

文章编号:1009-3087(2014)03-0142-05

切削速度对精车 AISIH13 淬硬钢切削行为的影响

何光春,熊 计

(四川大学 制造科学与工程学院,四川 成都 610065)

摘 要:为了探究淬硬钢的切削加工性能,采用 YW2A 细晶硬质合金刀具精车淬硬 AISIH13 钢,光学照相机、测力仪(YDC-Ⅲ89B)、工具显微镜(XGJ-1)、扫描电镜(JSM5800LV)及便携式粗糙度仪(TR100)用于试验检测,分析了切削速度对切屑形成、切削力、刀具磨损及零件表面粗糙度的影响规律。结果表明,随着切削速度增大,切屑由连续性带状向C型节段演变,切削力、刀具后刀面磨损及工件表面粗糙度值均呈减小趋势;在试验切削速度范围内,前刀面以粘结磨损和氧化、扩散磨损为主,切削温度是主因,而后刀面以疲劳剥落为主,机械应力起主导影响。

关键词:精车;节状切屑;粘结磨损;疲劳剥落

中图分类号:TG711

文献标志码:A

Effect of Cutting Speed on Cutting Behavior During Finish Turning Hardened AISIH13

HE Guangchun, XIONG Ji

(School of Manufacturing Sci. and Eng., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to probe into the machinability of hardened steel, the finish turning of quenched AISIH13 steel was performed with YW2A fine cemented carbide cutters, and OM, Dynamometer (YDC-Ⅲ89B), tool microscope (XGJ-1), scanning electron microscopy (JSM5800LV), and portable roughness tester (TR100) were used to study the effect laws of cutting speed on chip formation, cutting force, tool wear and surface roughness of parts. The results showed that the chip evolves from continuity strip to C type segment, and the cutting force, flank wear and part surface roughness decrease with the increase of cutting speed. The adhesive, oxidation and diffusion wear are dominated in the rake face, the cutting temperature is the main reason, while the fatigue spalling plays a leading role, the mechanical stress is the dominant effect in the range of trial cutting speed.

Key words: finish turning; segmental chip; adhesive wear; fatigue spalling

AISIH13 热作模具钢广泛应用于冲击载荷大的锻造、热挤压、压铸等模具零件,也用于航空、军事等行业的重要构件。AISIH13 钢热处理后硬度高达60HRC左右,传统磨削、电加工容易使零件表面物理、机械性能发生改变,可能产生细微裂纹,而常规切削加工方法将使零件发生较大的热变形,甚至切削无法进行,因此,淬硬钢加工要求刀具具有高硬度、强韧性等综合性能。许多文献报道了淬硬钢的切削加工。黎险峰等^[1]以CBN刀具车削淬硬Cr12MoV的研究表明,高切削速度时,并没有发生绝热剪切作用,切屑呈带状。庞俊忠等^[2]的研究表明,TiAlN涂层整体圆柱立铣刀硬态切削时,切屑锯

齿频率极高,且随切削速度的增大而增大。唐林虎等^[3]采用PCBN刀具精密干车削淬硬Cr12MOV工具钢,发现随切削速度的增大,切削力呈先增大,后减小,再缓慢增大的趋势。牛秋林等^[4]采用PCBN硬态车削GCr15轴承钢时,随切削速度的提高,刀具切削寿命下降20%~40%,且在170~200 m/min下降最快。Chinchanihar等^[5]应用方差分析法,研究了涂层硬质合金刀具硬态车削AISI4340,发现切削速度对刀具磨损影响非常显著,并采用响应面法分析出低进给量和低切削深度时的最佳切削速度范围是144~235 m/min。陈涛等^[6]采用全因素试验方案,利用方差分析法,发现PCBN刀具硬态切削

收稿日期:2013-10-08

基金项目:成都市科技计划资助项目(10GGZD080GX-268;11DXYB096JH-027)

