

涂层 PCBN 刀具切削淬硬模具钢的试验研究

张鹏,李嫚,董海,薛明明

大连理工大学机械工程学院

摘要: 采用涂层 PCBN 刀具对淬硬模具钢(Cr12MoV)进行切削试验,研究不同切削用量和刀尖圆弧半径对切削力和表面粗糙度的影响规律,并采用极差法评估各因素对切削力和表面粗糙度的影响程度。试验结果和分析表明:采用涂层 PCBN 刀具切削淬硬模具钢时,切削力和表面粗糙度的部分变化规律有别于传统切削理论。主要原因为:淬硬模具钢硬度高、导热性差,属于难加工材料;试验中选用的 TiAlN 涂层 PCBN 刀具具有较大的负倒棱(0.12mm × -25°)和刀尖钝圆半径(42μm)。另外,通过极差分析的结果可知,切削深度对切削力的影响最大,刀尖圆弧半径对加工表面粗糙度影响最大。

关键词: 淬硬模具钢;涂层 PCBN 刀具;切削力;表面粗糙度;极差分析法

中图分类号: TG115.6+3;TG501;TH161 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2021.05.006

Research on Cutting Hardened Die Steel by Coated PCBN Tool

Zhang Peng, Li Man, Dong Hai, Xue Mingming

Abstract: The cutting test of hardened die steel(Cr12MoV) is carried out with coated PCBN tools. The influence of different cutting parameters and tool tip radius on cutting force and surface roughness is studied, and the range method is adopted to evaluate the influence of various factors on cutting force and roughness. Experimental results and analysis show that the variation law of cutting force and surface roughness is different from traditional cutting theory in the process of coated PCBN tools cutting hardened die steel. The main reason is that hardened die steel is a difficult to machine material as a result of high hardness and poor thermal conductivity. The negative chamfer (0.12mm × -25°) and the blunt radius of the tool tip (42μm) of the TiAlN coated PCBN tools selected in the experiment are larger than uncoated PCBN tools. In addition, according to the results of range analysis, it can be seen that the biggest impact on cutting force is the amount of back tool, and the biggest influence on the machined surface roughness is the radius of the tool tip arc.

Keywords: hardened die steel; coated PCBN tool; cutting force; surface roughness; range analysis

1 引言

淬硬模具钢(Cr12MoV)具有较高的硬度和耐磨性,是一种应用广泛的冷作模具钢,可用于汽车、家电以及医疗产品的制造。该淬硬模具钢淬火后的硬度可达 60HRC,具有很好的淬透性和耐冲击性,广泛应用于制造断面较大、经受较大冲击负荷的模具和工具^[1]。

淬硬模具钢具有良好的使用性能,但其硬度高、导热性差,属于难加工材料^[2]。与传统的磨削相比,采用硬态车削方法加工这类工件材料的成本可降低 40% 左右,效率可提升 3~4 倍,并且该加工工艺对环境更加友好^[3]。然而,采用“以车代磨”方法加工淬硬模具钢会带来切削过程中切削力较大和切削温度较高的问题。因此,需要选用性能更佳的切削刀具才能满足加工要求。

涂层 PCBN 刀具的切削性能良好,使用其加工

淬硬模具钢等高硬度材料时, TiAlN 涂层在高温下氧化产生的 Al₂O₃ 能够改善刀-工、刀-屑之间的摩擦。涂层 PCBN 刀具能够解决加工过程中刀具崩刃以及磨损较快的问题,是加工淬硬钢的较好刀具材料^[4,5]。

本文采用涂层立方氮化硼刀具对淬硬模具钢进行切削试验。采用 4 因素 4 水平的正交试验^[6],研究不同切削用量和刀尖圆弧半径对切削力和工件表面粗糙度的影响规律,并采用极差分析法分析各因素对切削力和加工表面粗糙度的影响程度。本研究可为淬硬模具钢的加工提供新的理论和试验依据。

