

热轧后弛豫时间对 Q345GJC 高层建筑用钢板屈强比的影响

王庆敏 刘应心

(秦皇岛首秦金属材料有限公司, 秦皇岛 066326)

摘要 研究了 Nb 微合金钢 Q345GJC (% : 0.16C, 1.37Mn, 0.026Nb) 12 mm 板 850 ℃ 终轧后弛豫 30 ~ 60 s 再进入层流冷却对该钢屈强比的影响。结果表明, 延长弛豫时间可以增大铁素体晶粒尺寸和含量、珠光体球团片层增厚, 降低屈强比。当弛豫 30 s 时, 试验钢屈强比由未弛豫的 0.765 降低至 0.737; 当弛豫 60 s 时, 屈强比降至 0.718

关键词 屈强比 高层建筑钢 晶粒尺寸 片层厚度

Effect of Relaxation Time after Finishing Rolling on YS-UTS Ratio of Q345GJC Steel Plate for High-Rise Building

Wang Qingmin and Liu Yingxin

(Qinhuangdao Shouqin Metal Materials Co Ltd, Qinhuangdao 066326)

Abstract Effect of relaxing for 30 ~ 60 s after finishing rolling at 850 ℃ before cooling in air flow on yield strength-ultimate tensile strength (YS-UTS) ratio of 12 mm plate of Nb microalloying steel Q345GJC (% : 0.16C, 1.37Mn, 0.026Nb) has been studied. Results showed that with increasing relaxation time the grain size and content of ferrite increased and lamellar of pearlite colony thickened to decrease YS-UTS ratio. The YS-UTS ratio of test steel with relaxing for 30 s decreased to 0.737 from 0.765 of original un-relaxing steel, and that with relaxing for 60 s decreased to 0.718.

Material Index YS-UTS Ratio, Steel for High-Rise Building, Grain Size, Thickness of Lamellar

近年来, 我国的建筑钢结构获得了迅速的发展^[1]。钢结构作为现代建筑的重要结构形式, 具有强度高、承载能力大、可靠性好、质量轻、施工便捷、节能环保、综合技术经济指标佳和建筑造型美观等优点^[2]。钢结构建筑在震中的受损率远低于混凝土结构建筑。钢结构建筑之所以具有好的抗震性能是由于钢具有加工硬化的能力, 其中, 屈强比是衡量钢的加工硬化能力的一个重要参数。欧洲建筑用钢要求屈强比小于 0.91, 日本要求建筑用钢屈强比小于 0.80^[3], 而我国对屈服强度为 345 MPa 级的高建钢屈强比限定为 ≤ 0.80。

1 试验材料和方法

试验用钢由首秦金属材料有限公司提供, 原始组织状态为铸造状态, 钢坯原始尺寸为 130 mm (W) × 210 mm (L) × 110 mm (H)。试验钢化学成分见表 1。热轧试验在 Φ450 mm × 450 mm 二辊可逆轧机上进行。钢坯加热温度为 1150 ~ 1200 ℃, 保温 120 min。热轧工艺为两阶段轧制 (γ 再结晶区和 γ 未再结晶区), 终轧厚度 12 mm, 第 2 阶段总压下量 > 60%, 终轧温度为 850 ℃。对轧后的钢板分别进行如下处理: 1# 直接进入层流冷却, 2# 和 3# 分别弛豫 30 s 和 60 s 再进入层流冷却。

表 1 试验钢化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test steel / %

C	Mn	Si	S	P	Nb
0.16	1.37	0.36	0.006	0.015	0.026

2 试验结果与分析

2.1 组织性能检测

对热轧后不同弛豫时间的钢板进行力学性能检验, 结果如表 2 所示。

1# 钢终轧后直接进入层流冷却, 而 2# 终轧后弛豫 30 s 后进入层流冷却区, 3# 弛豫 60 s 后进入层流冷却区。表 2 中数据显示, 不同的冷却工艺对钢板性能影响较大。热轧后弛豫一段时间, 屈服强度降低较多, 而抗拉强度降低很少, 屈强比降低很多。如果将热轧后直接进入层流冷却区, 改为弛豫 30 s 后再进入层流冷却区, 可使屈强比由 0.765 降到 0.737; 而将弛豫时间由 30 s 延长至 60 s 可使屈强比降到 0.718。

