

金属切削中切屑的显微组织变化*

陈子文

(精密机械工程系)

摘 要

本文采用爆炸快速落刀法获得切屑标本,对40CrMn钢退火状态下,不同切削速度的切屑,运用扫描电镜和光学显微镜分析了切屑的第一变形区和第二变形区的组织变化,指出了切削速度为 $46\text{M}/\text{min}$ 下,第一变形区的组织已有部分发生回复和再结晶;第二变形区部分组织已发生奥氏体化,随后转变为马氏体,由此可以得出第二变形区同时发生了塑性变形、加工硬化和回复,再结晶,奥氏体化的典型热加工特征。从物理冶金方面来说,是“微区热加工”过程。

前 言

机械工程中切削加工是指切屑的形成的加工过程,即利用楔形工具(刀具)从较大的金属体(被加工材料)切除一薄层金属,使之成为切屑或细屑的加工。在切削刃周围微小的金属体积的变化将会极大地影响刀具的使用性能,被加工材料的加工性和表面加工质量。尽管切削时,刀具与材料间的界面状态大部分都不可能观察到,但金属切削过程中的各种物理现象和化学现象,如切削力、切削热、切屑与刀具界面的金相组织和尺寸变化能间接地反应出切削过程的本质。因此开展对切削过程的物理研究,对指导机械加工,提高产品质量,提高生产率,降低成本都有重大意义,国内外都很重视。

随着科学技术的发展,各个学科的相互渗透,金属切削理论的研究正在逐步深入,并从宏观到微观、从定性向定量、从静态向动态、从单因素向多因素进行综合的研究。

从金属物理的角度而言,金属切削,从刀具接触被加工材料开始到切屑和工件新表面的形成可以说是金属材料的变形与开裂的过程,是金属中位错运动和交互作用的结果。通过对切屑的第一变形区和第二变形区所发生的组织结构变化的研究,对进一步了解切削加工本质将有重要意义。

本文就40CrMn钢退火状态下对两个变形区的金相组织进行了观察分析。

*大部分试验工作在英国伯明翰大学冶金与材料系实验室完成。

本文1985年1月15日收到。

试 验 过 程

试验采用英国 40CrMn 钢 (英国牌号 708M40), 化学成分为: 碳 0.43%, 硅 0.28%, 锰 0.64%, 铬 0.94%, 钼 0.24%, 硫 0.03%, 磷 0.02%。试验用钢尺寸为 $\phi 90 \times 600$ 毫米, 经退火处理。

切削刀具采用含钴高速钢 (M42), 刀具几何参数: 前角 $+5^\circ$, 付后角 6° , 刀刃圆角半径 0.8 毫米。切削参数: 切深 1.5 毫米, 进给量 0.25 毫米/转。衡量切削性标准以 30 秒钟内导致刀具失效的最大切削速度。

为观察两个变形区的组织变化, 采用爆炸快速落刀法来获得切屑标本, 爆炸落刀装置见文献^[1]介绍。切屑标本首先用扫描电子显微镜观察外貌, 然后制备成金相试样, 用光学显微镜和电镜分析。

切削试验在无级调速机床上进行。

试 验 结 果

图版 A1 系切削速度 $V = 15$ 公尺/分切屑的形貌扫描电镜照片。退火状态下 40CrMn 钢, 切削速度 ≤ 15 公尺/分, 前刀面上出现积屑瘤, 快速落刀的瞬时爆炸冲击力大于刀瘤与前刀面间的粘结力使得刀瘤完整地保留在切屑内。将图版 A1 试样垂直于刀瘤切开, 经抛光并用 2% 硝酸酒精浸蚀后, 清晰地显示出刀瘤和第一变形区组织状况 (图版 A2)。在第一变形区, 等轴的原始铁素体和珠光体都发生了强烈地塑性变形后成带状分布, 金属在剪切面上变形率为 2.27, 其中铁素体的变形程度 (白亮带) 大于珠光体带 (黑色带), 在第一变形区内仍然能分辨出两种组织。但刀瘤上在低放大倍率下已无法区分两种组织。均已成纤维状, 图版 A3 为刀瘤左上方的组织, 从图中看到铁素体和珠光体沿刀瘤顶部发生转动的情形, 接近于刀瘤部分, 铁素体内有细小等轴晶, 说明该处变形铁素体已发生部分再结晶。

