

文章编号:1000-582X(2004)06-0045-03

新型微变形齿轮钢的显微组织及亚结构*

张晓燕,梁益龙,雷旻,梁宇

(贵州工业大学 冶金工程系,贵州 贵阳 550003)

摘要:为了减少汽车齿轮的淬火变形,研制了一种新型微变形齿轮钢。用透射电子显微镜对这种钢在空冷状态下的显微组织进行了研究。结果表明,新型微变形齿轮钢在空冷条件下即可获得具有精细结构的无碳化物贝氏体铁素体束状组织,贝氏体铁素体片条、亚片条及亚单元被残留奥氏体膜包围,这种组织使微变形齿轮钢具有良好的强度和韧性,尤其冲击韧性显著提高。由于具有良好的强韧性配合,新型微变形齿轮钢在空冷条件下即可满足汽车齿轮复杂的工况要求。

关键词:微变形齿轮钢;空冷;贝氏体;精细结构

中图分类号:TC142.2

文献标识码:A

为了减少汽车齿轮的淬火变形,研制了一种以 Mn-Si 为主加元素,并加入微量其它合金元素获得的新型微变形齿轮钢 GDL-1。GDL-1 钢是一种贝氏体钢,在空冷状态下具有很高的强度、优良的韧塑性配合,而且渗碳性能良好^[1],用该钢制作的齿轮经渗碳空冷后其性能指标完全达到技术要求,实现了汽车齿轮的微变形。由于 GDL-1 钢空冷状态下在较大截面尺寸上可获得贝氏体复相组织,在不回火的条件下,具有优异的强韧性配合,不仅能满足汽车齿轮复杂的工况要求,同时还可代替现行调质钢,应用于性能要求较高的另构件,应用前景广阔(该钢已完成中间试验,目前正进入产业化阶段)。为了了解 GDL-1 钢组织对其性能的影响,笔者用电子显微镜观测、分析了 GDL-1 钢空冷后的显微组织及亚结构。

1 试验材料及方法

试验材料选用 5 t 电弧炉冶炼的 GDL-1 钢,经锻轧后在 900 °C 保温 2~4 h 出炉空冷,加工成各种试样。利用 OLYMPUS 光学显微镜和 TEM-2000FX II 型透射电镜观察金相组织及其亚结构。在拉伸机上测定材料强度、塑性指标,试样尺寸为 $\Phi 8 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$,

在冲击试验机上测定材料冲击韧性,标准梅氏冲击试样。

2 试验结果及分析

GDL-1 钢空冷状态下的金相组织如图 1 所示。图中组织为束状贝氏体铁素体+少量板条马氏体混合组织,贝氏体铁素体束长度约为 10~20 μm ,宽度约为 1~2 μm 。

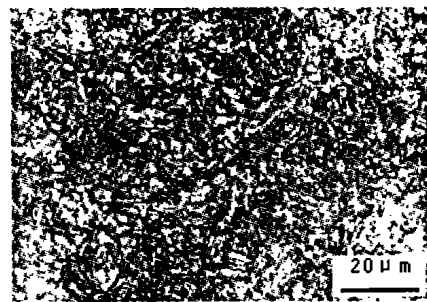


图1 GDL-1 钢的显微组织($\times 400$)

图 2 为 GDL-1 钢空冷状态下的透射电镜照片。从图 2(a)可以观察到白色束状的贝氏体铁素体以及相对较暗的条状残留奥氏体薄膜,贝氏体铁素体的片条内有大量的位错。在贝氏体条间有残留奥氏体膜,而且在构成片条的亚片条间、乃至构成亚片条的亚单

* 收稿日期:2004-02-18

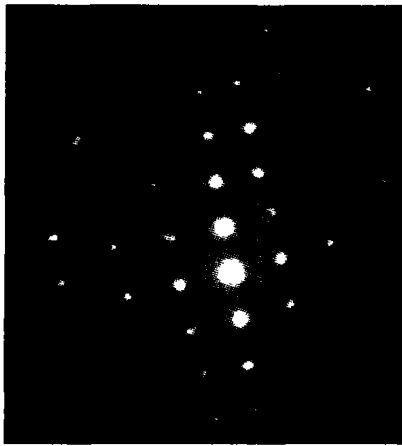
基金项目:贵州省创新基金资助项目(2002-4015)

作者简介:张晓燕(1960-),女,贵州贵阳人,贵州工业大学副教授,从事教学和微变形钢的应用及研究。

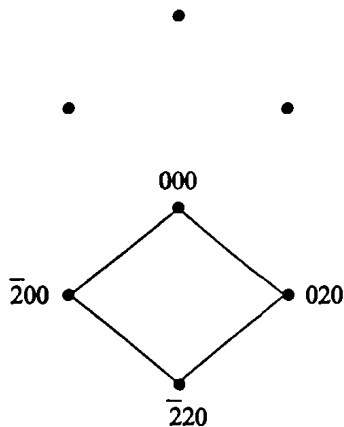
元间也存在残留奥氏体膜。测量结果表明,贝氏体的片条宽度尺寸约为 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ (图 2(a))。由放大的局域图(图 3)可见,它由片宽 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 的亚片条(sub-lath, SL)组成,而亚片条又由一些尺寸在 $0.03 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 的亚单元(subunit, SU)组成。而贝氏体亚单元中应该还存在更细小的超精细结构——超亚单元(sub-subunit),这种精细结构在 TEM 下一般难于观察到,其宽度大约只有几个到十纳米的水平^[2]。



(a) 贝氏体铁素体束的形貌 ($\times 20\,000$)