2 试验条件及方案

(1) 试件材料

试件采用牌号为 Cr12MoV 的淬硬模具钢,试件尺寸为 φ108mm × 300mm。Cr12MoV 属于合金工具钢,主要由铬、碳、钼和钒等元素组成,具体成分见表 1。

表1 Cr12MoV 化学成分 (wt. %)

C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Mo
1.550	0.350	0.350	0.025	0.025	11.250	0.200	0.450

试验中对工件进行如下热处理:首先在 980℃ ~ 1000℃ 下进行淬火处理,然后在 200℃ 下回火两次。热处理后工件硬度为 58 ~ 60HRC,其硬度较高,能够满足生产的使用要求。

(2) 车削刀具

试验选用日本住友公司牌号为 BNC2020 的涂层 PCBN 刀具进行车削试验,涂层材料为 TiAlN,涂层厚 1.5 μm,刀具倒棱参数为 0.15mm × -20°,刀具切削角度见表 2。

表2 刀具工作角度 (°)

主偏角 κ_r	副偏角 κ'_r	前角 γ_0	后角 α_0	刃倾角 λ_s
95	5	-5	5	-5

(3) 试验方案

采用正交试验方法对淬硬模具钢进行切削,切削试验的因素和水平见表 3。通过大连理工大学研制的车削测力仪采集试验过程中的切削力,并用 TR200 便携粗糙度仪对表面粗糙度进行测量。

表3 试验方案

水平	A 切削速度 v (m/min)	B 进给量 f (mm/r)	C 切削深度 a_p (mm)	D 刀尖圆弧半径 r_s (mm)
1	78.5	0.05	0.05	0.4
2	100.5	0.1	0.1	0.8
3	125.6	0.15	0.15	1.2
4	157	0.2	0.2	1.6

3 试验结果及分析

3.1 切削力试验结果及分析

切削力是切削加工过程中的一个重要参数,对于机床使用、刀具选用以及切削热产生和刀具寿命均有很大的影响。

本文研究了使用涂层 PCBN 刀具切削淬硬模具钢的切削力大小,并且探究了不同切削用量和刀尖圆弧半径对切削力的影响规律,结果见图 1 ~ 图 4。

如图 1 所示,当切削速度从 78.5m/min 增至 100.5m/min 时,随着切削速度的升高,主切削力和背向力显著降低,降低幅度达到 30%,与传统切削理论不一致。在传统切削理论中,速度增大会导致剪切角增大,切削力会随之而降低。但在实际切削过程中,随着切削温度的升高,工件材料会发生热软化作用。当软化作用与工件材料的应变率强化作用相差不大时,会导致切削速度对切削力的影响不大。

当使用涂层 PCBN 刀具切削淬硬模具钢时,由

于 TiAlN 涂层的导热系数较低,在加工过程中起到“隔热”的效果,因此切削过程中产生的热量主要聚集于切削区域。此外,由于工件材料的导热性较差,随着切削速度的提高,切削区的温度也迅速升高,高温热软化作用远大于高应变强化作用,导致切削力随切削速度的升高而显著降低^[7]。

当切削速度 $v > 100.5$ m/min 时,切削过程中的背向力有增大趋势,而轴向力和主切削力变化幅度不大。这时因为随着切削速度的进一步增大,虽然切削温度的升高会引起工件材料的热软化加剧而导致切削力降低,但切削速度的升高会使刀具表面涂层和后刀面磨损加剧,使切削力升高。在这两种因素的综合作用下,切削力增大但变化幅度不大。

