;切削力;槽型

中图分类号: TG51;TG143.5;TH161.1

文献标志码: A DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.03.001

Effect of Rake Face Groove Structure on Performance of D-insert by Cutting Ductile Iron

Ye Yanhui, Lei Xuelin, He Yun, Yang Boxin

Abstract: The cutting force, wear and impacting cutting experiments are adopted to study the effect of groove profile style of the rake face on the cutting performance of D type insert in ductile iron cutting. The results show that the first rake angle has remarkable influence on the cutting force. In the range of $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$, the bigger the tool rake angle is, the lower the cutting force is. The insert with wider cutting edge land shows better wear resistance. The insert with positive tool cutting edge inclination exhibits better impacting resistance.

Keywords: ductile iron; cutting force; groove profile

1 引言

球墨铸铁是近几十年发展起来的新型材料,因其优异的铸造性能、耐热性、耐腐蚀性、耐磨性、减振性及经济性,被广泛用于制作汽车发动机的缸体缸盖、曲轴、凸轮轴及通用机械的中压阀门等各类零部件^[1]。国内外学者对球墨铸铁的切削性能进行了广泛的研究。针对球墨铸铁材料 QT500-7 的切削仿真分析^[2]结果显示,采用硬质合金刀具对球墨铸铁进行切削加工时,不宜采用过大的刀具前角,最大前角值在 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 范围内。球墨铸铁的加工性能介于塑性金属与脆性金属之间,兼有二者的切削特性。随着切削速度的增大,切削温度提高,塑性变形加大,切削力减小;同时,由于球墨铸铁的塑性变形不大,刀-屑接触面间的摩擦很小,所以切削速度对切削力的影响不显著。加工球墨铸铁时,可以优先考虑采用高速加工,从而提高加工效率^[3]。

刀片前刀面槽型结构对刀片切削过程中的受力和磨损有很大影响。文献[4,5]通过试验发现,适当增大刃倾角能有效避免积屑瘤和减少刀具磨损。Grzesik W. 等^[6]对三维槽型刀具切削钢材的切屑折

断机理进行了研究,发现对接触面的控制是影响切屑折断的重要因素之一。韩玉娟^[7]对可转位刀片断槽几何参数对断屑的影响进行了分析,提出在不同加工条件下正确选择断屑槽几何参数的方法。

本文研究了不同槽型结构 D 型刀片切削 QT500 时的切削性能,通过切削力、刀片后刀面磨损量及冲击寿命对比,得出了不同槽型刀片的切削性能。试验结果对于刀片的进一步改良和球墨铸铁的高效加工具有一定的借鉴意义。

2 试验条件

2.1 试验材料

切削材料为球墨铸铁 QT500, 尺寸 $\phi 120\text{mm} \times 300\text{mm}$, 其主要化学成分和机械性能见表 1 和表 2。

表 1 球墨铸铁 QT500 的化学成分 (wt.%)

元素	C	Si	Mn	
含量百分比	3.55 ~ 3.85	2.34 ~ 2.86	<0.6	
元素	S	P	Mg	Fe
含量百分比	<0.025	<0.08	0.02 ~ 0.04	其它

表 2 球墨铸铁 QT500 的机械性能

机械性能	抗拉强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	硬度范围 (HB)	伸长率 (%)
数值	500	320	170 ~ 230	7

2.2 试验设备

试验机床为南通 SL50 数控车床,最大车削直径

$\phi 500\text{mm}$, 主轴最高转速 3000r/min , 主轴电机功率 15kW (见图 1)。

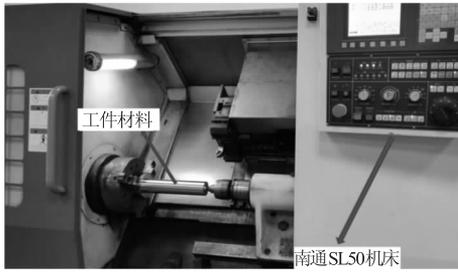


图 1 切削试验设备

切削力传感器采用瑞士 Kistler9257B 三向压电式测力仪和电荷放大器及相应的数据采集与处理系统, 用 VMS-1510G 影像仪对刀片前、后刀面进行观察, 使用 XZ-150 形状测量仪对刀片的形面进行测绘, 使用 R_a200 型粗糙度测量仪进行粗糙度测量。选取了三种槽型的车削刀片 A、B、C, 三种刀片的涂层和基体相同, 碳化钨含量均为 92%, 钴含量为 8%。刀杆型号为 DDJNL2525M15。三种刀片的前刀面构型和前刀面测绘图见图 2。经过整理, A、B、C 三种刀片的主要结构参数见表 3。

