

文章编号: 1000-5862(2020) 06-0644-05

LG610L 汽车大梁钢的拉伸断口及显微结构分析

张道达, 尧登灿, 丁 明

(江西省机械科学研究所, 江西 南昌 330002)

摘要: 利用拉伸试验机、金相显微镜、扫描电镜和透射电镜等检测工具, 对 LG610L 钢板不同位置的试样进行检测分析, 研究结果表明: LG610L 钢表面处的组织晶粒比较细小, 平均尺寸约为 7 μm , 越靠近中心处晶粒尺寸越大, 中心处的晶粒平均直径约为 13 μm . 在横向的 1/4 处珠光体呈较明显的带状分布, 而在表面和中心处带状组织不明显. 拉伸断口为韧性断口, 其中纤维区为典型的等轴韧窝, 放射区多为撕裂韧窝或剪切韧窝, 外缘区为涟波花样和无特征区域. 析出物呈蚕豆状, 其长度方向尺寸范围为 15 ~ 30 nm, 宽度方向尺寸范围为 5 ~ 12 nm, 且呈弥散分布, 分布的形状呈“虚线”状.

关键词: 拉伸断口; 显微结构; 析出物; 韧窝; 珠光体

中图分类号: TG 142. 1 文献标志码: A DOI: 10. 16357/j. cnki. issn1000-5862. 2020. 06. 17

0 引言

最近几年, 中国为了掌握新能源汽车的核心技术和发展主动权, 大力支持新能源汽车的发展, 出台了各种优惠政策^[1-3]. 众所周知, 降低车辆的能耗, 提高车辆的续航能力是新能源汽车核心技术竞争的重点, 也是难点. 因此, 在保证强度和可靠性的前提下降低车身质量, 这成为了研究热点^[2-3]. 汽车产业的飞速发展带来了环境污染和能源消耗等问题, 需要不断开发环保型高性能钢板, 以实现节能减排. 热轧汽车大梁钢在强度级别不断提升的同时, 也将向着低成本、良好的强韧性组合以及高表面质量的方向发展^[5-6]. 其中汽车大梁钢的高强化是汽车工业的发展趋势, 采用高强度的汽车大梁钢可以显著降低汽车质量, 且能在不增加汽车自身质量的前提下大幅度提高汽车有效载荷^[7-10], 这对节约资源和环

境保护具有重要意义. 通过优化成分设计和生产工艺解决生产和环保等实际问题仍将是钢铁企业和各高校开发汽车大梁钢的重点研究方向. 本文从实际出发, 探测 LG610L 汽车大梁钢的微观结构及其对性能的影响, 为进一步改进生产工艺提供理论支持.

1 实验材料与方法

该实验的材料是莱芜钢铁股份有限公司生产的 LG610L 大梁钢. LG610L 大梁钢的熔炼成分如表 1 所示. 再经过多道次热轧和热处理, 最后制成板材, 并在成品的不同部位取样. 首先利用 WEW-300D 拉伸试验机进行力学性能测试, 然后利用 DYJ-950 金相光学显微镜观察横断面微观组织, 再利用 JEOL JSM-7600F 场发射扫描电子显微镜(FESEM) 观察断口微观形貌, 最后利用 JEM-F200 透射电镜观察位错和第 2 相粒子的析出情况.

表 1 试验用 LG610L 钢的化学成分

牌号	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	V
LG610L	0. 07 ~ 0. 12	0. 10 ~ 0. 30	1. 40 ~ 1. 55	$\leq 0. 015$	$\leq 0. 010$	0. 020 ~ 0. 050	0. 040 ~ 0. 050	0. 020 ~ 0. 030	0. 015 ~ 0. 025

注: 残余元素 Ni、Cu 的含量均不大于 0. 30%, 其余元素为 Fe.

收稿日期: 2019-03-07

基金项目: 江西省教育厅科研课题(GJJ161465) 和江西省重点研发计划(20202BBEL53025, 20161BBE50064) 资助项目.