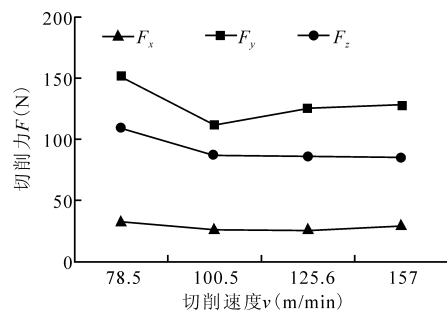


图1 切削速度对切削力的影响

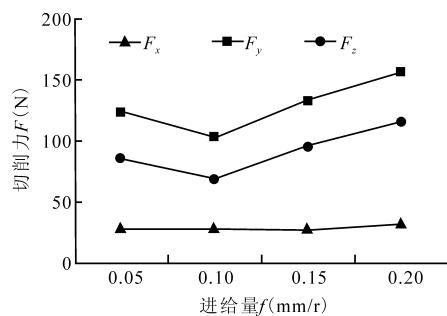


图2 进给量对切削力的影响

由图 2 可知,切削力不随进给量的变化而缓慢升高,这与理论结果不一致。当进给量为 0.05mm/r 时,切削力较大。这是因为当进给量较小时,由于涂层 PCBN 刀具的刃口钝圆半径较大(42 μm),刀具对工件以“挤压”形式进行切削,切削过程中刀具与工件之间的摩擦阻力较大,从而导致切削力较大。当进给量 $f > 0.1$ mm/r 时,切削力的变化随进给量的增大不呈正比(比例小于 1)变化,与传统切削理论相吻合。这是因为虽然进给量的增大会造成切削过程中的切削阻力增大,但由于切削厚度也会增大,使切削力的增大有减弱作用,进而导致切削力随进给量的变化不成正比。

在传统切削理论中,当切削深度增大时,由于切

削厚度不变,切削宽度随切削深度成正比增大,理论上切削力也应成正比增大^[8]。但在本试验条件下产生的结果却与传统理论不一致。由图3可知,在车削淬硬模具钢时,当切削深度增大1倍(从0.1mm到0.2mm)的情况下,主切削力仅增大70%左右(从80N到136N)。这是因为淬硬钢的导热性较差,致使切削温度随切削深度的增大而升高,而工件材料的热软化加剧切削力的变化,并与切削深度变化不成正比。

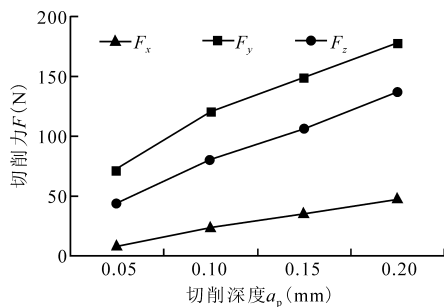


图3 切削深度对切削力的影响

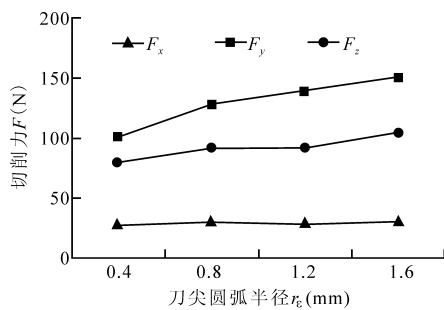


图4 刀尖圆弧半径对切削力的影响

由图4可知,刀尖圆弧半径对切削力的影响规律符合理论情况。这是因为刀尖圆弧半径的增大会引起工件和切削刀具切削刃的接触长度增大,从而使切削阻力变大,主切削力增大;随着刀尖圆弧半径的增大,切削刃上各点的主偏角和副偏角均减小,由公式 $F_y = F_n \cos \kappa_r$, $F_x = F_n \sin \kappa_r$ 可知,刀尖圆弧半径的增大会导致背向力增大、轴向力有减小的趋势。

从图1~图4还可以看出,试验过程中出现背向力大于主切削力的情况,这与以往切削过程产生的结果不一致。分析其原因有以下两点:淬硬模具钢的硬度高、塑性低,加工性能较差,加工过程中刀具和切屑的接触距离较短,并且前刀面上的平均摩擦系数较小,使加工过程中主切削力较小;此外,由于淬硬钢的难加工性,试验采用带有负倒棱(0.15mm × -25°)的涂层PCBN刀具进行加工,加工过程中负倒棱代替前刀面进行车削,切屑受负倒棱挤压,造成背向力较大。

