

⑦ 809-812

冲击接触载荷下 45 钢的微观塑性变形特征与损伤 *

许云华^{1,2)} 熊建龙²⁾ 武红²⁾ 陈渝眉¹⁾ 朱金华¹⁾

1) 西安交通大学材料强度国家重点实验室, 西安 710049

2) 西安建筑科技大学耐磨材料研究所, 西安 710055

T4142.31

摘 要 选取退火 45 钢为研究对象, 考察冲击接触载荷下亚表层微观形变特征与损伤。结果表明, 冲击接触载荷下, 铁素体的变形以多滑移为特征; 滑移在晶界受阻产生应力集中并产生力偶使晶粒发生相对转动, 从而在晶界产生裂纹; 亚晶界和亚晶粒的形成是不同区域的不同滑移系统的交互作用的结果。

关键词 冲击接触载荷, 微观形变特征, 损伤

45 钢

中图法分类号 TG113.255

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2000)08-0809-04

CHARACTERISTICS OF MICRO-DEFORMATION AND DAMAGE OF MILD CARBON STEEL UNDER IMPACT CONTACT LOAD

XU Yunhua^{1,2)}, XIONG Jianlong²⁾, WU Hong²⁾, CHEN Yumei¹⁾, ZHU Jinhua¹⁾

1) State Key Laboratory of Material Strength, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049

2) Institute of Wear Resistance Material, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055

Correspondent: XU Yunhua, Tel: 013709182200, Fax: (029)5524483, E-mail: JDZXL@yeah.net

Manuscript received 1999-11-03, in revised form 2000-04-19

ABSTRACT An examination of characteristics of micro-deformation and damage of mild carbon steel was conducted under impact contact load by SEM. The following results were obtained: (1) The characteristics of ferrite deformation under impact contact load is multi-slip; (2) Grain rotation which produces crack on the grain boundary was caused by force couple because slip is obstructed and stress concentrated on the grain boundary; (3) Sub-grain boundaries and sub-grains are the result of intersecting of different slip systems in different area within a ferrite grain.

KEY WORDS impact load, micro-characteristics of deformation, damage.

冲击载荷下材料微观形变特征和损伤都表现出与常规疲劳载荷下有很大的差别。微观塑性变形特征在金属材料疲劳过程中起重要作用^[1], 而冲击接触载荷下微观塑性变形特征必然影响材料的损伤^[2,3]。文献 [4,5] 研究了冲击疲劳载荷下金属材料循环形变行为宏观规律。Zhang 等^[6] 对冲击疲劳循环形变阶段的铁素体表面晶粒晶界行为进行了一些研究。但冲击接触载荷下, 亚表层组织的微观形变特征与损伤尚无研究。本文以退火 45 钢为对象, 考察了上述有关问题。

1 实验方法

实验材料为 45 钢, 试样经 920 °C 真空退火 1 h, 得

到铁素体 + 珠光体组织, 铁素体的晶粒尺寸约为 12—15 μm, 原始组织如图 1 所示。

冲击磨损试验在 JD-125 磨损试验机上进行。冲击接触力由传感器和一套数据采集系统精确测量和计算, 冲击力为 31.79 kN, 上下试样的冲击接触角 α 为 90°, 冲击次数为 4×10⁴ 次, 冲击频率为 600 次/min。冲击接触磨损试验机与试样尺寸见文献 [7]。冲击接触载荷下, 亚表层组织可分为三个区^[8]: 细化区 (包括白层和超细化层)、塑性变形区和原始组织区。为了观察塑性变形特征与损伤, 本研究选择观察的区域在亚表层塑性变形区内 (本实验条件下塑性变形区在离冲击接触表面的深度约在 13—35 μm 范围内)。亚表层组织采用 S-2700 扫描电镜观察。