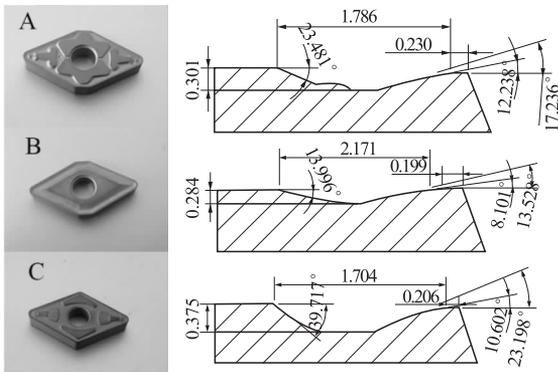


图 2 三种刀片实物及前刀面测绘

表 3 三种刀片的切削刃结构参数

刀片	第一前角($^\circ$)	刃倾角($^\circ$)	棱带宽度(mm)
A	12.238	3	0.230
B	8.101	0	0.199
C	10.010	0	0.206

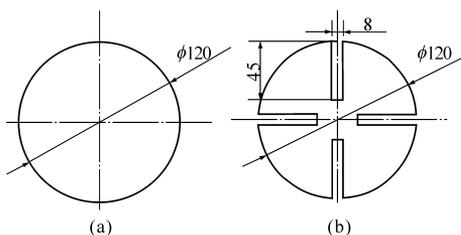


图 3 试验工件的截面尺寸

通过切削力、刀具磨损和刀具抗冲击试验分别对比研究三种刀片的切削性能。切削试验采用的切

削参数为: $V_c = 200\text{m/min}$, $f = 0.15\text{mm/r}$, $a_p = 2\text{mm}$ 。试验过程为干式切削。刀具切削力和磨损对比切削试验采用的工件尺寸见图 3a, 刀具抗冲击性能对比切削试验采用的工件尺寸见图 3b。

3 试验结果与分析

3.1 切削力试验对比

不同槽型的 A、B、C 三种刀片切削球墨铸铁时的切削力见图 4。从图中可看出, 在切削球墨铸铁时, B 刀片的切削力最大, C 刀片的切削力次之, A 刀片的切削力最小。试验过程中, 控制切削速度 v_c 、进给量 f 与切深 a_p 不变, 采用相同的工件材料, 三种刀具测试出来的切削力差异主要因为槽型不同而导致。A 刀片的第一前角为 12.238° , B 刀片的第一前角为 8.101° , C 刀片的第一前角为 10.010° , A、B、C 三种刀片的第一前角数值范围都是在 $0^\circ \sim 15^\circ$ 的合理范围内。由试验数据可知, 随着车刀片前角的增大, 车刀的切削力会减少。

在刀具的槽型因素中, 前角对切削力的影响最大, 一些先进的可转位刀片会设置两个前角。刀片的第一前角主要参与切削, 而第二前角主要影响冷却液与切屑的接触。试验采用干式切削, 故第二前角的影响较小。由 Lee and Shaffer^[8] (李和谢弗) 公式 ($\phi = \frac{\pi}{4} - \beta + \gamma_0$, 其中 ϕ 为剪切角, β 为摩擦角, γ_0 为第一前角) 可得, 刀片的第一前角增大, 会导致切削过程中的剪切角增大, 变形系数减小, 被切削球墨铸铁的塑形变形程度降低, 因此变形所消耗的主切削力明显降低。由图 4 可知, 第一前角大的 A 刀片在切削球墨铸铁时切削力小, 加工优势明显。

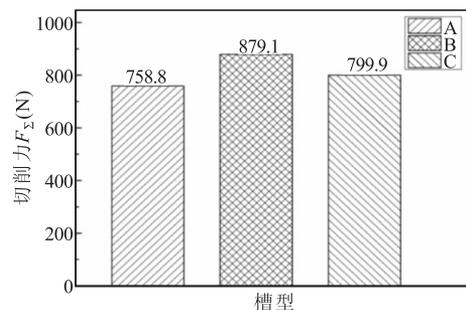


图 4 三种刀片的切削力对比

3.2 磨损试验对比

在切削力试验中, A 刀片与 C 刀片的切削力较小。因此在相同切削参数条件下, 对比分析 A、C 两种刀片切削球墨铸铁时的耐磨性能。试验过程中, A、C 刀片后刀面磨损量随时间的变化规律见图 5。