3.2 表面粗糙度试验结果及分析

加工表面粗糙度代表机械加工所能达到的水平,对零件的使用性能具有较大影响。淬硬模具钢在强冲击以及繁重工作条件下使用,对表面质量有较高的要求。本文通过试验探究了不同切削用量以及刀尖圆弧半径对加工表面粗糙度的影响规律,结果见图5~图8。

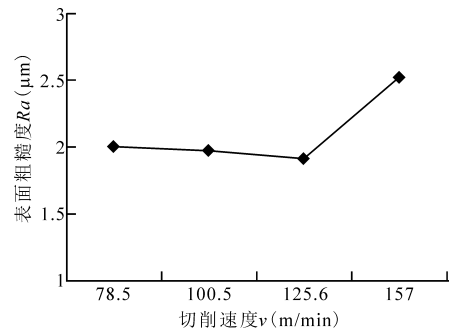


图5 切削速度对表面粗糙度的影响

由图5可知,随切削速度的增大,加工表面粗糙度先减小后增大。当切削速度 $v < 125.6 \text{ m/min}$ 时,由于试验中选用的工件材料硬度较高,随着切削速度的增大,切削过程中的塑性变形程度减小,产生的表面粗糙度减小。当切削速度 $v > 125.6 \text{ m/min}$ 时,由于切削温度进一步升高会加剧刀具表面涂层以及后刀面磨损,导致加工表面粗糙度变大。此外,切削速度的提高会影响机床加工的稳定性,造成机床振动变大,这也会对表面粗糙度产生较大的影响。

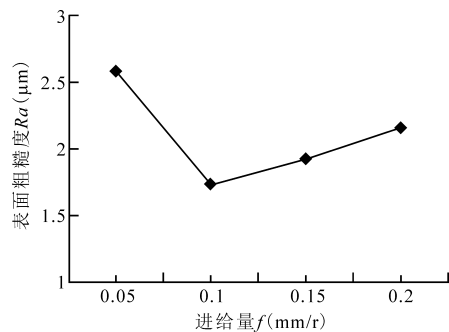


图6 进给量对表面粗糙度的影响

由图6可知,当进给量较小时($f = 0.05 \text{ mm/r}$),由于本试验采用的涂层PCBN刀具带有负倒棱且刀尖钝圆半径较大,在实际加工过程中刀具对工件材料的挤压作用较强,导致工件塑性变形较大,工件表面粗糙度较大。当进给量 $f > 0.1 \text{ mm/r}$ 时,由于进给量的增大会使工件表面留有更大高度,故加工表面粗糙度会随之增大。

由图7可知,加工表面粗糙度随切削深度的增大而缓慢增大。这是由于工件材料的导热性较差,

加工过程中产生的热量不易散失,刀具的磨损会影响其使用性能,进而导致加工表面粗糙度增大。此外,切削深度的增大会导致切削刃的接触长度变大,加工过程中的背向力变大,造成机床振动加剧,从而影响加工表面质量。

由图 8 所示,表面粗糙度随刀尖圆弧半径的增大而增大,这与传统切削理论相悖。产生这个问题的原因有以下两点:其一,试验中选用带有负倒棱的刀具进行加工的背向力较大,随刀尖圆弧半径的增大,切削过程中背向力会进一步增大,降低机床的加工稳定性,增大加工表面粗糙度;其二,随刀尖圆弧半径的增大,刀具和工件的接触面积随之增大,由于加工过程中切削温度较高,刀具和工件材料之间的粘结作用增强,刀具在刀尖圆弧半径的作用下挤压工件材料,工件表面产生向两侧的塑性变形,导致表面粗糙度变大^[9]。

