

# 积屑瘤的稳定性与显微裂纹

陈子文 杨卫东

(精密机械工程系)

**摘要** 利用光学和电子显微镜对20钢在两种切削参数下,形成的积屑瘤的金相显微组织与结构进行了观察。结果表明:积屑瘤具有纤维状结构、积屑瘤中各部位的形变率不同;某些部位有碳的偏聚现象,其组织类似于珠光体结构;对积屑瘤的受力状态及其各部位的形变率的差异进行了讨论。大量裂纹的存在,削弱了积屑瘤的强度,是引起积屑瘤不稳定性的因素之一。

**关键词** 积屑瘤,稳定性,显微组织,裂纹

## 0 引言

在某一速度范围内切削钢、铁及铝合金等材料时,在刀面上常常形成一硬度很高的楔形块,以代替刀具切削,人们称此楔块为积屑瘤(built-up edge,下称BUE)。BUE的产生对加工过程具有较大的影响。一方面,它可以保护刀具,减少刀具的磨损,以及增加前角,降低切削力;另一方面,由于BUE前端伸出刀刃之外,增加了一个额外切削厚度,在精加工过程中影响了零件的尺寸精度,并使加工表面产生犁沟等,增加了表面的粗糙度。因此,如何利用或防止BUE的产生,这对理论和实际都有着重要的意义。

自Haussner<sup>[1]</sup>于1890年发现BUE以来的将近一个世纪内,人们对其作了大量具体、深入的研究和探讨,已取得了相当的成就。尽管意见还不统一,但这些理论已对生产实践和对金属切削理论的深入研究起着积极和直接的指导作用。然而,致力于BUE研究的国内外学者,大多从刀具几何形状,切削参数等方面进行研究,其目的在于对BUE进行控制;从材料成分、组织结构方面对BUE的研究,并没有给人留下深刻的印象。本文试图从材料科学的角度,对BUE的组织结构作一些探讨。

## 1 实验方案

实验所用的工件材料为20钢无缝钢管(供应状态)。外径 $\phi 25\text{mm}$ ,壁厚 $2.5\text{mm}$ ,基体金相组织如图版I—1。选用W18Cr4V高速钢刀具: $\gamma_0 = 6^\circ$ ,  $a_0 = 6^\circ$ ,  $\lambda_s = 0$ ,切削用量及样品号如表1所示。

本文1990—05—23收到。

表 1 切削用量及样品号

样品号	切 削 用 量		电镜观察手段
	速度 ( m/min )	进给量 ( mm/r )	
No. 1	18.0	0.41	SEM
No. 2	18.0	0.10	TEM ( 复型 )

加工时采用纵向进给自由车削钢管端面的方法，在给定切削用量条件下切削10s以上，采用自制枪击式爆炸落刀装置快速落刀<sup>[2]</sup>，得到BUE试样。

2 实验结果

J. Wallbank<sup>[3]</sup>按形变率及性质的不同，将BUE及周围划分成第Ⅰ剪切区、第Ⅱ剪切区和BUE本体Ⅲ三部分。为了能更加形象地说明BUE各部分的结构形貌，可将BUE划分为顶部、中部、底部、尾部及刀尖部（见图1）。

利用LM对在同样切削参数下得到的几个BUE金相磨片进行观察（见图版Ⅰ—2），结果表明，尽管彼此之间大小、形状并不完全相同，但都为鼻形BUE，高 $H=300\mu\text{m}$ ，长 $L=400\mu\text{m}$ ，过切削量 $\varphi=100\mu\text{m}$ ，BUE中组织（白色部分为铁素体，黑色为珠光体）变形严重，几乎完全呈纤维状，且弯曲成一定的曲率，其形变率明显比切屑中大得多。

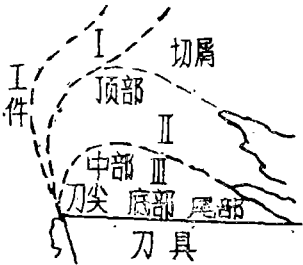


图 1 BUE各部位划分示意图

在BUE内部，中部的变形率又要比顶和底部稍大。仔细观察，在BUE底部（标头C处）有几条裂纹向上延伸，长约 $175\mu\text{m}$ 左右，在BUE顶部也有一裂纹（标头D处），BUE顶部在此断裂而脱落，并被切屑带走，成为类似于图中所示的鳞刺附着在切屑的底部。图版Ⅰ—3是BUE顶部的SEM形貌。可以看到组织基本上都呈纤维状，类似于大变形的轧制和拉伸组织。图中白色部分是共析渗碳体和三次渗碳体，黑色部分是被腐蚀的铁素体，白色组织中分布着较多的裂纹，裂纹间的距离即断裂部分的长度约为 $5\text{—}20\mu\text{m}$ 。在BUE的中部也存在着大量裂纹（见图版Ⅰ—4a，图版Ⅰ—4b是Ⅰ—4a的放大照片），组织破碎较顶部严重，断裂部分的长度约为 $3\text{—}15\mu\text{m}$ 左右，裂纹与纤维方向近似垂直，仔细观察发现它们互相平行，近似与前刀面成 $45^\circ$ 角。