切削试验结束后,采集两种刀片的后刀面磨损形貌见图6。

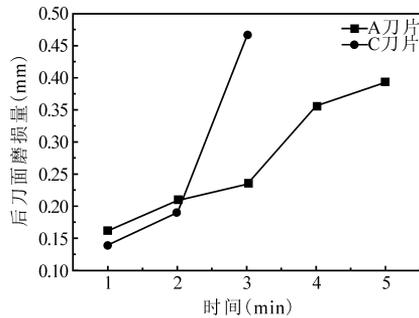


图5 A刀片和C刀片的磨损量随切削时间变化曲线

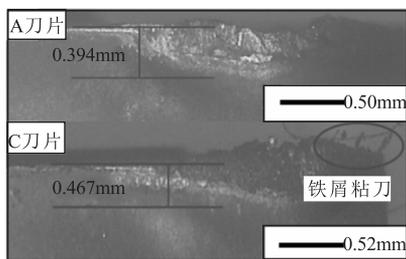


图6 A刀片和C刀片的后刀面磨损形貌

由图5可知,在最初1~2min内,A刀片与C刀片均处于正常磨损阶段,A刀片的磨损量略高于C刀片的磨损量。切削时间到3min时,A刀片依旧处于正常磨损阶段,磨损量的波动极小,而C刀片的磨损量为0.467mm,达到了 $VB = 0.3\text{mm}$ 的刀具失效标准。

由表3可知,A刀片的棱带宽度为0.230mm,C刀片的棱带宽度为0.203mm。A刀片和C刀片均为可转位刀片,当可转位刀片安装到刀杆或刀体上时,棱带成为刀具的负倒棱,其主要作用是增强切削刃强度和减少刀具磨损^[9]。A刀片的棱带宽度与第一前角都大于C刀片,故当切削时间到达3min时,A刀片的磨损量仅为0.235mm,处于正常磨损阶段,而C刀片已经磨损失效。

刀具磨损不仅对切削力大小有影响,而且是影响加工工件精度和表面质量的重要因素,严重的刀具磨损还会引起切削颤振,造成加工系统不稳定,甚至损坏制造系统^[10]。

观察刀具的切削过程可发现,切削初期,刀具后刀面上开始出现微小的磨损带,此时刀具正处于初期磨损阶段;在达到刀具磨损失效的标准前,后刀面磨损量会平缓地增加,此时为正常磨损阶段,且该阶段为刀具工作的有效阶段。在刀具达到磨损标准后,刀具磨损量的增长极其迅速,此时为刀具的严重磨损阶段。

图6为A刀片与C刀片切削球墨铸铁时的后刀面磨损形貌。图中显示两种刀片均属于后刀面正常磨损,刀片主要承受机械磨损与粘结磨损。经过300s后,A刀片后刀面磨损量达到0.394mm;经过180s后,C刀片后刀面磨损量达到0.467mm。在影像仪上观察两者的磨损图像,可以看到C刀片有粘刀现象,而A刀片无粘刀现象。因此,A刀片的耐磨性能优于C刀片。

3.3 冲击试验对比

在相同切削参数下,采用球墨铸铁的切削冲击试验研究A刀片和C刀片的耐冲击性能。试验结束时,A刀片和C刀片的冲击时间、冲击次数、表面粗糙度和后刀面失效区域的数值见表4。后刀面失效区域随冲击次数的变化关系见图7,A刀片和C刀片后刀面与前刀面的磨损情况见图8。

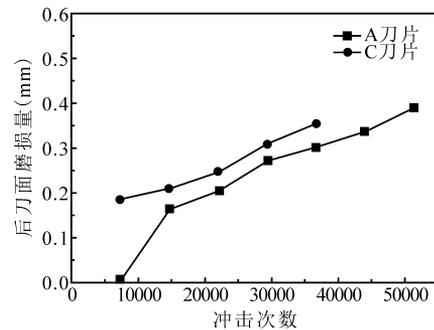


图7 A刀片和C刀片后刀面磨损量随冲击次数变化的曲线

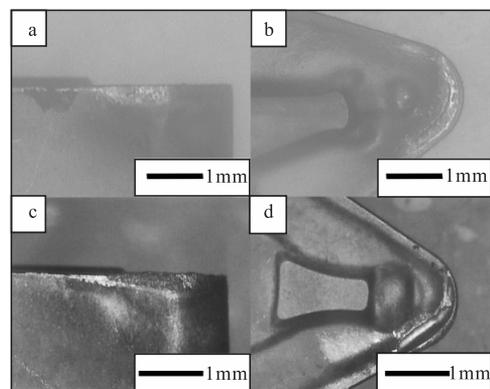


图8 A刀片和C刀片后刀面和前刀面磨损 (a,b为A刀片;c,d为C刀片)

