

Nb 和热处理对 C-Mn-Si 系冷轧双相钢组织和性能的影响

张增良¹ 宋仁伯^{2,3} 程知松⁴ 赵征志¹ 赵爱民¹ 刘光明³ 熊爱明³

(1 北京科技大学冶金工程研究院,北京 100083; 2 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083;
3 首钢技术研究院,北京 100041; 4 高效轧制国家工程研究中心,北京 100083)

摘要 用 25 kg 真空感应炉冶炼的含 Nb 双相钢(% :0.19~0.21C、0.7~0.8Si、1.9~2.1Mn、0.02~0.04Nb) 和不含 Nb 双相钢(% :0.17~0.19C、0.4~0.6Si、1.7~1.9Mn),经实验室双辊轧机轧成 3.5 mm 板,再冷轧至 1.0 mm 和 1.36 mm 钢板。冷轧板通过盐浴炉加热至 740~820 °C 缓冷至 680 °C,再以 ≥50 °C/s 冷至 280 °C 保温 240 s 空冷。结果表明,随加热温度提高,铁素体-马氏体组织中的马氏体量增加;当加热温度为 820 °C 时 C-Mn-Si 双相钢抗拉强度可达 1 050 MPa,加 Nb 后由于晶粒进一步细化,820 °C 加热时,其抗拉强度可达 1 200 MPa。

关键词 C-Mn-Si 系双相钢 马氏体 Nb 力学性能

Nb and Heat Treatment on Structure and Properties of C-Mn-Si Series Cold Rolled Dual Phase Steel

Zhang Zengliang¹, Song Renbo^{2,3}, Cheng Zhisong⁴, Zhao Zhengzhi¹, Zhao Aimin¹, Liu Guangming³ and Xiong Aiming³

(1 Institute of Metallurgy Engineering Research, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
3 Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100041; 4 National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The dual phase steel adding Nb (0.19~0.21C, 0.7~0.8Si, 1.9~2.1Mn, 0.02~0.04Nb) and no adding Nb (0.17~0.19C, 0.4~0.6Si, 1.7~1.9Mn) were melted by using a 25 kg vacuum induction furnace and hot rolled to 3.5 mm plate by two-high mill then cold rolled to 1.0 mm and 1.36 mm sheet in laboratory. The cold sheet heated in salt bath furnace to 740~820 °C, slow cooled to 680 °C then fast cooled with cooling rate ≥50 °C/s to 280 °C for 240 s, air cooling. Results showed that with increasing heating temperature, the martensite content in ferrite-martensite structure increased; As heating temperature was 820 °C, the tensile strength of C-Mn-Si dual phase steel no adding Nb was up to 1 050 MPa, and as adding Nb to further fine grain of structure, the tensile strength of steel was up to 1 200 MPa.

Material Index C-Mn-Si Series Dual Phase Steel, Martensite, Nb, Mechanical Properties

双相钢由铁素体与马氏体组成,以相变强化为基础,具有低屈强比,高的初始加工硬化速率,良好的强度和延性配合等特点,是一种成形性能优良的汽车用钢^[1]。现代冷轧双相钢的生产包括冶炼、连铸、热轧、冷轧与连续退火等环节。合理的成分设计与生产工艺控制是得到高品质双相钢的重要保证。

1 实验材料及方法

1.1 成分设计、冶炼和轧制

本实验成分设计的依据主要有:(1)采用低碳低合金元素 C-Mn-Si 系钢;(2)强度 ≥800 MPa 并且具有良好的延性。

设计化学成分范围见表 1,其中钢 A 成分不添加任何微合金元素,钢 B 成分添加了少量的 Nb。实验用钢在真空感应炉中冶炼,所得每种成分的坯料量均为 25 kg,经过 1 250 °C 扩散退火 4 h,以减轻高 Mn 引起的偏析。

表 1 实验用铁素体-马氏体双相钢的化学成分/%
Table 1 Chemical compositions of test ferrite-martensite dual phase steel / %

实验钢	C	Si	Mn	Nb	P	S
钢 A	0.17~0.19	0.4~0.6	1.7~1.9	-	≤0.03	≤0.02
钢 B	0.19~0.21	0.7~0.8	1.9~2.1	0.02~0.04	≤0.03	≤0.02

坯料在实验室的双辊实验轧机上经过 8 道次热轧至 3.5 mm 厚。热轧加热温度 1 200 °C,保温 2 h,开轧温度 ≥1 150 °C,再结晶区轧制温度 ≥1 000 °C,未再结晶区轧制温度 ≤950 °C,控制终轧温度在 800~830 °C 范围内,水冷至 650 °C,水冷速率 15 °C/s,模拟卷取,空冷至室温。热轧板经酸洗后进行冷轧,钢 A、钢 B 两种成分钢板冷轧后的厚度分别为 1.0、1.36 mm,冷轧压下率在 65%~73%。