为了更好地反映BUE底部的形貌，可以对与前刀面相接触的BUE的底面进行扫描分析，如图版Ⅱ—1所示，图中珠光体变形率很小，有的近似为等轴状晶粒。刀尖部位的结构如图版Ⅱ—2，很明显这部位的变形率比顶部大，纤维组织更加细长，与中部差不多，但裂

纹多于顶部,比中部少。图版Ⅱ—3是BUE尾部的结构,可以看出尾部的变形率比底部大,比其它各部位都小,图中也有不少裂纹,断裂部分的长度皆在 $10\mu\text{m}$ 以上,厚度为 $5\mu\text{m}$ 左右,裂纹基本上都贯穿于整个珠光体束。

将试样制成Pt/C二级复型,利用TEM进行观察,可以更清晰地发现BUE中碳化物的微观形貌。图版Ⅱ—4是BUE顶部的结构,可以清楚地看到碳化物都已转至大致平行的与变形方向一致的纤维状结构,铁素体晶粒被拉长,碳化物仅发生轻微的破碎。BUE中部的碳化物破碎较为严重,破碎的碳化物最短的仅有 $0.3\mu\text{m}$ ,与碳化物的宽度相当(见图版Ⅱ—5)。刀尖部位的碳化物破碎情况与中部差不多,底部的碳化物破碎情况比其它各部位均小得多,变形率很小,碳化物仅发生轻微的破碎现象。

### 3 讨论

#### 3.1 BUE中的组织结构

通过对BUE复型照片的观察分析,出现在BUE的中部以上及刀尖部位的组织为铁素体与破碎碳化物的片状结构,碳化物片间的铁素体大体一致,已较难分辨是先共析铁素体或是共析铁素体。这种组织特征类似于珠光体的结构<sup>[4]</sup>。这主要是由于在切削加工中,BUE处于复杂的服役条件和发生了很大的应变,使工件中的先共析铁素体受到挤压后向BUE顶部两侧(图版Ⅰ—2, A、B处)流动,造成了BUE顶部两侧大量的铁素体聚集区(图版Ⅱ—6),从而形成了类似于珠光体结构的组织。

#### 3.2 BUE中形变率的差异与受力状态的关系

金属与合金经变形后,硬而脆的第二相将会产生转动并破碎,形变率越大,第二相破碎越严重。分析SEM照片中组织的变形及二级复型照片中碳化物的破碎程度,发现BUE的中部形变率最大,顶部次之,底部最小,尾部介于中部与底部之间,刀尖部位形变率与中部相当。

众所周知,形变率的大小与该处应力状态有关,BUE中各部位的形变率的不同,说明在切削过程中BUE各部位所受的应力是不一样的。在切削力的作用下,BUE受到压缩,如果没有接触面的摩擦力的影响(认为材料性能均匀),则BUE将产生均匀变形。但在BUE与刀具前刀面的接触区,由于冷焊的结果,具有很大的摩擦阻力(粘合力),阻碍接触表面金属的流动,故在BUE下部受到一对相向的摩擦力 $F$ 。在BUE顶部,工件材料也会阻碍BUE头部的增宽,即也存在着一对相向的摩擦力,这种情况用类似于圆坯的锻压模型来分析<sup>[5]</sup>,不同的是由于BUE顶部与工件材料没有明显的分界面。

#### 3.3 积屑瘤中裂纹的产生及碳化物的破碎

在对20钢供应状态产生的BUE进行SEM观察时,发现BUE中各部位均分布着许多微小裂纹,而且裂纹基本上都垂直于纤维流线方向,可见碳化物发生脆性正断。

根据位错理论,一个物体的断裂,其过程均包括裂纹的形成和扩展过程。按照Storh和Smith模型,在切应力作用下,位错沿着晶体某些有利的晶面运动,金属发生了塑性变形,当位错运动前方遇到晶界或第二相而受到阻塞,当位错塞积到一定程度后,前端的一定数量

