

冷轧及退火工艺对 40MnB 钢带状组织的影响

朱施利, 胡文豪

(杭州钢铁集团技术中心, 浙江 杭州 310022)

摘 要:比较了 40MnB 钢同一退火工艺、不同冷轧压下量试样的带状组织,以及相同压下量、低温退火与高温退火试样带状组织的区别;观察了试样在退火时以不同冷却速度冷却到 A_1 温度时的显微组织形貌;测试了退火试样力学性能随压下量变化的曲线。结果表明:随冷轧压下量的增加,40MnB 钢退火时带状组织是先加重后减轻;高温奥氏体化退火和快速从珠光体、铁素体两相区冷却到 A_1 线能有效削减带状组织;带状组织不明显的材料力学性能未必优越,退火工艺参数的选择应和冷轧压下量合理匹配。

关键词:40MnB; 带状组织; 冷轧压下量; 退火参数

中图分类号: TG156.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2010)04-0141-04

Effect of Cold Rolling and Annealing Process on Banded Structure of Steel 40MnB

ZHU Shili, HU Wenhao

(Technology Center, Hangzhou Iron & Steel Group Co., Hangzhou 310022, China)

Abstract: Banded structures of annealing samples for steel 40MnB were compared, which either had different cold rolling reductions at the same annealing process or had different annealing temperature at the same cold rolling reduction; Microstructure of annealing samples was observed when annealing temperature descended to A_1 line in different speed; and the relation curves of mechanical properties and reductions were tested. The results show: banded structure after annealing becomes serious firstly, and become slight again, increasing cold rolling reductions; effect of eliminating banded structure is very evident, adopting austenitic anneal at high temperature and descending temperature from two phase field of pearlite and ferrite to line A_1 quickly. The mechanical property of the samples with slight banded structure is unnecessarily excellent, the annealing parameters adopted ought to accord with the reduction after cold rolling.

Key words: 40MnB; banded structure; cold rolling reduction; annealing parameters

40MnB 钢含有较高的锰,由于锰元素容易在钢中偏析而产生带状组织^[1-3],带状组织的存在会使钢材显现出各向异性,冷弯容易萌生裂纹源,降低了钢材韧性^[4-5],进而影响钢材的使用性能。带状组织按形成原因可分为一次带状和二次带状,钢液凝固过程中产生一次带状,而轧制时易出现二次带状,尤其是冷轧时由于珠光体和铁素体组织沿轧制方向被拉长,加剧带状组织。带状组织的存在降低了钢材的冷弯性能,严重地影响产品质量。如何消除钢中的带状组织一直是国内外研究的热点^[6-8],而研究多集中于连铸和热轧过程,对冷轧和退火阶段的研究还不够深入。退火是消除带状组织一种行之有效的方

法,结合冷轧和退火工艺的带状组织消除研究将会降低生产成本,具有很强的实用价值。在退火消除带状组织方面,颜礼功等^[9]认为在 900℃同时加脉冲电流热处理时能有效地消除 20CrMnTi 齿轮钢中的带状组织;谢文新等^[10]认为 SAE8620H 低碳齿轮钢退火时快速从 930℃降温到 650℃能明显减弱带状组织。本文研究了 40MnB 钢带不同冷轧压下量及退火工艺参数对带状组织的影响,并探讨了其微观作用机理,最后分析了冷轧压下量、力学性能及带状组织之间的联系,以探索在生产实践中有效消除带状组织的可行性措施。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

实验材料选用高锰钢 40MnB,其化学成分(质量分数,%)为:0.41C,0.28Si,1.33Mn,0.011P,0.008S,0.19Cr,0.03Ni,0.09Cu,0.0021。厚 5 mm 的

收稿日期:2009-08-10

作者简介:朱施利(1977-),男,河南郑县人,工程师,硕士,主要研究方向为钢铁冶金及金属材料;电话:0571-85032381;