图 1 是试验钢不同工艺下的室温显微组织。从图 1 可见, 终轧后直接进入层流冷却的钢板, 铁素体晶粒尺寸大小不均, 小晶粒所占比例较大, 所以组织较细, 约为 6.36 μm。终轧后直接进入层流冷却, 保留了更多的奥氏体形变时产生的形变能, 使铁素体的形核率增加, 晶粒细化。1# 钢板热轧后直接进入

表2 Q345GJC 钢板的热轧工艺参数及力学性能
Table 2 Parameters of hot rolling and mechanical properties of Q345GJC steel plate

板号	终轧温度/ ℃	弛豫时间/ s	终冷温度/ ℃	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	屈强比	珠光体面积 分数/%	铁素体晶粒 尺寸/ μm	显微硬度(HV)	
									铁素体	珠光体
1#	850	-	656	440	575	0.765	35.12	6.36	165.63	215.75
2#	850	30	650	420	570	0.737	30.93	7.89	141.42	221.62
3#	850	60	653	395	550	0.718	30.08	8.19	132.19	242.43

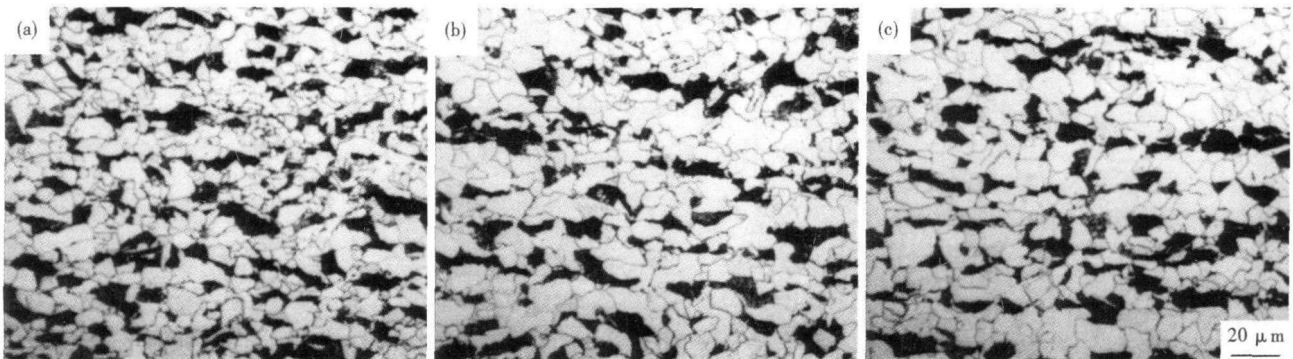


图1 Q345GJC 钢板的组织形貌, 轧后弛豫时间/s: (a)0; (b)30; (c)60

Fig. 1 Morphology of structure of Q345GJC steel plate, relaxation time after rolling /s: (a) 0; (b) 30; (c) 60

层流冷却, 铁素体晶粒没有长大的时间, 铁素体的析出过程对珠光体析出形态的影响较弱, 珠光体球团较大, 面积分数约为 35.12%。由于没有充分的时间排碳, 铁素体的显微硬度稍高, 约为 165.63 HV。

2# 钢板热轧后在高温区弛豫 30 s。奥氏体变形后在高温区弛豫时间越长, 则奥氏体形变储能释放的越多, 奥氏体向铁素体转变的驱动力变小, 铁素体形核率降低, 铁素体晶粒长大^[4]。2# 钢板的晶粒尺寸稍有长大, 约为 7.89 μm , 但铁素体晶粒大小分布非常均匀且多为等轴状。另外, 珠光体的球团变小, 弥散性好, 面积分数降低, 约为 30.93%。同时由于有充分的时间排碳, 铁素体的显微硬度变低, 由 165.63 HV 降到 141.42 HV。随着热轧后弛豫时间延长至 60 s, 3# 钢板的铁素体晶粒尺寸进一步长大, 约为 8.19 μm , 硬度继续降低到 132.19 HV, 珠光体