2 实验结果

2.1 铁素体晶粒的变形特征

如图 2 所示, 在冲击接触载荷下, 亚表层铁素体晶粒

* 国家自然科学基金资助项目 59771048

收到初稿日期: 1999-11-03, 收到修改稿日期: 2000-04-19

作者简介: 许云华, 男, 1963 年生, 副教授, 博士生

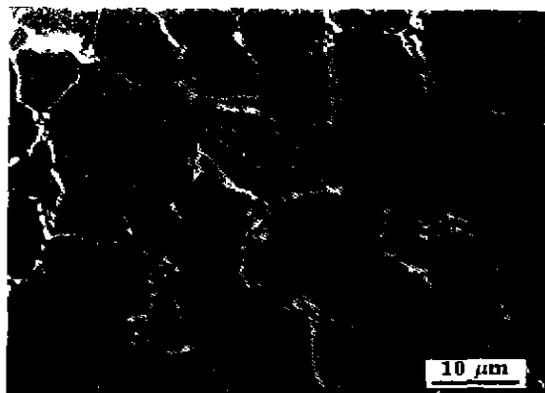


图1 试样的原始组织图

Fig.1 Microstructure of the original specimen

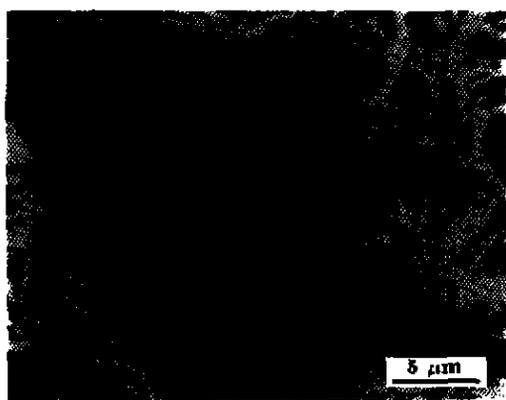


图2 铁素体变形特征

Fig.2 Deformation characteristic of ferrite

内出现高密度细小块状形貌。

2.2 晶粒间的转动

图3中铁素体晶粒A的塑性变形在晶界上呈现出的滑移痕迹(滑移线)主要是沿着周界 η 方向(见图3b),由此可推断铁素体晶粒A在冲击过程中与相邻晶粒间发生了相对转动。由于A晶粒的转动,晶粒间产生了裂纹(见图3c)。

2.3 亚晶界

冲击接触载荷下,铁素体晶粒中产生了亚晶界(见图4b中的SB)和亚晶粒(见图4a和b);变形较为严重的区域出现多个亚晶界和亚晶粒(见图4c, d和e)。

3 讨论

3.1 铁素体晶粒的多滑移特征

图2中铁素体晶粒呈现的高密度细小块状形貌是多滑移交叉交割的结果。冲击接触载荷下,铁素体晶粒产生了多滑移的主要原因如下:

(1) 体心立方结构中, 3个 $\{110\}$ 面、3个 $\{112\}$ 面、6个 $\{123\}$ 面分别和1个 $\langle 111 \rangle$ 方向相交, 滑移面较多;

(2) 冲击接触载荷下, 晶粒易发生相对转动和相对移动, 使各个滑移面的受力取向因子 $\cos\phi\cos\lambda$ 不断变化。

单滑移、多滑移、塑性变形程度大小会对变形后的组织形貌产生影响。当铁素体晶粒发生单滑移时, 塑性变形痕迹呈现长波浪条形的形貌(见图5a中的凸台条a和凹槽条b); 铁素体晶粒发生多滑移时(图5b为两个滑移系统相交相割的模拟结果), 变形形态就呈现出凹凸块状(见