作者简介:何光春(1975—),男,讲师,博士。研究方向:精密加工;检测及其自动化。

http://jsuese.scu.edu.cn

GCr15 轴承钢时的切削速度对表面粗糙度值的影响不大。但是,以非涂层硬质合金刀具切削加工淬硬 AISIH13 的系统研究鲜有报道。YW2A 作为性能优异的(ISO)M 类硬质合金,可用于淬硬 AISIH13 的加工。作者即以 YW2A 作为切削刀具,对淬硬 AISIH13 进行精车加工,研究体现高效切削的切削速度对切屑形成、切削力、刀具磨损及零件表面粗糙度的影响规律,以期对淬硬 AISIH13 切削加工的硬质合金刀具材料设计及机加工工艺改进提供基础参考依据。

1 试验方案

细晶硬质合金刀具 YW2A(T31605F)用于连续精车试验。工件材料为 AISIH13,尺寸为 $\Phi 50\text{ mm} \times 300\text{ mm}$,热处理后硬度为 HRC57。数控车床(CLK6140S)用作加工设备。

对于精车试验,进给量与背吃刀量均处于小值,切削速度作为可控因素,因此,研究即是通过改变切削速度(精车,取 $v_c = 100 \sim 400\text{ m/min}$, $a_p = 0.1\text{ mm}$, $f = 0.09\text{ mm/r}$),研究其对淬硬 AISIH13 精车时刀具切削性能的影响规律。

通过压电式三向切削测力仪-电荷放大器-数据采集卡-计算机-数据采集软件获取切削力。为了数据的准确性,每次切削到“稳定”阶段时,以测力仪(YDC-Ⅲ89B)上的均值为原始数据;采用便携式表面粗糙度仪(TR100)测量零件圆上相等间距的5个位置,作为其均值的初始数据;刀片以丙酮洗净后,采用工具显微镜(XGJ-1)测量后刀面磨损值 VBmax(国标 ISO3685),并以扫描电镜(JSM5800LV)观察其微观形貌,研究其磨损机制。

2 结果分析

2.1 切屑形成

研究表明^[7-8],切屑形态与工件材料固有属性(如:力学和热物理性能)关系密切,硬度高或热物理性能差的材料时则容易形成锯齿形切屑,反之易形成带状切屑。

图1(a)~(f)所示为不同切削速度时的淬硬 AISIH13 切屑形态。随着切削速度的增大,切屑呈现出连续缠绕型切屑-连续卷曲型-不连续卷曲型-C型节段变化。切削速度较低时,金属形变较充分,应变率不高,切屑收缩变形大,其背部节状突出并不明显;而切削速度增大时,材料在大应变、高应变率及高温下发生变形,切屑形态向 C 型节段演化。