图版 A4 是切削速度为 46 公尺/分的切屑纵剖面金相组织图。快速落刀获得的切屑在第一剪切区珠光体和铁素体均发生严重塑性变形, 变形率 3.67, 剪切角 16.5° , 变形方向与剪切面间相差一小角度, 无刀瘤存在。金属在第二变形区再度塑性变形, 成为纤维状组织。

图版 A5 为刀刃附近第二变形区滞流层组织的高倍放大。分析滞流层显微组织有以下几点:

1) 滞流层的上方, 珠光体和铁素体变形带之间仍然清晰可分, 下部即接近于前刀面, 两个组织之间已分不清, 仅看到纤维组织的痕迹, 说明滞流层内变形的不均匀性, 变形率按偏离力/屑接触面距离愈大变形愈小。

2) 经过第一变形区, 珠光体团发生变形, 其中碳化物仍然保持片状, 未发现碎裂现象。通过第二变形区后, 碳化物脆性相已破裂成不规则形状, 带状排列平行于前刀面, 以适应铁素体 (塑性相) 高度变形。滞流层底部, 特别是在白亮层 (参看图版 A4) 内碳化物已成为球状。尺寸变小, 数量减少, 均匀地分布在基体上。珠光体内的片状碳化物已向小、

少、匀、圆方向的变化,说明滞流层内的变形金属发生了相变、回复、再结晶和奥氏体化。碳化物的溶解,以及随后冷却中在滞流层底部已发生马氏体转变。

3) 滞流层内的硬度值,上部 350~400Hv 紧靠前刀面的白亮层马氏体内的显微硬度高于 600Hv。

图版 A6 和图 1 是切削速度 46 公尺/分的高速钢刀垂直于切削刃截面的低倍组织图和温度分布,根据金相组织变化标定前刀面及其下表面的温度分布^[2,3]。该切削速度下,前刀面已发生月牙洼磨损,磨损量约 0.1 毫米,整个月牙洼表面的温度已超过 850℃,刀具的最高温度在月牙洼处,离刀尖约 0.2 毫米。从刀/屑接触面的温度,也证实了流变层底部已超过材料的奥氏体化相变临界温度。

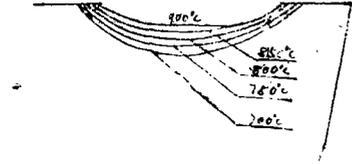


图 1 切削速度 46 公尺/分时的温度分布状况

讨 论

作用于剪切面和滞流层中的剪切应力超过了该处的金属临界抗切屈服强度下,材料将发生塑性变形、形变硬化,致使金属内部组织结构和性能发生变化。受切削热的影响又会发生回复、再结晶等现象,金属的变形、硬化,软化过程(再结晶后消除加工硬化)是位错运动和交互作用结果。试验证明,金属切削中,切屑的形成也应遵循塑性变形的规律。

金属切削中,能量主要消耗在两个变形区,使工件材料通过塑性变形形成切屑,以及切屑流过刀/屑接触面。而贮存的弹性变形能很小,估计不会超过所消耗总功的 1%^[4]。其余的 99% 即转化为热而传递到切屑、刀具和工件,引起温度上升。当切屑脱离了与刀具接触,大部分热量又被切屑带出切削区,由于任一个小单元的金属材料自形成切屑并脱离与刀具接触的时间极短促,一般仅为几毫秒,只有很少部分热量传入工件表面,消耗在剪切面上的能量通常占总切削能量的 75~80%^[5],所以切削钢材这类高熔点金属时,切屑往往会达到很高的温度,于是在剪切面附近的一部分变形金属会发生动态回复和再结晶现象,不同程度的消除形变硬化,于是在铁素体区内出现了细小的等轴状铁素体晶粒。