作者简介: 张道达(1982-), 男, 山东聊城人, 工程师, 主要从事材料表面处理及材料加工工艺研究. E-mail: 380831920@qq.

com

2 结果与讨论

2.1 力学性能分析

从表 2 可以发现,屈服强度取值在 560 ~ 580 MPa内,抗拉强度取值在 635 ~ 660 MPa 内,延伸率取值在 27% ~ 30% 内,屈强比取值在 0.860 ~ 0.895内. 从这些数据可以看出, LG610L 钢属于韧性较好的材料. 对于 LG610L 汽车大梁钢来说,其各方面指标均超出相关标准.

表 2 LG610L 钢的力学性能

编号	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	延伸率/%	屈强比
1	560	635	28.0	0.881 9
2	580	650	27.0	0.892 3
3	577	645	30.0	0.894 6
4	566	658	29.5	0.860 2

2.2 金相组织分析

为了准确地了解不同位置的金相组织,在垂直轧制方向沿着横向从轧制表面到中心依次取 6 组试样,分别编号为 a、b、c、d、e、f(见图 1),各部位的金相组织分别如图 2 所示. 由图 2 可以看出, LG610L 钢的组织主要由呈准多边形铁素体基体和其上分布着少量的呈带状分布的黑色细片状珠光体. a、b、c、d、e、f共6个试样的金相组织具有不同程度的带状珠

光体组织,其中 c 和 d 试样的金相组织中带状组织较严重,且珠光体占比也较大,a、b、e 和 f 试样的带状组织较轻. 也就是说,在横向的 1/4 处珠光体呈带状分布较明显,而在表面和中心处的带状组织不明显. 这可能是因为表面在加热和轧制过程中会出现脱碳现象,从而使得表面的含碳量降低,珠光体占比也就降低,进而带状组织不明显. 而在中心处由于冷却速度比较慢,变形量有限,其 C 原子可以较充分的扩散,所以带状组织不明显. 而在 1/4 处之所以带状组织明显,可能是因为该处的冷却速度相对较快,轧制变形量较大,从而导致 C 原子扩散不充分,且此处无脱碳条件. 此外,钢表面的组织晶粒比较细小,平均约为 7 μm (a 试样),越靠近中心处,晶粒尺寸越大,在中心处的晶粒平均直径约为 13 μm . 这是因为越靠近中心处,冷却速度越慢,轧制变形量越小,从而使得再结晶晶粒有条件长大.