的位错将会形成一个具有 $n\delta$ 柏氏矢量的大位错,其周围的弹性应力场的正应力导致材料发生断裂。20钢被切削时经受了大塑性变形过程,钢中的片状渗碳体将成为铁素体内位错继续运动的障碍物。不难理解,珠光体内的铁素体与渗碳体的相界面是位错塞积的主要地区,当该处的位错密度和亚晶数量很大时,应力集中将导致渗碳体中微裂纹的产生。

塑性变形过程中也会产生裂纹,由于珠光体的屈服强度高于铁素体,两者塑性也相差很大。在外力作用下发生塑性变形时,屈服强度低的铁素体比屈服强度高的珠光体产生更大的变形。若铁素体晶粒与珠光体之间无相互约束时,其变形后的位置应如图2(b)中虚线所示,然而铁素体晶粒和珠光体是彼此紧密结合的完整体,为了保持两者的连续性,铁素体晶粒将会给珠光体施加拉力来增加珠光体的延伸,而珠光体总是给铁素晶粒施加压力来减少其延伸,相互作用的结果,使铁素与珠光体都沿外力方向拉长而成为具有纤维状结构的BUE组织。但由于铁素体和珠光体相互牵制的结果,将造成铁素体晶粒内产生附加压应力,珠光体内产生附加拉应力(图2b)。当塑性变形增加时,珠光体内的附加拉应力超过珠光体的强度极限时,将导致珠光体的脆性正断。同样在珠光体团内,铁素体和渗碳体的相互牵制,也将在碳化物内产生附加拉应力,造成碳化物的脆性正断。

另外在塑性变形过程中,珠光体团的一对力偶的作用下产生转动时,珠光体团中低抗弯性能的层片状铁素体和碳化物将难以适应这种大角度的转动,也将产生裂纹或破碎。

BUE中部平行裂纹由SEM观察时发现,20钢BUE的中部有相当明显的、大致与前刀面成 $45^\circ$ 角的平行裂纹,长约 $170\mu\text{m}$ ,数量有5-6条之多,这些平行裂纹的产生与BUE形成时的塑变过程有关<sup>[5]</sup>。

当BUE中塑性变形进一步提高,或工件材料的塑性降低时,在上述因素的作用下,裂纹的数量将进一步增加。如果BUE内由各种强化因素对BUE的强化作用大于裂纹对BUE的弱化作用,那么裂纹数量的增加最终将导致碳化物也完全破碎,对45钢正火,退火和T8钢退火所产生的BUE进行SEM和TEM观察也有同样的结果。

### 3.4 裂纹与BUE的不稳定性

BUE中存在大量的裂纹,必然会影响BUE的机械性能。因为裂纹产生以后,在应力的进一步作用下裂纹扩展,直到BUE不能继续稳定地存在,BUE消失。在后继的切削下,又产生新的BUE,在BUE中又产生同样的裂纹及裂纹的扩展,BUE再次消失。如此循环往复,形成了BUE的随机不稳定性。

## 4 结论

- 1) BUE具有纤维状组织结构,这与多晶体的变形特点有关。
- 2) BUE中各部位的形变率不同,中部最大,底部最小,顶部小于中部,刀尖部位与中部相当,尾部略大于底部。

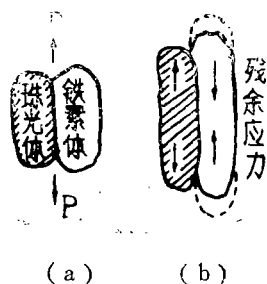


图2 珠光体和铁素体的变形前后示意图

3) BUE的中顶部及刀尖处组织类似于珠光体结构, 共析铁素体受挤后向BUE顶部两侧流动。

4) BUE中大量的裂纹削弱了BUE的强度, 是BUE不稳定的重要因素。

### 参 考 文 献

- [1] Haussner, A., *Mitteilungen des Technische Gewerbe Museums in Wien*, 2, (1892).
- [2] 蔡光仁、檀美德、陈子文, 枪击式快速落刀装置的研究, 华侨大学学报 (自然科学版), 9, 3 (1988).
- [3] Wallbank, J., Structure of Built-up edge formed in Metal Cutting, *Metals Technology*, 4 (1979).
- [4] Trent, E.M., *Metal Cutting*, Butterworths, Second Edition, (1984).
- [5] Chen, Z.W. (陈子文), Yang, W.D. (杨卫东), The Microcracks and Microstructure in Built-up Edge, *The proceeding of 4th IMCC*, 1, (1989), C69.