在第二变形区的滞流层内,金属再度发生剪切变形,其应变率极高,达到 10^4 — 10^5 ,应变量也极大,形成与原始组织形貌完全不同的纤维组织。热效应大,从刀/屑接触面的温度可以估计到滞流层的温度已超过 850℃,已高于 40C.M. 钢奥氏体转变临界温度。近接触面的滞流层将发生奥氏体化。当切屑脱离与前刀面接触后迅速冷却,奥氏体将发生冷却转变:转变产物可能是马氏体、贝氏体或珠光体,依冷却条件和材料化学成分而定,金相检查表明,切削速度为 46 公尺/分在滞流层白亮带是马氏体组织。这种现象在其他热处理状态也已发现^[5]。滞流层内碳化物质点向小、少、匀、圆方面变化,反应了碳化物向奥氏体内溶解程度,也说明了冷却速度抑制碳化物的析出程度。透射电镜也证实了上述结果^[6-8]。

综上所述,在滞流层内,特别是原珠光体区或碳化物周围的高碳区事实上已发生奥氏体化,一部分碳化物溶解,随后冷却中奥氏体转变为马氏体,或其他扩散型转变产物。

从金属学角度而言,金属的冷热加工的界限是再结晶温度,低于再结晶温度下金属产生

塑性变形和形变硬化现象后难以发生回复再结晶的称冷加工；再结晶温度以上进行塑性变形及随后的形变硬化的金属将自发地发生回复再结晶，称为热加工。金属切削中滞流层的温度已远高于该材料的再结晶温度，在高温下该层组织将会发生塑性变形——形变硬化——回复再结晶同时并存的现象，甚至于是重结晶的相变过程。某种意义上说金属切削是“微区热加工过程”。

图版A



图1 扫描电镜下积屑瘤底面(×40) 图2 积屑瘤的垂直截面显微组织(×80)2%硝酸酒精浸蚀
 图3 积屑瘤左上角(图2)显微组织(×800) 图4 切削速度为46公尺/分的切屑组织(×40)
 图5 滞流层显微组织(×800) 图6 切削速度46公尺/分的高速钢刀具截面组织

结 论

1. 金属切削加工中, 金属在剪切面附近的第一变形区发生塑性变形、加工硬化, 高速切削下切屑温度比较高, 该区已加工硬化的金属有不同程度地有动态回复再结晶现象。
2. 在第二变形区的滞流层切屑再次塑性变形, 强烈地加工硬化, 滞流层温度很高, 形变的金属将被软化, 有时会发生奥氏体化, 切屑冷却后, 过冷奥氏体发生马氏体转变或扩散型转变产物。
3. 分析两个变形区的组织变化, 可以将金属切削过程看作“微区热加工”来理解。

参 考 文 献

- [1] Willams J. E., Smart E. F. and Milner D. R., *Metallurgia*, 81, 6, (1970).
- [2] Chen Z. W., Special Report, University of Birmingham, (1984).
- [3] Wright P. K. and Trent E. M., *Jisl* 211, 364 (1973).
- [4] Trent E. M., *Metal Cutting, Second Edition*, Butterworths, (1984).
- [5] Chen Z. W., Trent E. M. and Wise M. L. H., Special Report University of Birmingham, (1984).
- [6] Hau-Bracamonte J.L. and Wise M. L. H., *Metallurgical TransactionsA*, 14A, Aug, (1983).
- [7] Shelbourn A., Phd Thesis, University of Birmingham, (1983).
- [8] Opitz H. and Gappish M., *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* 2, 43, (1962).
- [9] Scott. D., Thirteenth Seminar on Industrial Tribology, University College of Swansea, (1979).

Structural Changes in Chip During Metal Cutting

Chen Ziwen

Abstract

The structural changes of the primary shear zone and the second shear zone in chip using "Quick-stop" technique were investigated by scanning electron microscope and optical microscope in 40CrM₀ steel annealed at various cutting speed. It was found that some of the structures took place recovery and recrystallization in primary shear zone and austenitization was produced in flow zone. However, plastic deformation, work-hardening, recovery, recrystallization and austenitization at some case were carried out in second shear [zone during the cutting is a process of hot-working in a micro-area in view of physical metallurgy.