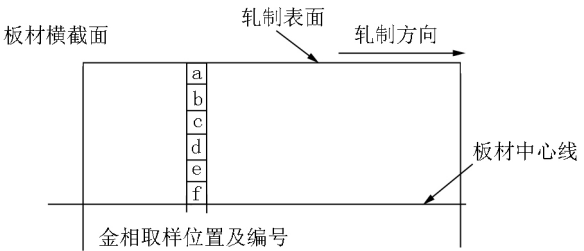


图 1 LG610L 钢的金相取样示意图

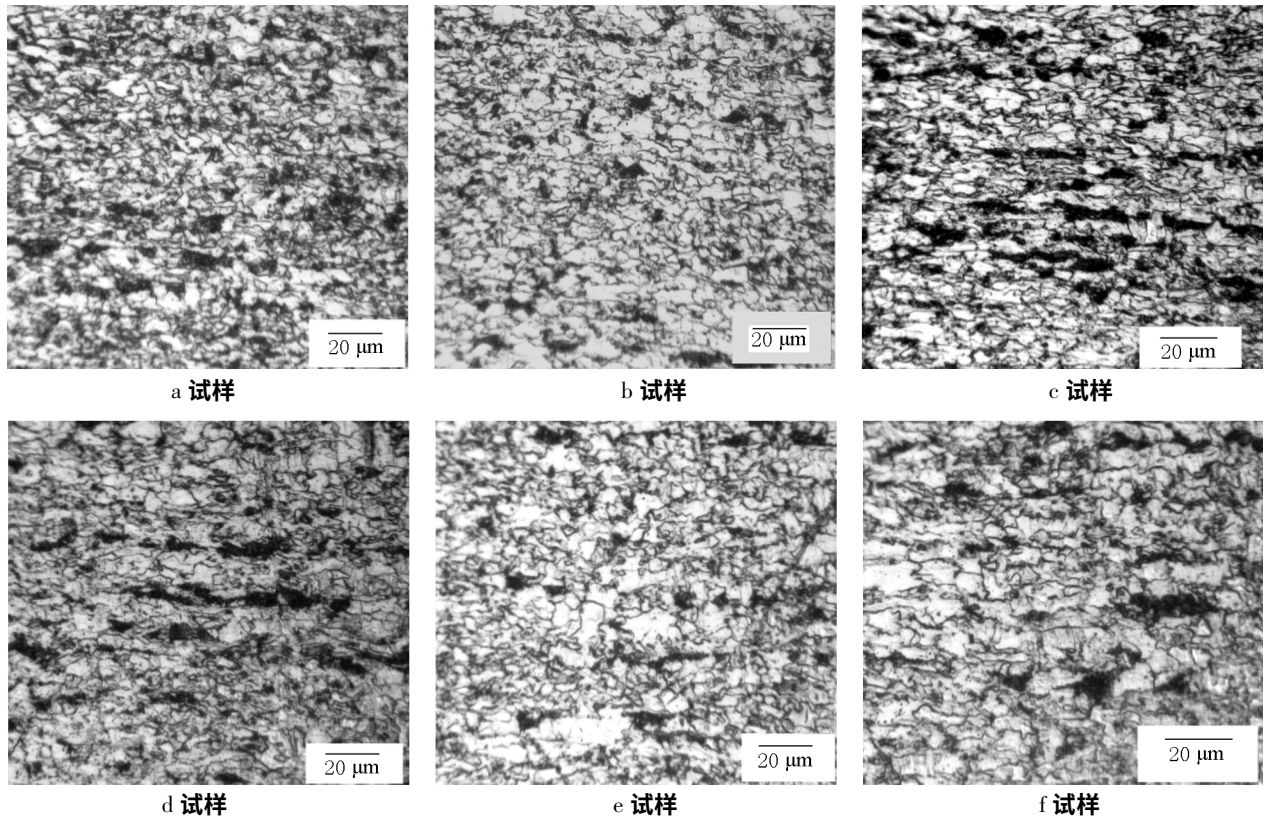


图 2 LG610L 钢各部位金相组织

2.3 扫描电镜断口分析

图 3 为断口的相对宏观扫描图片,从图 3 可以看出明显的放射状条纹区域和纤维区域,放射条纹的发散方向是裂纹扩展方向. 根据研究需要,在图 3 上找了 6 处观察点,分别为 A、B、C、D、E 和 F. 利用扫描电子显微镜对 6 个观察点均放大 2 000 倍并拍摄图片,所拍摄的扫描图片如图 4 所示. 从图 4 可以看出:位置 A 存在大量的等轴韧窝,以尺寸较小的小韧窝为主,也有几个大韧窝. 小韧窝的平均直径约为 $2\ \mu\text{m}$,大韧窝的直径为 $4\sim7\ \mu\text{m}$. 大部分韧窝的底部平滑和韧窝壁有滑移痕迹,小部分韧窝底部有较深的孔洞. 此外,个别韧窝底部发现夹杂物. 位置 B 处的扫描图片的韧窝也是等轴韧窝,绝大部分是小韧窝,尺寸约为 $2\ \mu\text{m}$,韧窝尺寸均匀性好. 与位置 A 处相比大韧窝明显减少,且绝大部分韧窝底部平滑没有孔洞. 位置 B 处的断口微观形貌表明其塑形较好于位置 A 塑形. 在图 4 中的位置 C 的扫描图片上的韧窝明显变小,且孔洞明显增多,存在直径约为 $5\ \mu\text{m}$ 的大孔洞,而且大部分韧窝底部有较深的孔洞. 孔洞应该是空位的聚集长大形成的,最终作为韧窝的发源处. 孔洞的存在大大降低了材料的塑形.

