

钢的切屑变形和断裂

吴惠贞 陈子文

(精密机械工程系)

摘要 通过光镜(LM)与扫描、透射电镜(SEM、TEM)研究碳钢在机械加工中,切屑形成过程的变形与断裂特征.单相与多相合金材料的断裂行为有所差别,单相合金仅有一个断裂部位,它位于刀尖处,已加工表面与切屑交界,切屑的形态取决于该断裂行为;多相合金有第二个断裂部位,位于刀屑底部与刀具前刀面交界处,是产生积屑瘤(BUE)的基本条件之一,并影响工件表面加工质量.

关键词 变形,断裂,显微组织

0 前言

金属切削实质上是材料的变形与断裂过程.在这个过程中,切屑的形成倍受关注,它与切削力、切削热、刀具的磨损、已加工表面质量等都有直接关系,对积屑瘤、鳞刺、振动、卷屑和断屑等都有密切影响^[1],成为金属切削研究中最活跃的领域之一^[2,3].

在金属切削加工研究中,有切屑形成过程、刀具材料特性和已加工表面性质这三个方面,强烈地依赖于冶金和材料科学.要揭示切削过程的奥秘,将通过物理冶金、力学冶金和材料科学途径去解决^[4].本文就切削加工时切屑形成过程中,材料发生的变形与断裂加以讨论.

1 试验方法

(1)试验材料:纯铁、10钢、20钢、45钢、40CrMo 钢,经退火或完全球化热处理.(2)试验刀具:用 W18Cr4V 高速钢刀条 $10 \times 10 \times 200 \text{mm}$ 切割成长75mm 刀具,前角 $\gamma_0 = +6^\circ$,后角 $\alpha_0 = 8^\circ$.(3)制取标本:切削试验在 CA6140 改装的无级变速车床进行,用“枪击式快速落刀装置”^[5]制取切屑根部标本.(4)观测设备:光学金相显微镜 Neophot-21 型,扫描电子显微镜 JSM-35CF 型或 AMRAY1000B 型,透射电子显微镜 JEM-2000EX 型.

本文1992-10-05收到.

• 省自然科学基金资助项目.

2 试验结果及讨论

2.1 切屑形态与切屑变形

金属切削是去除工件多余表面层的过程,在这个过程中产生了第Ⅰ变形区,去除的表面层成为切屑,切削时刀/屑位置示意图如图1. 切削过程中形成的切屑,由于断裂特性的不同,剪切变形造成的塑性破坏有三种类型:带状切屑、单元切屑和挤裂切屑. 在第Ⅰ变形区内金属发生稳定的塑性变形,以及在一定部位与前刀面的相互接触,造成带状切屑的形成. 在第Ⅰ变形区内不稳定塑性变形和周期性断裂,形成单元切屑. 挤裂切屑形成是由于某些仅发生轻微应变的区域与某些发生明显剪切应变的区域相间排列的结果.

切削时刀具的运动使工件产生两个新的表面,即已加工工件表面和切屑底层. 吸附在前刀面上的任何原子,都会被与刀具接触的切屑底层的新金属表面带走,切屑底层与前刀面间,距刀刃一定距离,沿前刀面向后产生金属粘结. 图2为40CrMo 钢在刀/屑接触区,因快速落刀时被撕裂的切屑断口 SEM 照片,断口为严重被拉长的变形的纤维结构,断口也说明了刀/屑间的粘结强度高于切屑的断裂强度. 切屑严重塑性变形在显微组织中已很明显,在透射电镜下还可看到微带以及周围的位错分布(图3).

当切削退火碳钢时,第Ⅰ变形区中有两种严重变形后的组织结构,即铁素体和珠光体. 铁素体是软相,变形更加剧烈已成纤维状,珠光体的变形大不如铁素体. 其实片状珠光体是由片状渗碳体分布在铁素体的基体上,当珠光体承受剪切应力下,铁素体变形受到渗碳体阻碍,引起铁素体内运动的位错受阻、聚集和缠结,以致使渗碳体内出现大量微裂纹或碎裂,但在变形不严重的情况下,珠光体内的渗碳体一般只发生协调性转动而很少破碎.

球化状态碳钢在第Ⅰ变形区只看到被拉长的铁素体基体,和在变形基体组织中均匀分布的与未加工前原始组织中具有相同的球状渗碳体. 说明经第Ⅰ剪切区的变形球状渗碳体的形态、尺寸没有什么大的变化. 退火碳钢通过第Ⅰ剪切区的变形,由于剪切作用,钢中显微组织铁素体和珠光体被拉长,变形的珠光体区内渗碳体片依然可辨,极少发现脆性断裂渗碳体片.