由表4可以看出,在A刀片的失效区域达到0.388mm、C刀片的失效区域达到0.355mm时,A刀片的耐冲击时间为1100.1s,C刀片的耐冲击时间为578.7s,A刀片的耐冲击次数几乎是C刀片的两倍。由图7可看出,在相同的冲击次数下,A刀片的后刀面失效区域始终少于C刀片;在失效区域相同时,A刀片的耐冲击次数也远大于C刀片。A刀片表现出更加良好的耐冲击性能。

表4 A刀片与C刀片抗冲击性能对比

刀片	冲击时间(s)	冲击次数	表面粗糙度(μm)	后刀面磨损量(mm)
A	1100.1	51333	1.823	0.388
C	578.7	36667	1.895	0.355

从A刀片和C刀片的冲击对比试验可知,A刀片的抗冲击性能优于C刀片。主要原因为A刀片的刃倾角为 3° ,C刀片的刃倾角为 0° 。根据文献[11]可知,对于正前角刀具,选用正刃倾角设计可以在一定程度上增强刀具的切削刃强度,因为正刃倾角可以弥补较大的法向前角对刀刃强度的削弱程度。在冲击过程中,刀具切削部分在切削力的作用下,前刀面的一定区域内受拉应力影响,而在后刀面受压应力影响。增大刀具前角不仅会降低刀具强度,而且会使拉应力区域增大。A刀片的第一前角大于C刀片的第一前角,但由于A刀片采用正刃倾角设计,故A刀片刀刃的强度并未降低,耐冲击性能更优于C刀片。根据经验,前角增加 2° 的同时将刃倾角增加 3° ,不会降低刀刃强度。刃倾角的大小应视工件表面的情况而定,冲击较大时,刃倾角取值可稍大一些。

4 结语

研究了不同槽型结构的D型刀片切削球墨铸铁时的力学、耐磨损和冲击特性,得出以下结论:

(1)车刀片的三维槽型中,第一前角对切削力的影响最大。切削球墨铸铁QT500时,在合理范围内($10^\circ - 15^\circ$)适当增大前角,可以有效降低切削力。

(2)切削球墨铸铁QT500时,刀片主要发生机械磨损与粘接磨损。在切削过程中,刀片的棱带宽度对磨损量有较大影响。当刀片安装在刀杆上时,棱带成为刀具的负倒棱,会增强切削刃性能,故适当增加棱带宽度,可以减少刀片的磨损量。

(3)冲击球墨铸铁QT500时,采用正刃倾角设计的刀片冲击性能较好。正刃倾角在一定程度上可

以增强刀具的切削刃强度,弥补较大的法向前角对刀刃强度的削弱。

参考文献

- [1]曹月君.国内外汽车球墨铸铁件生产技术与发展趋势[J].汽车工艺与材料,1994(2):1-6.
 - [2]中国机械工程学会铸造专业学会编.铸造手册:铸铁[M].北京:机械工业出版社,2000.
 - [3]高艳.球墨铸铁QT500-7切削参数优化[D].上海:上海交通大学,2013:1-77.
 - [4]Cantero J L, Diaz-Ivarez J, Miguelez M H, et al. Analysis of tool wear patterns in finishing turning of Inconel 718[J]. Wear, 2013, 297(1-2):885-894.
 - [5]宁邵鹏,王社权,张高峰,等.刀片槽型对GH4169车削寿命的影响[J].硬质合金,2016,33(2):135-140.
 - [6]Grzesik W, Kwiatkowska E. An energy approach to chip-breaking when machining with grooved tool inserts[J]. International Journal of Machine and Manufacture, 1997, 37(5):569-577.
 - [7]韩玉娟.可转位刀片断屑槽几何参数对断屑的影响[J].机械工程师,2009(1):41-42.
 - [8]谢峰,赵吉文,张崇高,等.剪切角理论研究有限元新方法探索[J].中国机械工程,2003,14(18):1539-1541.
 - [9]汤爱民,陈永洁,何云.粗加工槽型的设计分析和探讨[J].硬质合金,2004,21(2):99-104.
 - [10]张家梁,李蓓智,庞静珠.刀具磨损过程中的切削力特征研究[J].制造技术与机床,2010(5):111-113.
 - [11]冯鸣.硬质合金可转位刀片断屑槽设计及破损机理研究[D].武汉:华中科技大学,2007:1-69.
- 第一作者:叶延辉,硕士研究生,华东理工大学机械与动力工程学院,200237上海市
First Author:Ye Yanhui, Postgraduate, School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China
- 通信作者:雷学林,副教授,华东理工大学机械与动力工程学院,200237上海市
Corresponding Author:Lei Xuelin, Associate Professor, School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China