在位置 D 处的扫描图片上明显存在大量的孔洞,韧窝呈抛物线形,这可能是在切应力作用下形成的剪切韧窝或者在撕裂应力作用下形成的撕裂韧窝^[11-13]. 位置 E 处没有韧窝出现,但却形成了大量的涟波花样,而 F 处的位置扫描图片显示表面比较平坦,没有明显特征. 这是因为在放射区边缘容易产生滑移变形,滑移变容易沿着与最大切应力面平行的一组面进行,经过多次滑移后,新表面弯曲交错就会形成蛇形滑移,进一步滑移,蛇形滑移平坦化而形成涟波状,再进一步变形,涟波花纹变模糊,成为无特征的延伸区.

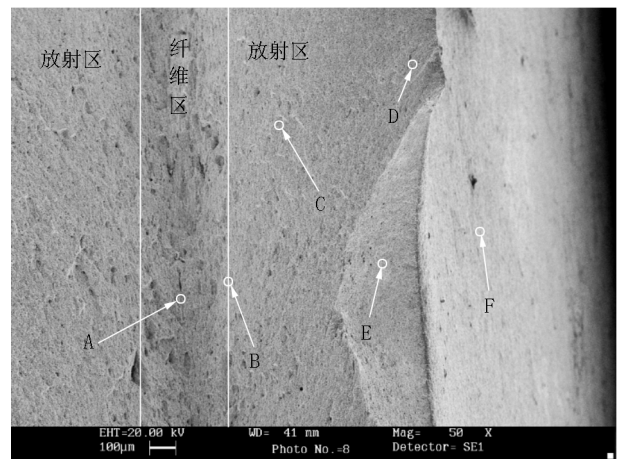
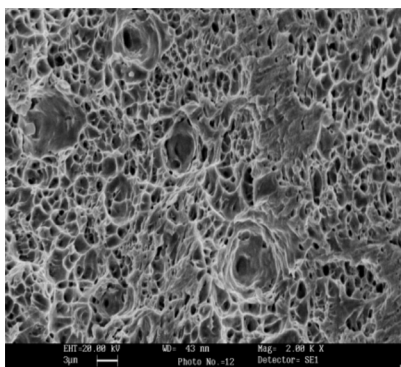
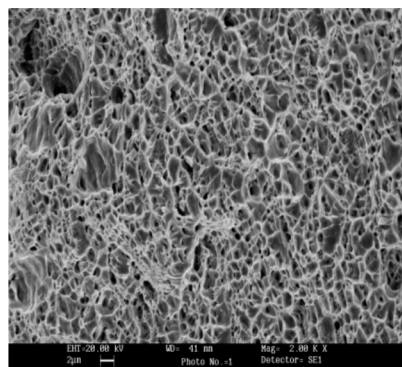