高切削速度与温度超过积屑瘤的稳定范围,在刀/屑接触面附近的切屑中就形成第Ⅰ剪切区——滞流层. 在滞流层中金属进一步发生剪切变形,通常珠光体逐渐变薄,在刀/屑接触面处

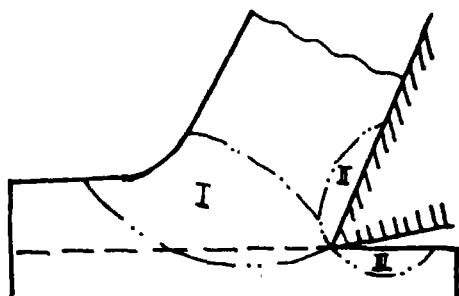


图1 切削时的三个变形区示意图

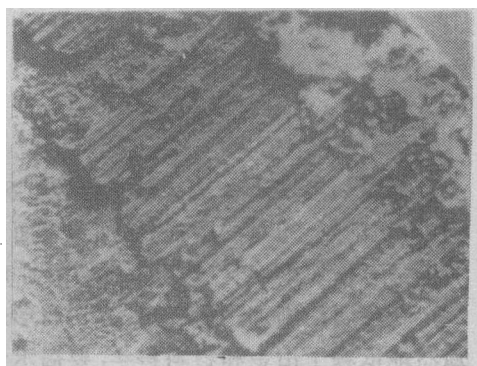


图2 40CrMo 钢切屑断口 SEM 照片

($a_p=0.15\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/r}$,
 $V=30\text{m/min}$, 干切削)

剪切应变达到最大,光学显微镜下已无法辨别这种组织,电镜观察表明第二剪切区的显微结构主要为铁素体晶粒和渗碳体粒子。经测定切削退火中碳钢时刀/屑接触面上的温度已超过850℃,可见滞流层的温度还要高些,这个温度已超过了钢的奥氏体相变温度,此时钢中铁素体已完全奥氏体化,渗碳体会迅速溶解,随后冷却过程中会发生渗碳体球化(相当于球化退火处理)如图4,甚至发生马氏体相变(相当于钢的淬火)。切屑通过第Ⅰ剪切区其显微结构特征是典型冷变形组织状态——形变硬化严重、拉长了的晶粒,而在第Ⅰ剪切区后的金属已发生动态回复、再结晶,甚至发生了奥氏体相变,显微结构完全是热加工后的特征。

2.2 切屑的断裂

根据材料于断裂前的宏观变形量大小,一般分为韧性断裂与脆性断裂。韧性断裂前发生明显的宏观塑性变形,脆性断裂前基本上不发生塑性变形。通常切削钢件,切屑形成及断裂前均伴随着大塑性变形,带状、挤裂和单元切屑的断屑都属于韧性断裂性质。工程上对于材料的韧性断裂,由于断裂前有明显塑性变形,预先能引起人们的警觉,一般不大会造成严重事故,人们对它的研究也不及对脆性断裂研究那样引起重视。韧性断裂的机理比较复杂,电子显微技术的出现,人们做了大量工作,就其本质而言,一般认为韧性断裂由空洞的形核、长大、聚集,最终导致断裂。

加工退火碳钢时,经严重塑性变形后的切屑上有许多空洞(图5),有园形、椭圆形,有的空洞已被拉长,有的空洞连接的结果象一串串糖葫芦状,空洞多产生于铁素体与渗碳体交界处的铁素体一侧,实验证实第二相粒子、相界在空洞形核中起着重要作用。在张应力作用下,刀尖上方的变形金属中的空洞互相合并连接出现了第一条主裂纹,它形成且沿第Ⅰ剪切区扩展,裂纹扩展速度与切屑流动速度之间的相对关系将决定切屑形态。在比较低的切削速度下,从刀刃至前刀面一定距离的切屑底部将会产生另一条主裂纹,裂纹扩展速度不仅与切屑流动速度有关,还和切屑与刀具的粘结有关,切屑连续不断地流过对粘结区的滞流切屑承受附加的剪切力,该部分切屑再次变形且发生颈缩,最后导致撕裂(图6)。裂纹形核和扩展与第二相有很大关系,加工单相合金或纯金属,相近的切削速度下不易出现第二条主裂