E-mail:zhushili@hzsteel.com

热轧钢带冷轧后厚度分别为 4.7、4.1 和 3.45 mm, 退火实验所采用试样为无压下的热轧样和冷轧后三个规格材料; 力学性能测试样为退火后的四种规格材料。

1.2 实验方法

用冷轧机对热轧后的钢带进行冷轧压下, 压下量分别为 6%、18% 和 31%, 在 760 °C 时对三个规格试样进行退火以比较压下量对带状组织的影响, 同时与 680 °C 低温退火的效果作对比; 在研究冷却速度对带状组织的影响时, 试样先在高温炉中 760 °C 奥氏体化, 然后分别以 1 °C/min 和 5 °C/min 的冷却速度冷却到 A_1 线附近, 比较带状组织的形貌; 最后讨论了退火加热和压下储能对带状组织及力学性能的微观作用机理。

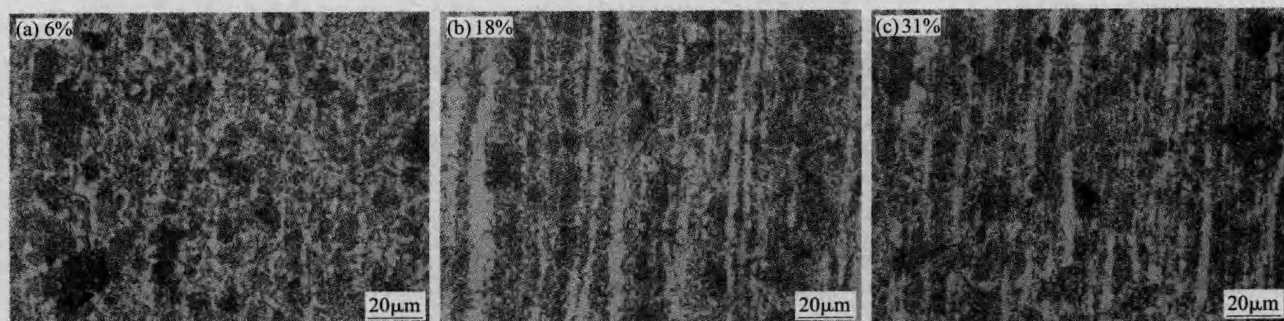


图 1 试样压下量不同时的退火组织形貌

Fig.1 Microstructure of annealing samples at different reductions

中更容易均匀化, 所以压下量 31% 的试样带状最不明显, 而 Bracke 等^[1]通过对高锰钢的研究, 认为大压下量增加了孪晶, 有利于退火再结晶。说明在消除带状组织时, 冷轧压下量和退火工艺应该有个匹配度, 在制定退火工艺时要考虑前期冷轧压下量的大小。

2.2 退火温度对带状组织的影响

图 2 为 18% 压下量的试样在 680 °C 退火前后的组织对比。具体退火工艺为: 680 °C 保温 10h → 炉冷到 500 °C → 空冷到室温。可以看出, 与原始组织相比, 在温度较低的 680 °C 退火一定时间, 并不能很好地消除带状组织; 相反, 由于珠光体的扩散聚集, 带状组织反而更加明显。而相同压下量的试样在较高的 760 °C 退火能较好地改善带状组织, 如图 1(b), 带宽明显减小, 铁素体和珠光体界限减弱, 珠光体分散也变得均匀。原因是 40MnB 钢的 $A_{r1}=650$ °C, $A_{c1}=730$ °C^[12], 这就是说此钢种的 A_1 线处于 650 °C 和 730 °C 之间。在低于 A_1 线的 680 °C 退火没有进入

2 实验结果与分析

2.1 冷轧压下量对带状组织的影响

图 1 为冷轧压下量不同而在同一退火工艺 (760 °C × 0.5h → 炉冷到 680 °C 保温 8h → 炉冷到 500 °C → 空冷到室温) 下退火后试样的显微组织形貌。可见, 在相同的退火工艺下, 压下量较小时退火后带状组织不明显, 而随着压下量的增大, 带状组织反而明显, 但是压下量继续增加时, 带状组织又变得容易消除。退火促进了珠光体组织的扩散速度, 但是若温度不够高或时间不够长, 组织扩散就不会太均匀, 冷轧压下使带状间距变窄, 大压下量时带状组织在延伸过程中断裂, 带状个体变小, 如图 1(c) 中带状组织有明显断裂, 小的带状个体组织在后来的退火过程