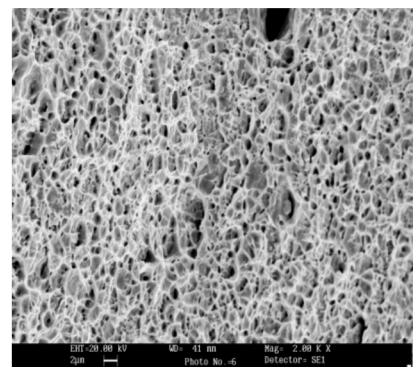
图 3 LG610L 钢宏观断口形貌及扫描取像位置图



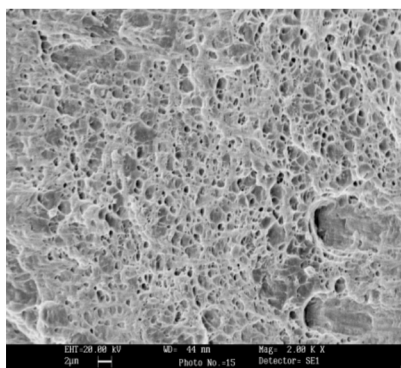
(a) 断口 A 处的微观形貌



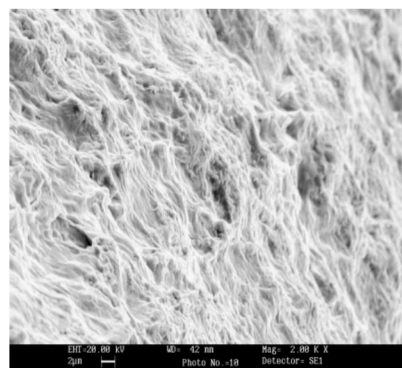
(b) 断口 B 处的微观形貌



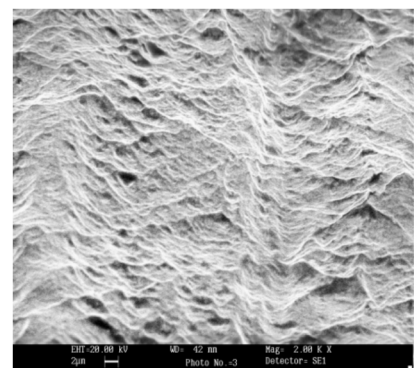
(c) 断口 C 处的微观形貌



(d) 断口 D 处的微观形貌



(e) 断口 E 处的微观形貌



(f) 断口 F 处的微观形貌

图 4 LG610L 钢拉伸断口不同部位的 SEM 图

2.4 透射电镜分析

从图5可以看出,虽然经过再结晶,但 LG610L 钢中仍然存在一定量的位错、位错环和位错缠结,只是位错密度较低。此外,在图5(e)和图5(f)中可以发现大量的尺寸较小、均匀且弥散分布的第2相粒子。这些第2相粒子形状呈蚕豆状,其长度方向尺寸在15~30 nm 之间,宽度方向尺寸在5~12 nm 之间。大部分第2相粒子呈“虚线”状分布,其长度方向和“虚线”延伸方向一致。根据以上第2相粒子的特征,可以断定这些第2相粒子其实是析出物,不是

外来夹杂。这些析出物之所以呈“虚线”状分布,是因为析出物最先在晶界、位错和亚晶界等缺陷处析出^[4-6],而这些缺陷大部分呈线状延伸,从而导致这些析出物沿着缺陷长度方向析出长大的速度大于沿着宽度方向析出长大的速度,最终形成这种蚕豆状。析出物在析出的过程中吸收了这些缺陷的能量,从而降低了缺陷自由能。当这些析出物析出到一定程度时,缺陷处的自由能大幅度降低,从而起到稳定缺陷的目的,表现为对缺陷起到钉扎作用,从而提高了其力学性能。