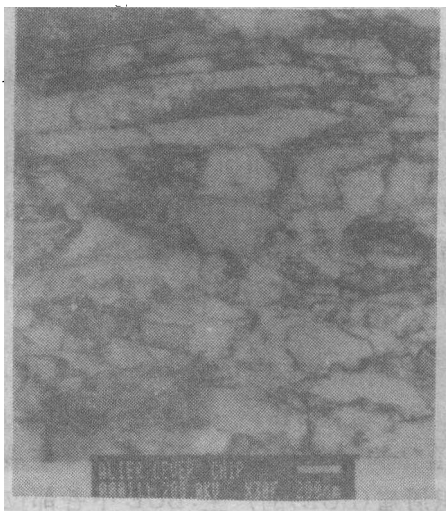


图3 纯铁微带的 TEM 照片



图4 45钢渗碳体球化的 TEM 照片

($a_p=0.15\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/r}$,
 $V=46\text{m/min}$,干切削)

纹,只有双相或多相合金在低速度下产生,它的出现导致积屑瘤的产生。

钢中第二相对韧性断裂影响的研究指出,切削变形中塑性变形的后期由于大量位错在第二相粒子前沿受阻而塞积,导致第二相脱离界面产生微空洞,微空洞的长大也是位错运动的结果,即在裂纹尖端不断增殖位错,它在第二相粒周围或界面塞积,产生空洞连接而扩展。

2.3 积屑瘤的断裂

钢是一多相铁——碳合金,在切削力作用下,合适的切削速度内将产生第二条主裂纹导致积屑瘤(BUE)的产生。BUE中各部位都分布有许多微裂纹,SEM观察结果,裂纹都在渗碳体内基本上垂直于渗碳体片,当然也垂直于纤维流线方向,图7为20钢供应状态BUE中的微裂纹状况。供应状态下的碳钢,由于珠光体的屈服极限高于铁素体,两者塑性也相差较悬殊,外力作用下发生塑性变形时铁素体总比珠光体有更大的变形。然而铁素体与珠光体是彼此紧密结合的完整体,为使变形连续两者总得相互协调,结果,珠光体内的铁素体将会给渗碳体施加拉应力,而渗碳体给予铁素体以压应力。当塑性变形增加时给予渗碳体的拉应力超过断裂极限时即发生脆性断裂。另外,珠光体在协调变形中发生大角度转动,也会使渗碳素体出现脆性断裂,严重者发生破碎。

BUE内裂纹产生后,各自按合适的条件扩展和连接。当达到其临界裂纹长度时,将引起BUE的失稳,BUE产生断裂并被切屑和工件带走;同时BUE内的加工硬化、细晶强化、组织强化和弥散强化,又提高了BUE的强度,增加其稳定性的倾向;温度的产生,达到兰脆温度,一方面提高了BUE的强度,一方面又使其组织塑性降低脆性增加,这些都成为矛盾着的统一体。

如果没有BUE内各种强化因素的作用,而单有BUE中分布的裂纹,特别是其中部产生的平行裂纹,那么这些裂纹必将对BUE的稳定性带来严重威胁,引起BUE的整体不稳定性。当切削继续进行时,伴随着材料塑性变形的同时,在刀具的前刀面上将产生一新的BUE,由于位错运动的受阻以及塑性变形过程中晶粒的转动等,将产生新的裂纹继而扩展和连接,造成

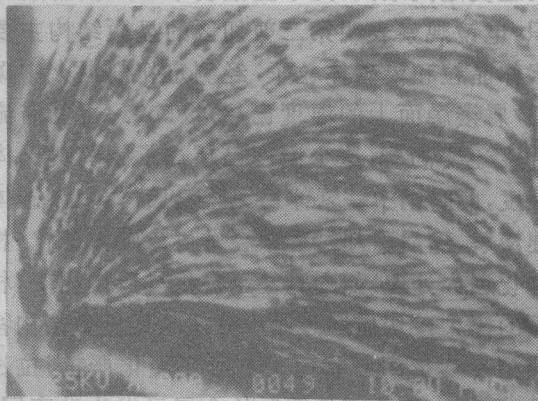


图5 10钢切屑中空洞的SEM照片

($a_p=1.5\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/r}$,

$V=14\text{m/min}$,干切削)