奥氏体化区, 珠光体很难再次溶入奥氏体中, 因而带

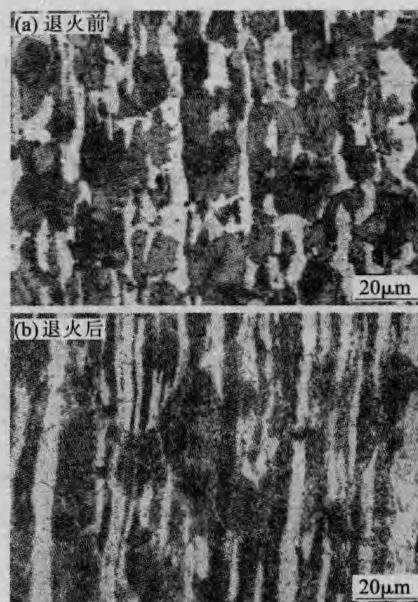


图 2 680 °C 退火前后显微组织对比

Fig.2 Microstructure before and after annealing at 680 °C

状改善效果不明显;当温度升到 760℃时,试样已经进入了奥氏体和铁素体两相区,奥氏体化的结果使珠光体重新溶入奥氏体,有利于消除带状组织。

2.3 冷却速度对带状组织的影响

图 3 为不同压下量试样在同一退火工艺下退火时,采用快速冷却方式的组织形貌。具体退火工艺为:760℃保温 0.5h→快速冷却到 680℃,保温 8h→炉冷到 500℃→空冷到室温。与图 1 工艺不同的是在

760℃保温后快速冷却到 680℃,冷却速度为 5℃/min,而图 1 工艺的冷却速度为 1℃/min。相比图 1 中相同压下量试样来说,带状组织得到明显改善,各规格白亮的铁素体带已不太明显,珠光体已扩散铺展开,显微组织整体已比较均匀,尤其是压下量 31%的试样已完全没有了带状组织,这与谢文新等^[10]对 SAE8620H 低碳齿轮钢的结论一致。这是由于从奥氏体铁素体两相区快速冷却到 A_1 线附近,温度的骤

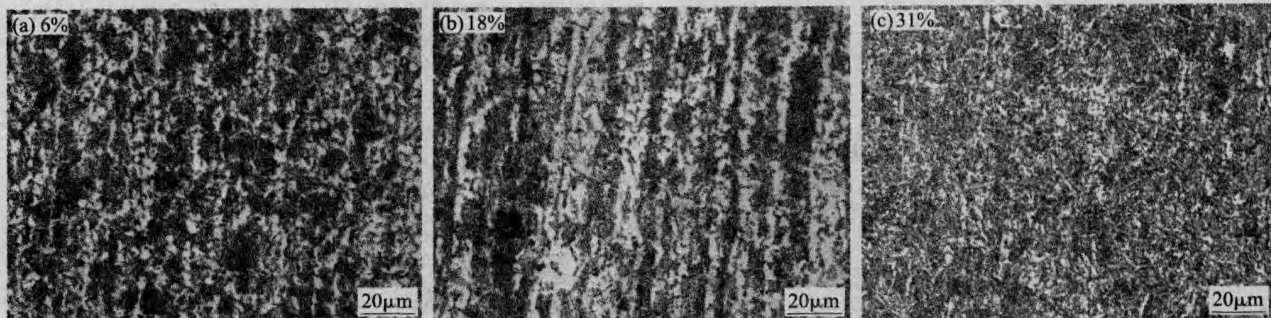


图 3 不同压下量试样快速冷却后的显微组织

Fig.3 Microstructures of different reductions samples in quick cooling speed

然下降使珠光体来不及从奥氏体中析出,未作长距离扩散就被固定下来,珠光体不能偏聚,抑制了偏析和带状,方琪^[9]和陈涛等^[13]也证实在高锰钢轧制时加强轧后冷却速度可以明显降低带状组织级别。图 3 也再次证明同一退火工艺下,试样压下量不同退火后效果存在差异,其规律和对图 1 的分析一致。