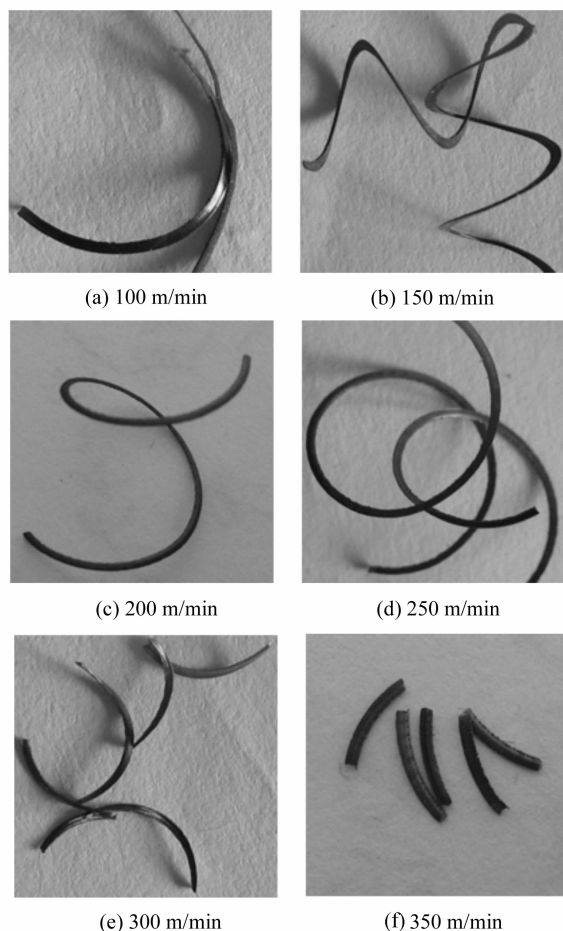


图1 不同切削速度时的淬硬 AISIH13 钢切屑形态

Fig.1 Chip morphology of hardened AISIH13 at different cutting speeds

图2所示为切屑形成示意图。

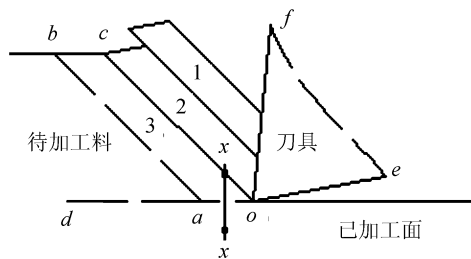


图2 切屑形成示意图

Fig.2 Sketch of chip formation

在刀具前刀面推挤作用下,根据主应力方向与最大剪应力方向呈 45° 原理,沿 oc 面剪切应力逐渐增大,达到材料屈服点,发生塑性变形,因此,图中2所示部分将沿 oc 面滑移, c 点处材料隆起,达到材料断裂强度时,形成如图中1所示的尖角锯齿状。当切削速度提高时,单位时间内切削热呈线性增长,而切削热来源于剪切区、刀-屑接触区以及刀-工件接触区,已有的研究表明^[9],对切削热的贡献率分别为75%、20%及5%,而淬硬 AISIH13 的强度、硬度

高,抗剪切能力强,且其热传导能力较差(导热系数约为 45# 钢的 1/2),在刀具运动方向产生局部高温,使其热软化和屈服,造成局部区域剪切强度降低,在剪切面 oc 上极易发生集中剪切,正因为这样,剪切区域两侧热传导通道“不畅”,已形成节段获取变形材料热传导的热量小,从而切屑上温度分布不均,易产生热应力微裂纹,在切屑重力作用或发生碰撞时,易于沿剪切面折断,形成 C 型或节段型切屑。

2.2 切削力

图 3 所示为 $a_p = 0.1 \text{ mm}$, $f = 0.09 \text{ mm/r}$ 时, YW2A 切削淬硬 AISIH13 的切削力与切削速度变化图。可见,在整个切削速度范围内, $F_c > F_p > F_f$, 且它们均随切削速度提高而缓慢降低。

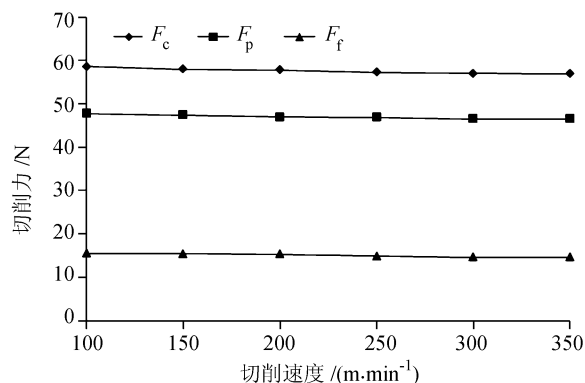


图 3 不同切削速度时的切削力

Fig. 3 Cutting force at different cutting speeds

如第 2.1 节所述,当切削速度增大时,单位时间内所消耗的剪切能高,切削温度高并分布集中,软化的材料使切削变得容易,切削力呈现出平缓减小态势。但是,在未改变背吃刀量和进给量的情况下,剪切区变形量不会发生变化,当提高切削速度时,应变率增大,因此,局部温升速率加快,又会使材料传导能力提高,变形热源分布范围增大,减弱了热软化效应;另一方面,切削速度增大时,因热传导通道被剪切面“隔断”而具有保温作用的节状切屑迅速分离,对待加工区影响甚微,这 2 个方面决定了热软化不会持续加剧,从而,限制了切削力下降的程度。

2.3 刀具磨损

图 4 所示为 YW2A 切削淬硬 AISIH13 时的刀具后刀面磨损与切削速度的趋势图。在试验切削速度范围内,切削速度增大,刀具后刀面磨损值有所降低。从第 2.1、2.2 节可知,切削速度低时,主要形成连续带状切屑,导致刀具压力大、温度高,磨损加剧;切削速度增大时,以节状屑为主,对刀具压力小,温升低,刀具磨损小。