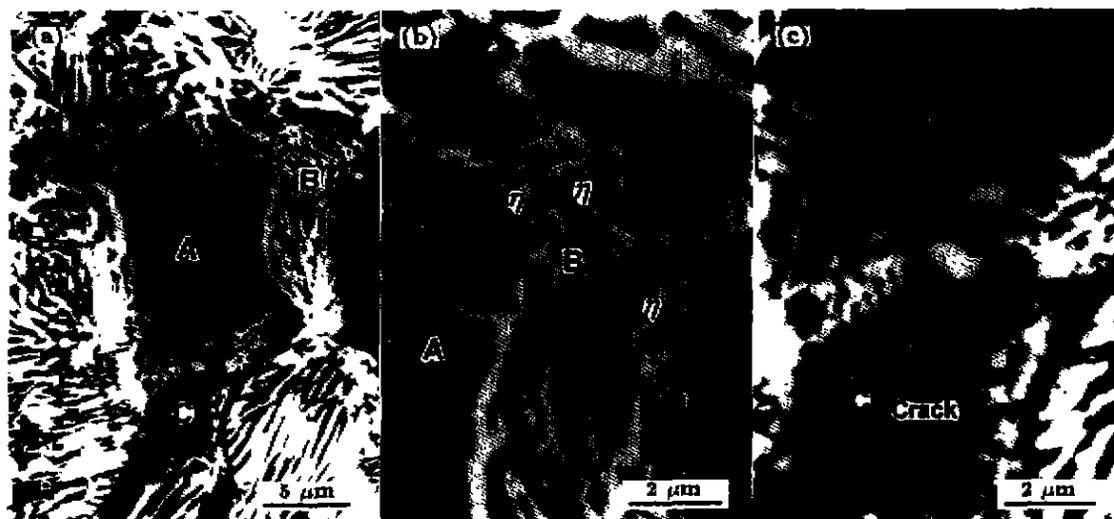


图3 晶粒间的转动

Fig.3 rotating of grain

(a) rotation of grain (b) magnification of B in Fig.3a (c) magnification of C in Fig.3a



图 4 亚晶界形貌

Fig.4 Morphologies of sub-grain boundary
 (a) one sub-grain boundary in a ferrite grain
 (b) magnification of Fig.4a
 (c) two sub-grain boundaries in a ferrite grain
 (d) magnification of sub-grain A in Fig.4c
 (e) magnification of sub-grain B in Fig.4c

图 5b 中的 a, b 和 c 小块). 冲击接触载荷下, 塑性变形越严重, 启动的滑移系统越多、多滑移程度越大、相交相割的程度越严重, 变形后铁素体的组织凹凸块状应该越来越细小.

3.2 晶粒的转动

如图 6 所示, 当 A 晶粒周围其它晶粒中的滑移在晶界 GB1, GB2 和 GB3 受阻后, 在晶界形成严重的应力集中, 该应力集中可能会在晶粒 A 晶界各个面上产生如图所示的分切应力 τ_1 , τ_2 和 τ_3 , 那么就会产生一种力偶导致 A 晶粒与其它晶粒间的相互转动 (η 方向), 在晶粒 A 晶界上留下沿着周界方向的滑移痕迹 (见图 3b), 并在晶界处产生裂纹 (见图 3c).

3.3 亚晶界、亚晶粒

冲击接触载荷下, 铁素体晶粒中不同滑移系统在不同

区域同时启动, 不同方向上的滑移系统相遇、相互阻碍和缠结, 便在交界处形成亚晶界. 由图 4a 和 b 可见, 晶粒 A 中 ψ 和 ν 两个滑移系统在同一个晶粒 A 中的不同区域同时启动, 并在某处 (见图 4b 中 SB 处) 相遇、相互阻碍从而产生了亚晶界 (SB); 对图 4c 中的两个亚晶粒 (A 和 B) 进行放大 (分别见图 4d 和 e) 发现, 图 4c 中的亚晶界 a 产生于铁素体晶粒中不同区域 (A 区和 B 区) 的两个不同滑移系统 (图 4d 中的 ψ 方向和图 4e 中的 ω 方向) 的交界处.

亚晶粒本身也会发生多滑移. 图 4b 中的 ψ 与 ϕ 两个滑移系统、 ν 与 μ 两个滑移系统, ϕ 对 ψ 与 μ 对 ν 分别产生交割作用, 从而使 ψ 和 ν 两个滑移痕迹出现了扭折现象 (见图 4b 中的曲线). 由于亚晶粒中多滑移的发生, 铁素体中的亚晶粒组织也呈现出小块状特征.