面积分数减少到 30.08%。比较 3 种不同的工艺, 铁素体的显微硬度呈逐渐递减趋势, 而珠光体的显微硬度呈递增趋势。

2.2 珠光体组织形貌

不同工艺下的扫描电镜微观形态如图 2 所示。由图 2 可见, 热轧后直接进入层流冷却的 1# 钢板, 由于冷速快, 珠光体形核率高, 单个珠光体球团包含多个珠光体领域, 所获得的珠光体球团片层较薄。而弛豫 30 s 后再进入层流冷却区的 2# 钢板, 由于畸变能的释放, 过冷度变小, 球光体的形核率变低, 珠光体球团只包含一个珠光体领域, 并且珠光体领域的面积较大, 但碳化物片层厚度变化并不显著。随热轧后弛豫时间的进一步延长, 珠光体领域的碳化物片层明显变厚, 面积也变大, 这是因为热轧后弛豫 30 s, 使铁素体大量生成, 促使铁素体中的碳原子向

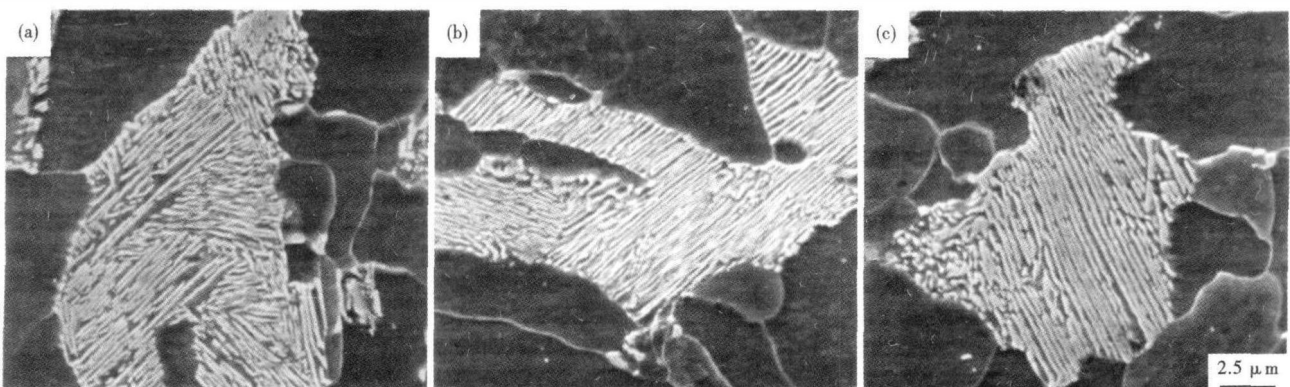


图2 Q345GJC 钢板的珠光体组织形貌, SEM, 轧后弛豫时间/s: (a)0; (b)30; (c)60

Fig. 2 Morphology of pearlite structure in Q345GJC steel plate, SEM, relaxation time after rolling /s: (a) 0; (b) 30; (c) 60

未转变的奥氏体中富集,使得生成的珠光体领域内的碳化物片层变厚。珠光体片层间距增大,对位错运动的阻碍作用会减小,不利于珠光体强度的提高,然而随后的冷却过程抑制了铁素体的继续长大,并且促使高碳浓度的奥氏体向珠光体转变,获得强度较高的珠光体组织。表 2 所列的珠光体硬度数据显示,随着弛豫时间的延长,珠光体的显微硬度逐渐升高,与上述说法一致。轧后弛豫过程不仅可使钢材的铁素体含量得到有效提高,而且可以增大铁素体的尺寸,降低铁素体晶粒内位错密度,从而使钢材屈服强度下降。而高碳浓度奥氏体的珠光体相变产物则可能使抗拉强度不降或下降很少,从而达到降低屈强比的目的^[5]。

2.3 低屈强比形成分析

常规铁素体/珠光体强度指标与化学成分及晶粒尺寸的 Pickering^[6]关系如(1)、(2)式所示:

$$R_{cl} = 15.4 [3.5 + 2.1(\text{Mn}) + 5.4(\text{Si}) + 23(\text{Nf})^{1/2} + 1.13d^{-1/2}] \quad (1)$$

$$R_m = 15.4 \{19.1 + 1.8(\text{Mn}) + 5.4(\text{Si}) + 0.25[s(\text{P})]^{1/2} + 0.5d^{-1/2}\} \quad (2)$$