图 5 所示为不同切削速度时的 YW2A 刀具磨

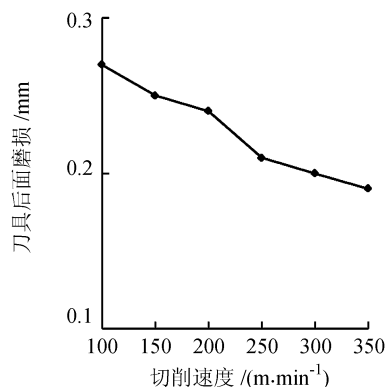


图 4 不同切削速度时的刀具后刀面磨损

Fig. 4 Flank wear at different cutting speeds

损状态。可见,与较高切削速度相比较,低速切削时,刀具主副后刀面均发生了磨损,磨损面积较大。如前述,低速切削时,连续带状切屑对刀具持续压力和传热,使刀-工接触摩擦大,刮擦作用显著。

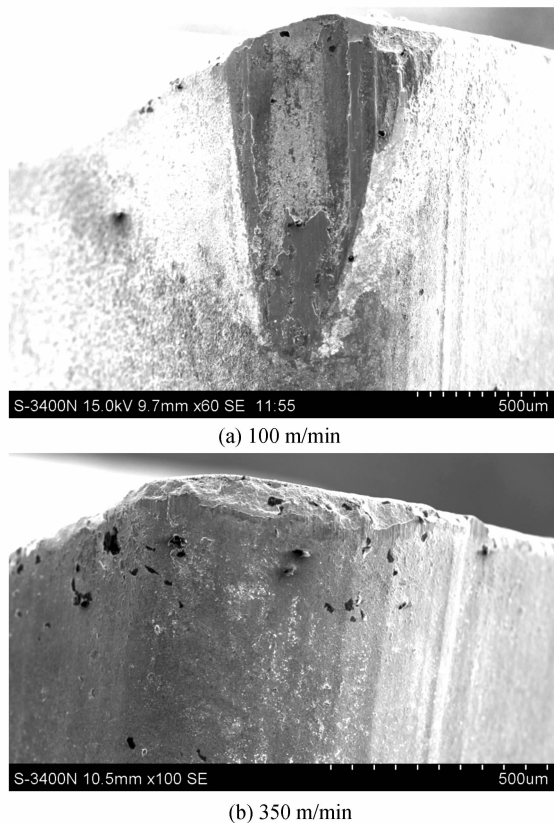


图 5 不同切削速度时的后刀面磨损形貌

Fig. 5 Flank wear morphology at different cutting speeds

不过,进一步研究发现刀具磨损机制变化不大,主要是在试验切削速度范围内,刀具所受压力、温度并没有巨大差异。

图 6 所示为前刀面磨损形貌及 EDS。图 6(a) 中圆圈内为切屑在前刀面上流动时的粘结物,且发生了微崩刃。由此说明高温切屑流使前刀面局部温度升高,产生局部热应力,易于导致热微裂纹,破坏

了硬质合金相界面,粘结相容易被黏结而带走,降低了硬质相承载能力,受压极易折断,被切屑黏结而脱离基体;另外,淬硬钢塑性较差,切屑-刀具接触长度小,切削刃附近区域温升高,容易发生坍塌。从图 6(b)的 EDS 可知,Fe、Cr 和 O 的存在,表明即使元素扩散,又发生氧化反应,而无粘结相 Co,说明破坏了刀具表面组分,降低其硬度和强度,加快了磨损速率。显然,影响前刀面磨损的主要因素是切削温度。