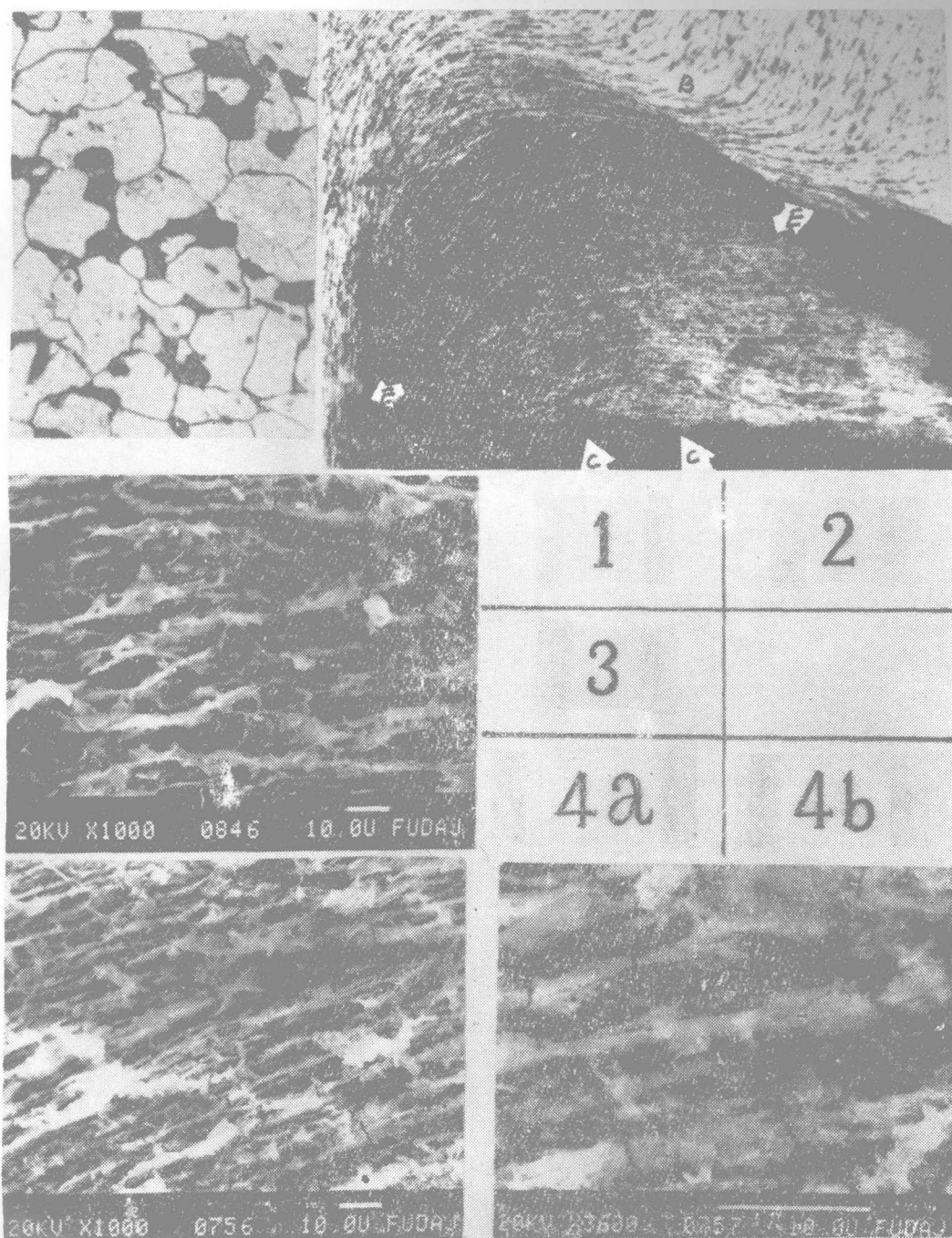
## The Stability of Built-up Edge (BUE) and Its Microcracks

Chen Zijwen Yang Weidong

(Department of Precision Mechanical Engineering)