式中:(Mn)、(Si)、(Nf)-分别为 Mn、Si 和固溶氮的质量分数;s(P)-珠光体的面积分数;d-铁素体晶粒尺寸。

由公式(1)可知,屈服强度主要受铁素体晶粒尺寸的影响。因此,可以认为在早期屈服时,流变应力与珠光体含量的多少关系不大,只取决于可动位错在铁素体内的运动。随着应变量的增大,流变应力与珠光体含量的依赖关系才逐渐增强。而由公式(2)看出,铁素体晶粒细化对屈服强度的增加贡献较大,但对抗拉强度的增加贡献较小。而珠光体作为硬相,它的含量对钢的抗拉强度影响较大。因此,当铁素体晶粒细化时,使铁素体和珠光体之间的屈服强度差变小,即软相变硬,而硬相则相对的变软。当细化的铁素体晶粒屈服的时候,作为硬相的珠光体也将随即发生塑性变形,处于加工硬化状态,已经不能作为硬相承担软相处传递过来的应力集中,也不能使应力集中得到释放。所以,整个钢的加工硬化能力变弱,屈强比升高。

由上述分析,可以得出这样的结论:随着晶粒尺寸的减小,屈服强度的增加值要大于抗拉强度的增加值。从而导致屈强比升高;反之,铁素体晶粒越粗大,则屈强比越低。

抗拉强度值首先取决于屈服强度值,其次与形

变强化潜力有关。对于铁素体/珠光体钢,其抗拉强度可表示为^[7]:

$$TS = V_F \sigma_F + V_H \sigma_H \quad (3)$$

式中:TS-抗拉强度; V_F -铁素体相体积分数; σ_F -铁素体相抗拉强度; V_H -珠光体体积分数; σ_H -珠光体抗拉强度。

从公式(3)知,若铁素体的体积分数变大,珠光体的体积分数变小,通常抗拉强度 TS 就要减少。为了在不降低抗拉强度的前提下还要增大铁素体的体积分数(V_F),就必须增大珠光体的强度。从公式(2)知,在珠光体含量不多的情况下,面积分数对抗拉强度的影响不大。为此,可通过碳向珠光体中大量扩散,使珠光体的硬度提高,形变强化能力增强,从而保证珠光体强度,最终达到降低屈强比的作用。

3 结论

(1)在相同的化学成分和轧制条件下,通过终轧后弛豫一段时间可使试验钢的屈强比由 0.765 降至 0.718。

(2)弛豫一段时间后,铁素体晶粒由 6.36 μm 长大到 8.19 μm ,铁素体面积分数变大,屈服强度降低。而碳在珠光体内的大量富集使抗拉强度降低很少,从而达到降低屈强比的目的。

(3)对于由复相组织构成的钢,要降低屈强比,关键在于控制软相和硬相的强度差别。软相与硬相的强度差较大时,则钢的屈强比较低;软相和硬相强度差较小时,则钢的屈强比较高。

参考文献

- 1 孙邦明,杨才富,张永权.高层建筑用钢的发展.宽厚板,2001(3):1
- 2 刘志勇,杨才福,沈俊昶.建筑用耐火钢组织与性能的研究.钢结构,2005,20(8):75
- 3 Sha W, Kelly F S. Properties of Nippon Fire-Resistant Steels. Metallurgical Transaction, 1999, 8(1):606
- 4 Yu Qingbo, Liu Xianghua, Wang Guodong. The Effect of Delay Time After Hot Rolling on the Grain Size of Ferrite. ISIJ International, 2004, 44(4):710
- 5 朱伏先,余广夫,张中平.冷却工艺对 HP295 焊瓶钢板屈强比的影响.钢铁,2005,40(8):38
- 6 栗飯原周二.結晶粒超微細化鋼の諸特性と应用. NMA-ISIJ, 2003(177,178):155
- 7 Shikanai N, Kagawa H, Kurihara M. Influence of Microstructure on Yield Behavior of Heavy Gauge High Strength Steel Plates. ISIJ International, 1992, 32(3):335

王庆敏(1983-),男,硕士,助理工程师,金属材料及轧钢工艺研究。

收稿日期:2008-11-19