3 讨论

消除带状组织就是要促进 C、Mn 等合金元素分布均匀,这些合金原子以溶质的形式存在于间隙固溶体中,作为溶质原子由一个间隙位置跳跃到另一个临近的间隙位置,要经过两个溶剂原子的夹缝,溶质原子必须具有较高的能量才能挤开束缚的夹缝,实现跳跃。溶质原子完成跳跃所需的能量可以通过加热的方式提供,加热温度越高溶质原子获得的超额能量就越多,就越容易跳跃,这就是在消除带状组织时为什么 760℃退火比 680℃退火效果更明显的原因。

金属变形时外力对其做的功大部分转变为热能,其中有 10%~15%以残余应力的形式储存在金属中,静畸变能公式^[14]为:

$$w = \frac{1}{2} C \Delta T \quad (1)$$

C 为金属的热容量; ΔT 为将静畸变能转化为等效热能的温度变化。

压下量越大外力对其作的功就越多,储存的静畸变能也越多,根据公式(1),等效热能温度变化就越大,相同温度退火时金属原子获得的能量就越多,更容易实现跳跃,从微观上解释了压下量越大,带状组织越不明显的原因。但是在压下量为 6%时的实验结果证实带状组织也很轻,原因可能是小的压下量使金属变形处于弹性区附近,回复的结果致使产生的带状组织不明显,在后来的退火过程中容易消除。

图 4 为同一退火工艺下试样的力学性能曲线。可看出,随压下量的增大,抗拉强度和屈服强度下降,而断面收缩和伸长率增加;但在压下量为 6%时刚好相反,成为畸变点。这可能与退火时的回复、再结晶机理有关,随压下量的增大,位错密度先是随之增加,而继续增大压下量时位错线反而相互抵消,同时位错型的缺陷不易受退火改变。所以在压下量

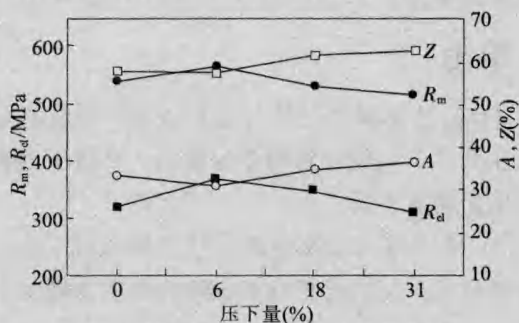


图 4 随压下量变化的力学性能曲线

Fig.4 Curves of mechanical properties and reductions

6%左右时位错密度最大,高的位错密度致使抗拉和屈服强度提升,而断面收缩和伸长率下降。

由图1和图4还可知,虽然压下量为6%时带状组织不明显,但其抗拉强度和屈服强度高,断面收缩和伸长率低,不利于其延展性,说明虽然带状组织导致了材料的局部性能不均,然而带状组织不明显并不意味着材料整体力学性能优越;在超过6%压下量时,带状的减轻程度及力学性能的改善趋势与压下量成正比。

4 结论

(1) 同一退火工艺下退火时,40MnB钢带状组织随压下量的增加先加重,当超过一定值时增大压下量有利于消除带状组织。

(2) 在对冷轧后的40MnB钢进行退火消除带状组织时,一定时间的高温段保温有利于带状组织的消除;从奥氏体铁素体两相区快速冷却到 A_1 线附近能非常有效地消除带状组织。

(3) 6%压下量时的力学性能测试表明,带状组织不明显的材料力学性能未必优越;退火工艺参数的选择应和冷轧压下量合理匹配。

参考文献:

- [1] Leslie W C,余宗森,谢善晓. 钢的物理冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,1988. 177-181.
- [2] 刘国勋,关卓明,Notis M R,等. 低碳锰钢中周期性带状组织[J]. 北京科技大学学报,1993,15(1):67-72.