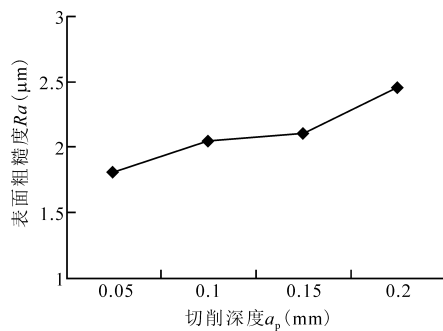


图 7 切削深度对表面粗糙度的影响

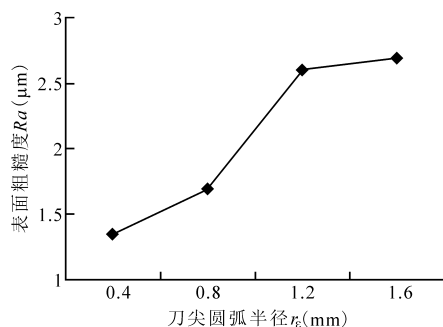


图 8 刀尖圆弧半径对表面粗糙度的影响

3.3 试验结果极差分析

极差分析法广泛应用于分析不同因素对试验结果的影响程度。本文通过分析正交试验数据,对比各因素对切削力和表面粗糙度极差的大小,确定各因素影响程度的排列顺序,可为切削用量以及刀具圆弧半径的选择提供理论指导。

各因素对结果的极差可通过以下步骤来获得:

- ①分别对各因素下同一水平的试验结果求和;
- ②分别对上述求和结果取平均值;

③分别求出同一因素下不同水平的上述平均值的最大差值,并以此作为该因素对结果影响的极差。

通过比较所求极差值的大小可知,极差值越大,该因素对结果的影响程度越大。具体结果见表 4。

表 4 各水平极差计算结果

水平	切削速度 v (m/min)	进给量 f (mm/r)	切削深度 a_p (mm)	刀尖圆弧半 径 r_e (mm)
主切削力 F_z (N)	23.49	47.26	90.04	24.75
进给力 F_x (N)	6.79	5.28	38.88	2.41
背向力 F_y (N)	39.94	52.40	106.88	49.74
表面粗糙度 Ra (μm)	0.48	0.85	0.77	1.42

从表 4 可知,切削深度对各个方向上的力影响最大,而刀尖圆弧半径对加工表面粗糙度影响最大。所以在使用涂层 PCBN 刀具切削淬硬模具钢时,应优先考虑选用合适的切削深度和刀尖圆弧半径,以保证得到较好的加工质量。

4 结语

本文通过正交试验研究涂层 PCBN 刀具切削淬硬模具钢的切削性能。通过分析切削加工产生的切削力和表面粗糙度,探究不同切削用量和刀尖圆弧半径对切削力和表面粗糙度的影响规律,并采用极差分析法分析了不同因素对切削力和粗糙度的影响程度。

(1)随着切削速度提高,三个方向上的切削力都先降低后缓慢升高,轴向力变化不大,加工表面粗糙度先降低后升高。

(2)随着进给量的提高,切削力先降低后升高,并在 0.1mm/r 时达到最小值,加工表面粗糙度变化趋势与切削力变化趋势相近。

(3)随着切削深度的提高,三个方向上的切削力和加工表面粗糙度均增大,但变化趋势与切削深度变化不成正比。

(4)随着刀尖圆弧半径的增大,主切削力和背向力均增大,而轴向力有减小趋势。加工表面粗糙度随刀尖圆弧半径的增大先迅速增大,之后其增大速度逐渐减小。

(5)根据极差分析可知,切削深度和刀尖圆弧半径对切削力和表面粗糙度的影响较大,因此在选用切削用量和刀具类型时,应优先考虑这两个因素。

参考文献

- [1]刘骏曦,邓莉萍,夏凌云,等. Cr12MoV 钢的热处理及组织、性能研究[J]. 热加工工艺,2012,41(14):196-197.
- [2]魏文静. PCBN 刀具断续车削淬硬钢表面粗糙度的试验与预测[D]. 兰州:兰州理工大学,2014.