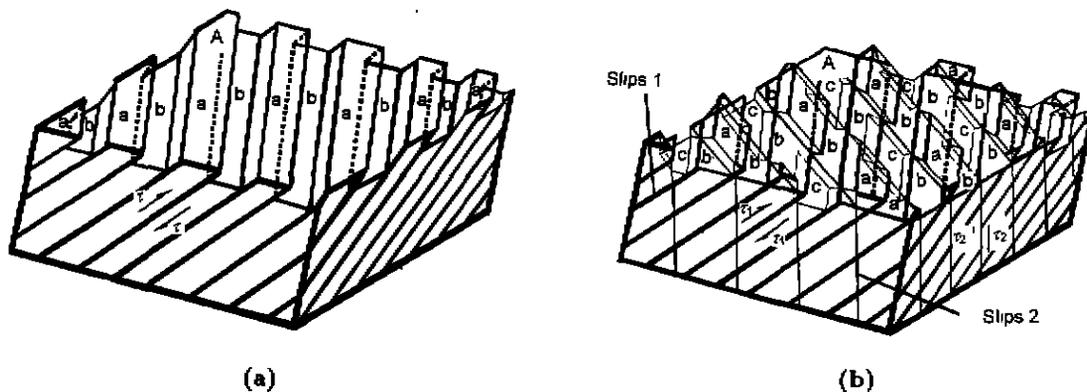


图5 滑移特征与组织形貌示意图

Fig.5 Characteristics of slip

(a) single-slip and its morphology (b) multi-slip and its morphology

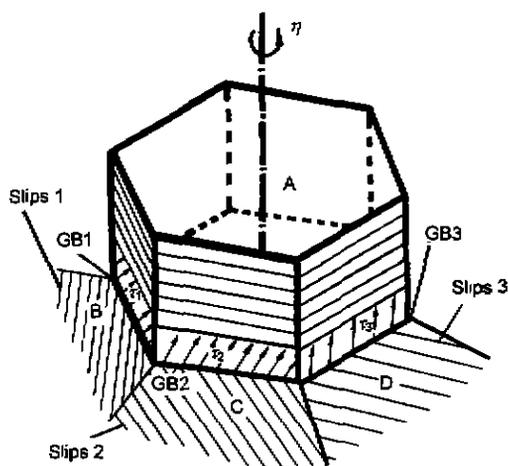


图6 晶粒转动机理

Fig.6 Mechanism of grain rotation

4 结论

(1) 在冲击接触载荷下, 铁素体的变形是以多滑移为特征的。

(2) 滑移在晶界受阻产生应力集中并导致力偶的产生使晶粒发生相对转动, 并在晶界形成裂纹。

(3) 亚晶界和亚晶粒的形成是同一个晶粒中不同区域不同滑移系统的交互作用的结果。

参考文献

- [1] Lim L C, Raj R. *Acta Metall*, 1984; 32: 1183
- [2] Lim W, Bayerlein M, Mughrabi H, Day A, Quedstedt P N. *Acta Metall Mater*, 1992; 40: 1763
- [3] Kim W H, Laird C. *Acta Metall*, 1978; 26: 777
- [4] Tanaka T, Nakayama H, Kimura K. *Fatigue Fract Eng Mater Struct*, 1985; 8: 13
- [5] Yang P S, Zhang M, Xu F, Gong S P. *Mater Sci Eng*, 1997; A234-236: 127
- [6] Zhang M, Yang P S, Liu Y, Tan Y X. *Acta Metall Sin*, 1999; 35: 4
(张 萌, 杨平生, 刘 炎, 谭育熙. 金属学报, 1999; 35: 4)
- [7] Xu Y H, Zhu J H, Wang F Z. *Hot Work Technol*, 1999; (1): 3
(许云华, 朱金华, 王发展. 热加工工艺, 1999; (1): 3)
- [8] Xu Y H, Zhu J H, Wang F Z. *Hot Work Technol*, 1999; 4: 10
(许云华, 朱金华, 王发展. 热加工工艺, 1999; 4: 10)