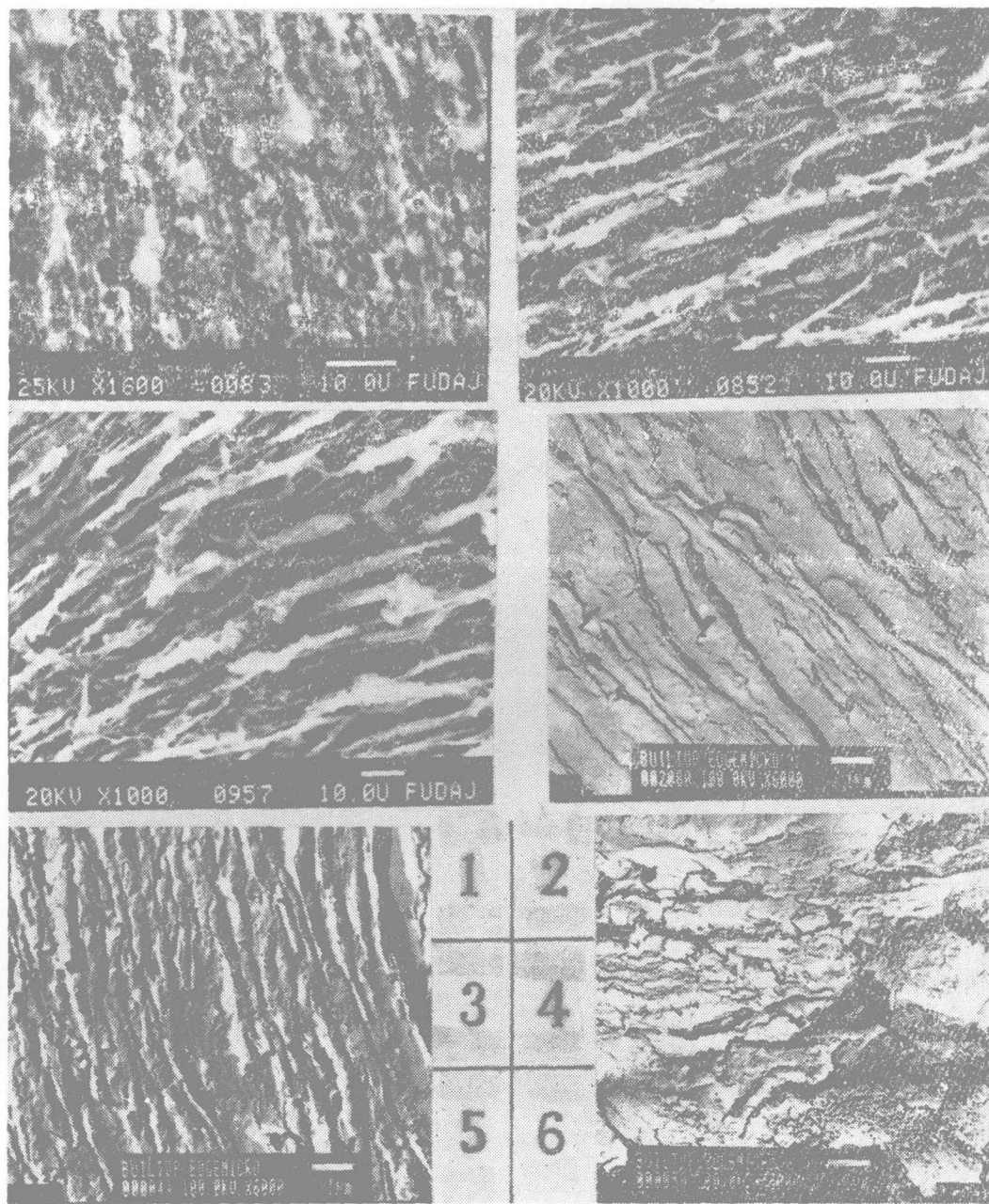
**Abstract** By means of optical and electron microscopy, an examination is carried out on the metallurgical microstructure of a built up edge (BUE) which is formed in the 0.2% C steel with two kinds of cutting parameters. The BUE so formed is of a fibrous structure, with quite different deformation rate in its different parts. Some parts of the BUE have a biasing aggregation of carbon and show a structure similar to that of pearlite. The discussion centres on the relation between the stress distribution of different parts of BUE and its deformation difference. Lots of microcracks are bound to weaken the strength of the BUE and so become one of the factors of its unstability.

**Key words** built-up edges, stability, micro-structure, cracks



图版 I 说明

1. 20钢原始组织 800x;
2. 20钢供应状态的 BUE LM 形貌 200x;
3. BUE 顶部形貌;
4. BUE 中部形貌 4a—1000x; 4b—3600x;



图版 II 说明

1. BUE 底部形貌;
2. BUE 刀尖部位形貌;
3. BUE 尾部形貌;
4. BUE 顶部碳化物;
5. BUE 中部碳化物;
6. 图版 I—2 A处铁素体富集区。