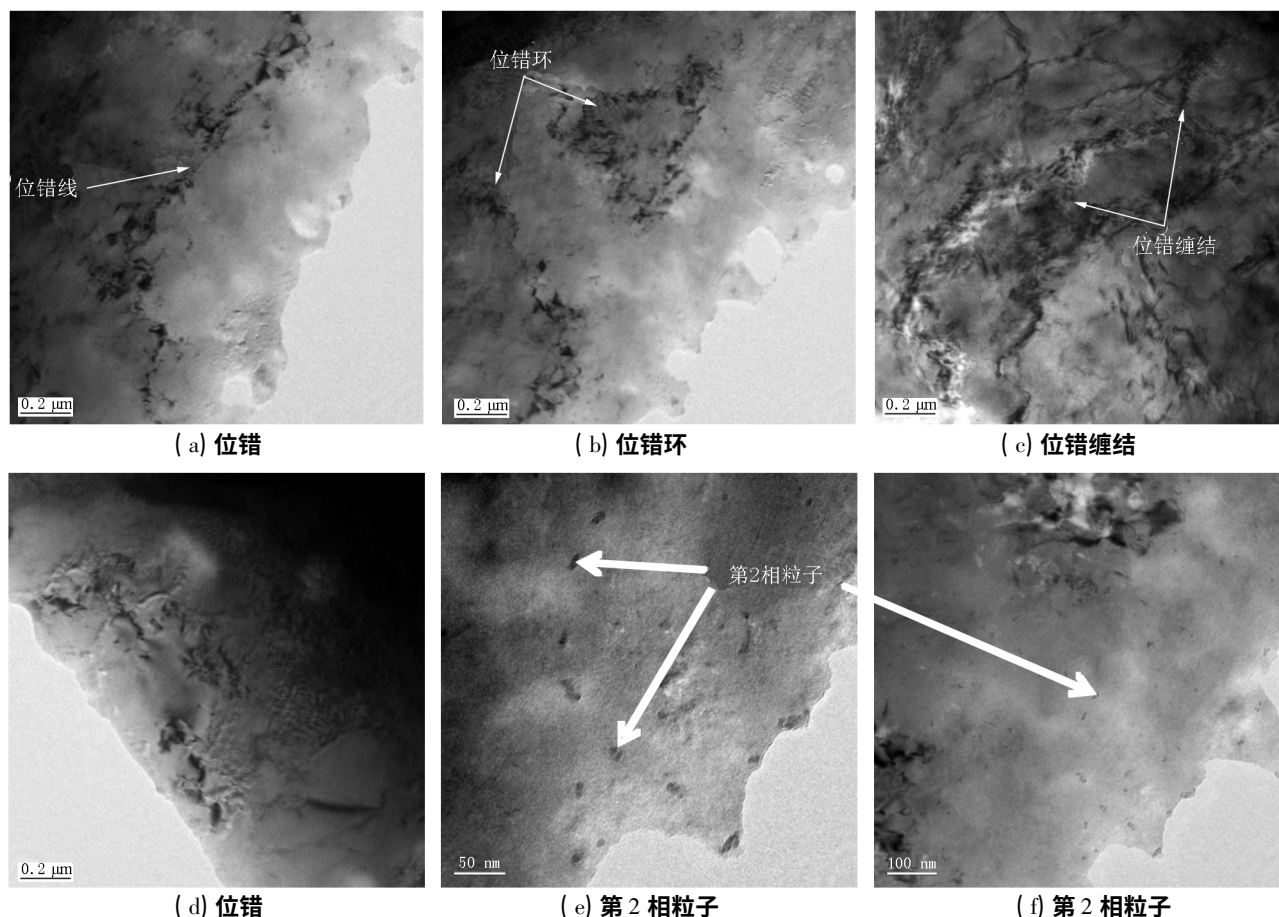


图5 LG610L 钢试样的透射照片

3 结论

1) LG610L 钢表面处的组织晶粒比较细小,平均约为7 μm,越靠近中心处晶粒尺寸越大,在中心处的晶粒平均直径约为13 μm。在横向的1/4处珠光体呈带状分布较明显,在表面和中心处带状组织不明显。

2) LG610L 钢的拉伸断口为韧性断口,其中纤维区为典型的等轴韧窝,放射区多为撕裂韧窝或剪切韧窝,外缘区为涟波花样和无特征区域。

3) LG610L 钢中的析出物呈蚕豆状,其长度方向尺寸在15~30 nm 之间,宽度方向尺寸在5~12 nm 之间,且弥散分布,分布的形状呈“虚线”状。

4 参考文献

- [1] 陈其源,刘振宇,周晓光,等. 热轧汽车大梁钢生产现状及其发展趋势 [J]. 轧钢,2016,33(2):51-55.
- [2] 李光瀛,马鸣图. 我国汽车板生产现状及展望 [J]. 轧钢,2014,31(4):22-26.
- [3] 丁军红. 高强度轻量化汽车大梁用钢的研究及开发 [D]. 济南: 山东大学,2016.