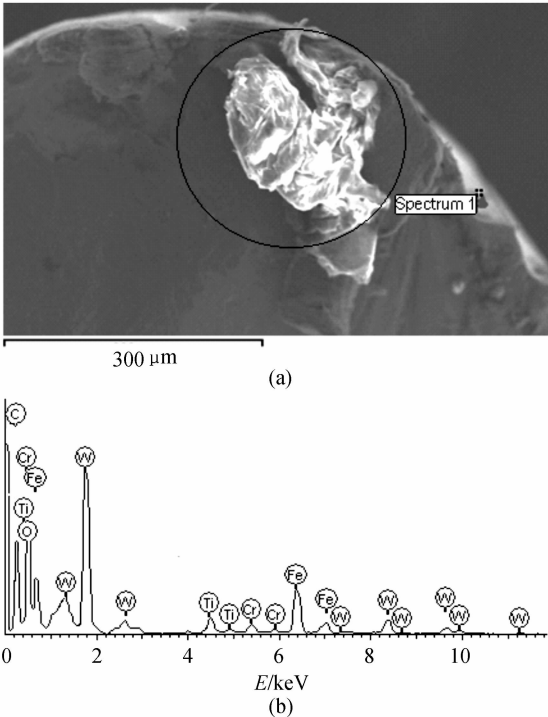


图 6 前刀面磨损形貌和能谱图

Fig.6 Rake wear and EDS

图 7 所示为后刀面磨损状态和能谱图。图 7 (a)所示后刀面磨损面的微观结构可知,在后刀面上出现了显微裂纹(箭头 b 所示)、不规则块状脱落(箭头 a 所示)以及层状断裂(靠近切削刃的圆圈 1 所示)。其主要原因在于,与前刀面-切屑接触副不同,已加工面温度远远低于切屑温度,因此,后刀面-已加工面接触副主要受循环机械应力作用,局部应力集中区域产生不规则显微应力裂纹,连续切削时,裂纹扩展、串联、封闭,受限于压应力大小和方向,这个封闭区域厚度方向上变形程度也不一致,因连续受压而产生疲劳破坏,呈块状脱离母体而造成后刀面磨损。显而易见,离切削刃越近,压力越大,疲劳剥落也就越严重。从图 7(b)可知,存在 Fe、Cr、Mn 等元素,刀具组成含量偏低,表明刀具-已加工面间有物质转移,使刀具后刀面的强度、硬度降低,加剧导致疲劳剥落磨损。另外,无 O 说明后刀面上氧化反应微弱。因此,后刀面磨损的主因是机

械应力。

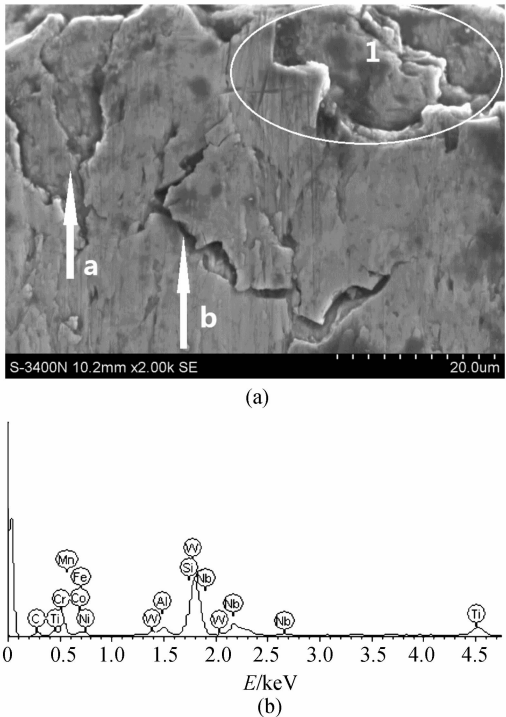


图 7 后刀面磨损形貌和能谱图

Fig.7 Flank wear and EDS

2.4 工件表面粗糙度

图 8 所示为工件表面粗糙度与切削速度关系图。切削速度增大,工件表面粗糙度值呈减小态势。从图 2 可知,切屑形成过程也是工件表面形成过程,待加工料成为切屑与工件沿 x 向分离,假如没有刀具后刀面的挤压作用,将在已加工面上留下材料撕裂的“痕迹”- 凹凸坑状,因此,后刀面实时状态将影响已加工面的最终质量。从第 2.1、2.2、2.3 节可知,切削速度提高,有利于降低切削力和减小后刀面磨损程度,保持后刀面较高光洁度,从而获得较高表面粗糙度。