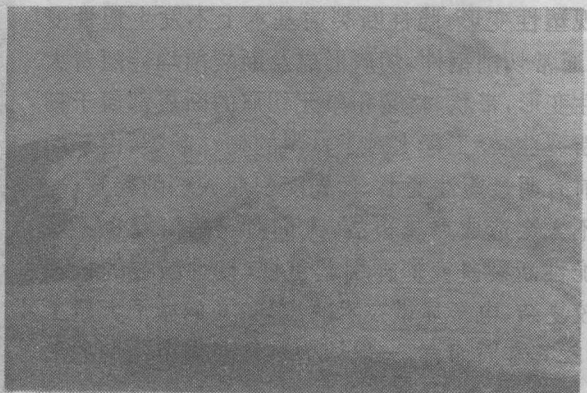


图6 10钢切屑变形产生颈缩

($a_p=1.5\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/r}$,

$V=14\text{m/min}$,干切削)

BUE 的又一次失稳. 如此循环往复, 必将造成 BUE 的随机不稳定性. 但事实上由于 BUE 中各种强化因素的存在, 并且强化作用还相当明显(具有很高的显微硬度值), 因此可以认为, BUE 中裂纹的产生从本质上增加了其不稳定的倾向, 是 BUE 随机失稳的潜在因素, 一旦条件合适它将导致 BUE 的失稳.

3 结论

(1) 金属切削的实质是在刀具作用下材料的变形与断裂过程. (2) 金属切削中有两个部位的主裂纹是不可忽视的. 第一部位主裂纹位于刀尖主要沿第 I 剪切面扩展, 它控制了切屑的形态; 第二部位主裂纹发生在离切削刃一定距离的切屑底部, 该裂纹的扩展速率控制着积屑瘤的形成和稳定性. (3) 单相合金难以形成第二部位的主裂纹, 切削单相合金时不会产生积屑瘤, 加工多相合金将出现第二部位主裂纹. (4) 积屑瘤内的微裂纹削弱了它的强度, 从而也降低其稳定性.

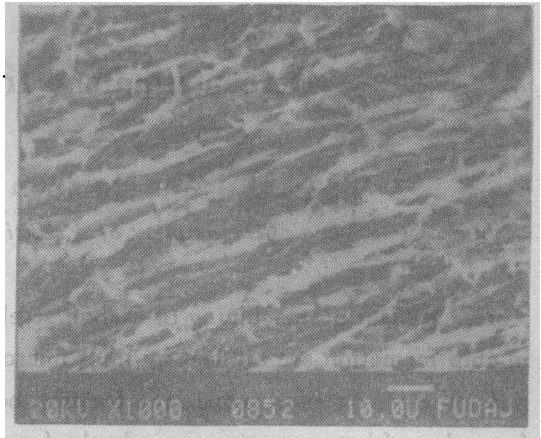


图7 20钢 BUE 中微裂纹的 SEM 照片

($a_p=2.5\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/r}$,
 $v=18\text{m/min}$, 干切削)

参 考 文 献

- [1] 谭美田编著, 金属切削微观研究, 上海科学技术出版社, (1988), 30—31.
- [2] 刘培德、胡荣生等, 中国高校金属切削科研论文集, 机械工业出版社, 4(1991), 44—48.
- [3] 杨治国、毛华仪等, 中国高校金属切削科研论文集, 机械工业出版社, 4(1991), 106—111.
- [4] Turkovich, B. F. V., *Annals of the CIRP*, 2(1983), 154—155.
- [5] 蔡光仁、檀美德等, 华侨大学学报, 3(1988), 341—345.
- [6] Wu Huizhen, Chen Ziwen, *Proceeding of the Joint FEFG/ICF International Conference*, Elsevier Applied Science, London and New York, 8(1991), 139—144.
- [7] Chen Ziwen, Yang Weidong, *Proceeding of 4th IMMC*, Beijing, China, 4(1989), c69—c74.
- [8] Chen Ziwen, Wu Huizhen et al., *Proceeding of the 5th IMMC*, Guangdong, China, 4(1991), A81—A86.

Deformation and fracture of Chip in steel

Wu Huizhen Chen Ziwen

(Department of Precision Mechanical Engineering)

Abstract During machining of carbon steel, the characteristics of deformation and fracture in chip formation are studied by light microscope, scanning electron microscope, and transmission electron microscope. the fracture behaviour of homogeneous alloyed material differs from that of heterogeneous one. In the former, only one separation (fracture) point may occur in the boundary between machined surface and chip at tool tip. The shape of the chip depends on the fracture behaviour. In the latter, an additional separation point may occur in the boundary between chip bottom and rake face. It serves as a basic condition for the formation of built-up edge (BUE) and affects the surface finishing quality of the workpiece.

Key words deformation, fracture, microstructure