硬质合金麻花钻曲线切削刃压痕阴极电解钝化研究

吴昱君,李铸宇,张伟,张羽霄,陈传伟

大连工业大学

摘要: 提出一种压痕阴极电解钝化硬质合金麻花钻刃口的新工艺,利用锡箔拓印刃口压痕来适应麻花钻不同形状的曲线切削刃。研究了电解时间、电压和电极间隙等参数对刃口钝圆半径的影响。结果表明,采用压痕阴极电解钝化 K10 硬质合金,比相同条件下毛刷钝化时间缩短 42%,钝化半径一致性好,刃口表面的粗糙度值降低 1 倍。在钻削 42CrMo 时,电解钝化麻花钻产生的切屑较短,断屑性能优于毛刷钝化钻头;两种钝化钻头产生的轴向力和扭矩相当,而电解钝化钻头的耐用度提高了 50%。新的电解钝化设备简单,可广泛适用于车刀、铣刀等其它曲线切削刃刀具的钝化处理。

关键词: 电解钝化;麻花钻;曲线刃

中图分类号: TG519.5+6;TH162 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2021.05.007

Research of Indentation Cathode for Electrochemical Edge Honing to Carbide Drill with Curved Cutting Edge

Wu Yujun, Li Zhuyu, Zhang Wei, Zhang Yuxiao, Chen Chuanwei

Abstract: In this paper, a novel indentation cathode for cutting edge honing is proposed. A foil cathode, covered by the pottery clay, is used to form the indentation of the different curved cutting edges of drills. The influence of different electrochemical parameters, such as voltage, time and electrode gap, on the honed edge radius is investigated. The radii of electrochemically honed edges are identical and the honing time is 42% shorter in comparison with that by brushing method. The SEM microscopic images show that roughness of the honed surface is half less than that of the untreated surface near the cutting edge. When 42CrMo steel is drilled, the chip of the electrochemically honed drill is shorter than that by brushed drills. Although the values of drilling forces and torsions are almost the same, the life of the electrochemically honed drill is enhanced by 50%, compared with that by brushed drills. The device and its operation are simple, so it can be used to some turning and milling tools commercially.

Keywords: electrochemical honing; twist drill; cutting edge

1 引言

刃口钝化处理已成为硬质合金刀具制造中必不可少

的工序^[1,2],其针对硬质合金冲击韧度低、锋利刃口在切削加工初期易崩刃等缺点,在刃口加工圆弧倒角,增大刃口强度。由于砂轮磨粒的作用,精密磨削后的切削刃在显微观察下仍存在凸凹不平的微小缺陷^[3]。利用刃口钝化,可减小刀具表面粗糙度

收稿日期:2020年10月

- [3] 岳彩旭,郝小乐,南月冲,等. 硬态切削用刀具技术最新进展[J]. 机械科学与技术,2019,38(5):657-669.
- [4] 涂禄强,徐锋,田帅,等. 立方氮化硼涂层刀具制备及切削性能研究现状[J]. 机械制造与自动化,2020,49(1):16-19.
- [5] 孔帅斐,栗正新. PcBN 和涂层刀具发展及展望[J]. 超硬材料工程,2017,29(3):48-51.
- [6] 于慧春,殷勇,李欣,等. 正交试验设计中正交表的特点及正交的意义浅析[J]. 农产品加工,2020(5):91-92,97.
- [7] 侯庆坤. 等离子弧堆焊镍基合金切削性能的试验研究[D]. 大连:大连理工大学,2017.
- [8] 陈日曜. 金属切削原理[M]. 北京:机械工业出版社,1993.

- [9] 文东辉,郑力,刘献礼,等. 精密硬态切削过程金属软化效应与表面塑性侧流的研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2003(4):9-12.

第一作者:张鹏,硕士研究生,大连理工大学机械工程学院,116024 辽宁省大连市

First Author: Zhang Peng, Postgraduate, School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China

通信作者:董海,副教授,大连理工大学机械工程学院,116024 辽宁省大连市

Corresponding Author: Dong Hai, Associate Professor, School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China