(上接第140页)而且时效处理后合金元素易偏聚,导致腐蚀后孔洞明显增大。为了进行对比,本实验也研究了经T1处理的试样在腐蚀液中的状况,经时效处理其表面出现了裂纹,这与晶粒长大及硅质点的析出有关。

3 结论

(1) 经过不同工艺热处理后,6063合金的金相组织在低倍下均能看到明显的枝晶,高倍下因有相的析出而明显不同。

(2) 经固溶+时效处理后其硬度最高,没达到理论最高值,与沉淀相有 Mg_2Si 的出现致硬度下降有关。

(3) 全浸腐蚀试验后,固溶处理试样的耐腐蚀性

- [3] 柳得楷,邵伟然,孙贤文,等. 钢的表面带状组织及其引起的冷弯裂纹[J]. 北京科技大学学报,2005,27(1):40-44.
- [4] Shamgam P, Pathak S D. Some studies on the impact behavior of banded microalloyed steel [J]. Eng. Fract. Mech.,1996,53(6):991-1005.
- [5] Ha J S, Fleury E. Small punch tests to estimate the mechanical properties of steels for steam power plant: II fracture toughness [J]. Int. J. Pressure Vessels Piping,1998,75(9):707-713.
- [6] 冯光宏,李岩,戴蓓蓉,等. 在未再结晶区大压下后加速冷却工艺对钢板带状组织的影响 [J]. 钢铁研究学报,1999,11(6):14-17.
- [7] 范建文,谢瑞萍,张维旭,等. 普通C-Mn钢超细中厚板的带状组织[J]. 钢铁,2004,39(8):100-104.
- [8] 方琪,孙伟,王丙兴,等. “分段冷却”工艺对C-Mn钢中板带状组织的影响[J]. 轧钢,2008,25(1):15-15.
- [9] 颜礼功,李增,周晓玲. 消除汽车主动齿轮用钢20CrMnTi中带状组织的研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2006,31(5):20-23.
- [10] 谢文新,李国忠,曹红福. 热处理工艺对SAE8620H低碳齿轮钢带状组织的影响[J]. 特殊钢,2009,30(1):58-59.
- [11] Bracke L, Verbeken K, Kestens L, et al. Microstructure and texture evolution during cold rolling and annealing of a high Mn TWIP steel [J]. Acta. Materialia,2009,57(5):1512-1524.
- [12] 樊东黎,王广生,宋余九,等. 热处理手册(4)[M]. 北京:机械工业出版社,2005. 554.
- [13] 陈涛,时彦林. 20CrMo棒材带状组织的控制研究[J]. 热加工工艺,2007,36(2):23-25.
- [14] 哈宽富. 金属力学性质的微观理论[M]. 北京:科学出版社,1983. 342-345. [14]

最好,而固溶+时效处理后试样因第二相的析出和合金元素的偏聚出现明显的裂纹。

参考文献:

- [1] 潘复生,张丁非. 铝合金及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006. 320.
- [2] 有色金属及其热处理编写组. 有色金属及其热处理 [M]. 北京:国防工业出版社,1981. 104.
- [3] 李邓希. LD31合金时效工艺的选择[J]. 冶金丛刊,2001,(5):5-6.
- [4] 孙佰文,陆虹,戴刚,等. LD31铝合金的最佳时效工艺[J]. 热加工工艺,1995,(4):26-27.
- [5] 雷国清,黄英科. LD31铝合金型材的时效热处理[J]. 轻金属,1992,(9):50-52.
- [6] 袁鸽成,徐淑清,黎祚坚. LD铝合金高温均匀化热处理工艺研究[J]. 广东有色金属,1997,(2):46-49. [14]