(b) 奥氏体衍射斑点



(c) 标定

图 2 GDL-1 钢的 TEM 结果

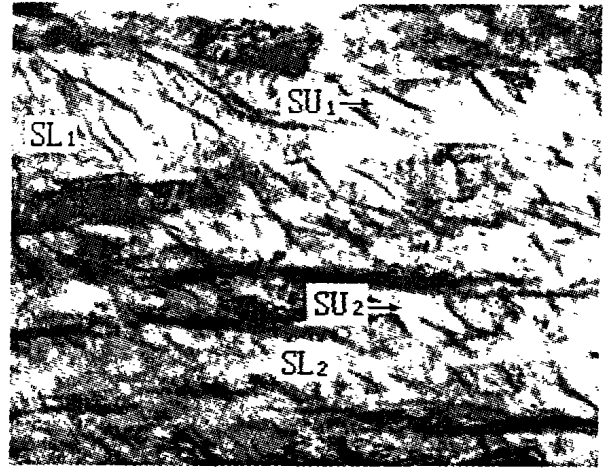


图 3 GDL-1 钢中的贝氏体铁素体局部放大像 ($\times 30\,000$)

上述分析可见,贝氏体铁素体片条、亚片条及亚单元都被残留奥氏体膜所包围,残留奥氏体膜分布在贝氏体铁素体亚片条边界、亚单元边界。这些薄膜状残留奥氏体具有较高的热稳定性和机械稳定性^[3-4],一方面取代了可能成为疲劳裂纹源的碳化物,同时也相当于在精细结构单元与残留奥氏体膜之间存在类似大角度位向差的界面,细化了基本结构单元。从图 3 同时可见,残留奥氏体膜并不完全连续,而且厚度不均匀,可能是由于组织中微观不同区域含碳量分布不均、局部偏聚使转变的奥氏体量不同,所以薄膜厚度不同,甚至局部消失;另一原因可能是贝氏体和马氏体相变应力场使残留奥氏体膜变形且变形量不一致,在电镜观察下,由于奥氏体膜各段位向不同而出现不同的衬度。

贝氏体铁素体是通过激发形核-台阶长大机制^[5]形核长大的,贝氏体铁素体的激发形核与台阶长大又是一个相互竞争的过程。由于 GDL-1 钢中加入了一定量的 Si, Si 是一种非碳化物形成元素,在贝氏体铁素体形成过程中,碳化物析出受 Si 强烈阻碍而不易析出^[4,6],铁素体与奥氏体界面的奥氏体一侧易于富碳致使贝氏体铁素体的生长受阻甚至停止长大,此时,在贝氏体铁素体生长台阶阶面前沿附近的奥氏体一侧满足一定的能量条件下,就可通过激发形核,形成另一贝氏体铁素体核心,由于台阶长大速度极慢,新的核胚可以存活,与台阶长大相比,激发形核占主导地位,因此 GDL-1 钢可形成多层次复杂的精细结构:亚片条、亚单元、超亚单元等。由于合金元素的合理配合,GDL-1 钢经锻扎后空冷获得了精细组织,既能保持高的强度,又能获得优异的韧性,尤其冲击韧性显著

提高。经检测,GDL-1 钢经锻扎后空冷常规力学性能可达到: $\sigma_{0.2} \geq 980 \text{ MPa}$, $\sigma_b \geq 1280 \text{ MPa}$, $\delta_5 \geq 18\%$, $\psi_k \geq 60\%$, $A_k \geq 100 \text{ J}$ 。

3 结 论

1) 空冷 GDL-1 钢获得的贝氏体铁素体各层次由残留奥氏体膜包围,将贝氏体铁素体条片分割成亚片条、亚单元、并形成更细小的超亚单元。

2) 空冷 GDL-1 钢由于获得了上述精细组织,具有优良的强度和韧性,尤其冲击韧性显著提高。

参考文献:

[1] 张晓燕,梁益龙,雷旻,等. 新型微变形齿轮钢渗碳特性及

力学性能[J]. 材料热处理学报,2004,25(1):52-54.

[2] 伦宁,秦超,孟凡妍,等. 贝氏体组织及其精细结构[J]. 机械工程材料,2003,27(5):7-9.

[3] 方鸿生,刘东雨,徐平光,等. 贝氏体钢的强韧化途径[J]. 机械工程材料,2001,25(6):1-5.

[4] 张明星,康沫狂. Si 对低碳贝氏体钢组织和性能的影响[J]. 金属学报,1993,29(1):3-7.

[5] 张池,方鸿生,杨志刚,等. 锰硅系贝氏体/马氏体复相钢中贝氏体精细结构的研究[J]. 金属学报,2001,37(6):561-566.

[6] 周鹿宾. 不同贝氏体对钢的性能影响及其控制方法[J]. 金属热处理,1991,(4):4-11.

Fine Microstructure of Novel Microdistortion Gear Steel

ZHANG Xiao-yan, LIANG Yi-long, LEI Ming, LIANG Yu

(Department of Metallurgy, Guizhou University of Technology, Guiyang 550003, China)

Abstract: In order to reduce quench deformed of car gear, a new kind of microdistortion gear steel is developed and its fine microstructure is discussed by SEM. The results show that the tested steel can obtain carbide free bainitic ferritic laths with fine microstructure under air-cooling condition. The bainitic ferritic laths, sublaths and subunits are surrounded by retained austenite, which can insure the gear steel possesses high strength and toughness, the impact toughness has increased remarkably. The good mechanical performance of the steel can meet the service demands of the gear.

Key words: microdistortion gear steel; air cooled; bainitic ferritic; fine microstructure

(编辑 李胜春)