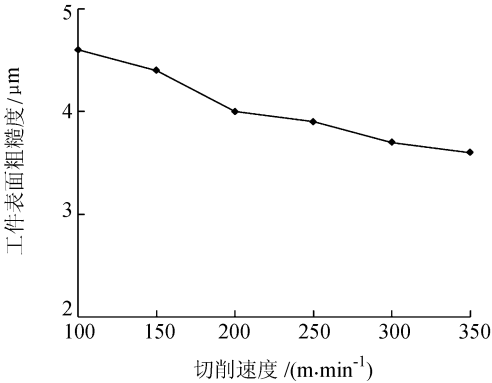


图 8 不同切削速度时的工件表面粗糙度

Fig.8 Part surface roughness at different cutting speeds

3 结 论

在 $V_c = 100 \sim 400 \text{ m/min}$ 的范围内,利用细晶硬质合金 YW2A 精车淬硬 AISI H13,研究了切削速度对切屑形成、切削力、刀具磨损及工件表面粗糙度的影响规律,得出如下结论:

1) 随着切削速度的提高,切屑由连续带状向 C 型节段转变。

2) 随着切削速度的提高,切削力、后刀面磨损及工件表面粗糙度均呈降低趋势。

3) 试验范围内的切削速度对刀具磨损机制影响小,前刀面主要以粘结磨损和氧化、扩散磨损为主,切削温度是其主因;后刀面主要以疲劳剥落为主,机械应力是其主因。

参考文献:

- [1] Li Xianfeng, Dong Hai, Zhang Hongtao, et al. Research on chip formation mechanism in high-speed cutting hardened die steel[J]. Tool Engineering, 2011, 45(3): 28-31. [黎险峰,董海,张弘,等.高速切削淬硬模具钢切屑形成机理的试验研究[J].工具技术,2011,45(3):28-31.]
- [2] Pang Junzhong, Xin Zhijie, Shen Xingquan, et al. Chip formation in high speed milling of hardened mold steel[J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24(14): 1939-1950. [庞俊忠,辛志杰,沈兴全,等.高速铣削淬硬模具钢的切屑变形[J].中国机械工程,2013,24(14):1939-1950.]
- [3] Tang Linhu, Huang Jianlong, Gao Chengxiu. The influences of cutting speeds on cutting forces in finish dry hard turning hardened tool steel[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2011(11): 130-132. [唐林虎,黄建龙,高成

秀. 切削速度对精密干式车削淬硬工具钢切削力的影响[J]. 制造技术与机床, 2011(11): 130-132.]

- [4] Niu Qiulin, Qi Lei, He Duanwei, et al. Experimental study on influence of cutting speed in high speed turning with PCBN tools[J]. Tool Engineering, 2009, 45(5): 41-44. [牛秋林,元磊,贺端威,等.高速车削中切削速度对PCBN刀具性能影响的试验研究[J],工具技术,2009,45(5):41-44.]
- [5] Chincharikar S, Choudhury S K. Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach[J]. Measurement, 2013, 46(4): 1572-1584.
- [6] Chen Tao, Liu Xianli. Surface roughness experiment and prediction in the hard turning of hardened bearing steel GCr15 using PCBN cutting tools[J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(24): 2973-2976. [陈涛,刘献礼. PCBN 刀具硬态切削淬硬轴承钢 GCr15 表面粗糙度试验与预测[J]. 中国机械工程 2007, 18(24): 2973-2976.]
- [7] Davies M A, Chou Y, Evans C J. On the chip morphology, tool wear and cutting mechanics in finish hard turning[J]. Ann CIRP, 1996, 45(1): 77-82.
- [8] Gente A, Hoffmeister H W. Chip formation in machining Ti-6Al-4V at extremely high cutting speeds[J]. CIRP Annals Manufacturing Technology, 2001, 50(1): 49-52.
- [9] Smith E. Break the speed limit[J]. Foreign metal processing, 1995(2): 9-10. [Smith E. 突破速度极限[J]. 国外金属加工, 1995(2): 9-10.]

(编辑 黄小川)