- [4] 惠亚军,潘辉,周娜,等. 650 MPa 级 V-N 微合金化汽车大梁钢强化机制研究 [J]. 金属学报,2015,51(12): 1481-1488.
- [5] 李永亮. 700 MPa 级高强度汽车大梁钢成分设计与组织控制研究 [D]. 北京: 北京科技大学,2016.
- [6] 王莞,王长朋,梅华生,等. 发动机缸体开裂失效分析 [J]. 装备环境工程,2017,14(8): 55-59.
- [7] 郭晶,吴长江,李志伟. 汽车板 180BH 三维表面轮廓测试 [J]. 表面技术,2018,47(1): 249-253.
- [8] 张继魁,辛莹,张曼曼,等. 汽车大梁用低合金高强度钢板性能与发 [J]. 汽车工艺与材料,2004(6): 42-46.
- [9] 杨澄. 汽车大梁板 WL510 钢的性能控制 [J]. 金属热处理,2011,36(10): 11-14.
- [10] 陈其源,周晓光,刘振宇,等. Ti 微合金化汽车大梁钢 510L 的组织性能 [J]. 东北大学学报: 自然科学版,2018,39(3): 239-344.
- [11] Shi Zhongran, Chai Xiyang, Chai Feng, et al. The mechanism of intragranular ferrite formed on Ti-rich (Ti, V) (C, N) precipitates in the coarse heat affected zone of a V-N-Ti microalloyed steel [J]. Materials Letters, 2016, 175(14): 266-270.
- [12] 沈利民,龚建鸣,姜勇,等. 时效时间对 Cr35Ni45Nb 离心铸造奥氏体钢力学性能与微观组织的影响 [J]. 南京工业大学学报: 自然科学版,2011,33(2): 28-32.
- [13] 张道达,孙衍乐,姚学峰,等. 大变形轧制超细晶 TWIP 钢的组织及性能研究 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版,2017,41(1): 62-66.
- [14] 利成宁,袁国,周晓光,等. 汽车结构用热轧双相钢的生产现状及发展趋势 [J]. 轧钢,2012,29(5): 38-42.
- [15] 董瑞峰,孙雨钢,刘哲,等. 汽车结构用 590 MPa 级热轧双相钢的开发 [J]. 轧钢,2008,25(1): 50-55.
- [16] 赵培林,路峰,王建景,等. 700 MPa 级高强度汽车大梁用钢研究与开发 [J]. 轧钢,2011,28(4): 12-16.

The Tensile Fracture and Microstructure Analysis of LG610L Automobile Beam Steel

ZHANG Daoda, YAO Dengcan, DING Ming

(Jiangxi Mechanical Science Institute, Nanchang Jiangxi 330002, China)

Abstract: By means of tensile testing machine, metallographic microscope, scanning electron microscope and transmission electron microscope, the specimens of LG610L steel plate in different positions are tested and analyzed. The results show that the grain size on the surface of LG610L steel is smaller, and the average grain size is about 7 μm . The closer to the center, the larger the grain size is, and the average diameter of the grain at the center is about 13 μm . The banded distribution of pearlite in the transverse 1/4 is more obvious, but the banded tissue on the surface and the center is not obvious. The tensile fracture is a ductile fracture, in which the fiber region is a typical equiaxed dimple, the radiation zone is a tear dimple or shear dimple, and the outer edge is a ripple pattern and a non-characteristic area. The precipitates are in the shape of broad bean, the length direction size is between 15 nm and 30 nm and the width direction dimension is between 5 nm and 12 nm, and distributes diffusely, the shape of distribution is "dotted line" shape.

Key words: tensile fracture; microstructure; precipitate; dimple; pearlite

(责任编辑: 冉小晓)