1.2 实验室模拟连续退火

实验室模拟连续退火是通过在两个井式盐浴炉

中加热来完成的,一个是高温盐浴炉,另一个是低温回火盐浴炉。冷轧钢板试样尺寸为 25 mm × 165 mm × h(h 为钢板的厚度)。结合工艺实际^[2],盐浴退火实验工艺为试样快速加热至 740 ~ 820 °C,保温 80 ~ 90 s,缓冷至 680 °C,以 ≥ 50 °C/s 速度冷至 280 °C,低温盐浴中保温 240 s,空冷。

2 实验结果

2.1 加热温度对力学性能的影响

图 1 为加热温度对钢 A 和钢 B 力学性能的影响。从图 1 可见,在给定快冷温度和冷却速度下,钢

A 的加热温度在 780 °C 时,强度可以达到 800 MPa, 800 °C 时,强度达到 990 MPa 接近 1 000 MPa; 钢 B 的加热温度在 780 °C 时,强度达到 800 MPa,加热温度在 800 °C 时,强度可以达到 1 000 MPa 以上,均可以得到性能优良的双相钢,且在温度波动不是太大时,强度变化不大,伸长率有一定的波动。这样,用同一化学成分的钢既可以生产出 800 MPa 级的双相钢,又可生产出 1 000 MPa 级的高强钢。通过调整加热温度,生产的高强钢的力学性能可以从 600 MPa 的 HSLA 级(低合金高强度)提升到 1 200 MPa 的

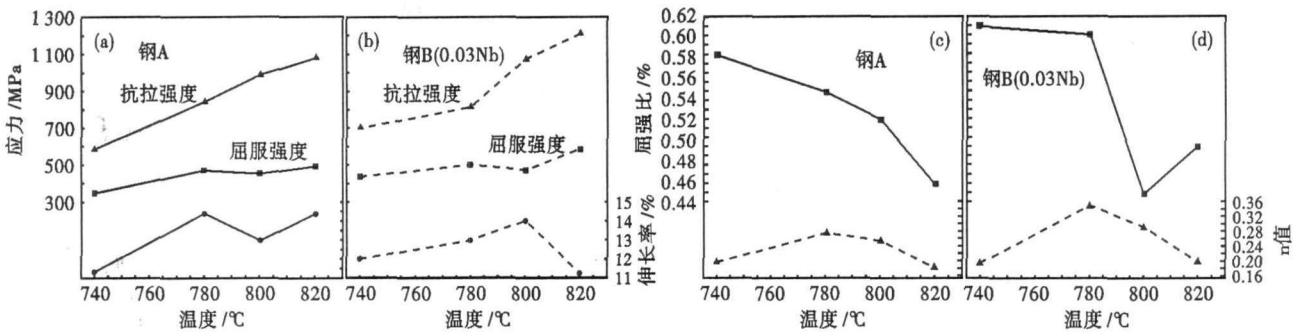


图 1 退火加热温度对不加 Nb(钢 A)和加 Nb(钢 B)铁素体-马氏体双相钢力学性能的影响

Fig.1 Effect of annealing heating temperature on mechanical properties of no adding Nb (steel A) and adding Nb (steel B) ferrite-martensite dual phase steel

UHSS 级(超高强度),并具有良好的使用性能。

2.2 Nb 对双相钢力学性能和组织的影响

固溶状态的 Nb 延迟钢在热变形过程中静态和动态再结晶和奥氏体向铁素体的相变,因此含铌双相钢的铁素体基体较其他双相钢不够纯净,伸长率较低。Nb 与 C 和 N 结合形成小的碳氮化物也可延迟再结晶,阻止晶粒长大,并有明显弥散强化效果。因此实验钢 B 的抗拉强度较大。

从图 1 中也可以看出,在相同的加热温度下,钢 A 和钢 B 屈服强度相差不大,抗拉强度则是逐渐升高。钢 B 中添加了 Nb,从而在退火后的 800, 900, 1 000 MPa 3 个强度级别的钢试样应力应变曲线均表现为连续屈服,具备双相钢的典型力学特征,且具有较高的 n 值,较低的屈强比,最大不超过 0.62。表 2 为 800 °C 时 2 种实验钢的力学性能对比。

2.3 冷却速度对双相钢力学性能和组织的影响

由表 3 可见,冷却速度越大,强度就越大,总伸长率越低,马氏体含量越大。由本试验 CCT 曲线可知,冷速达 40 °C/s 组织基本就是马氏体。同时,冷速高使得铁素体中的固溶碳升高,从而引起铁素体显微硬度升高,强度升高,延性下降,因此导致双相钢的延性下降。

表 2 加 Nb 和加 Nb C-Mn-Si 铁素体-马氏体双相钢性能对比

Table 2 Comparison of properties between no adding and adding Nb C-Mn-Si ferrite-martensite dual phase steel

实验钢	退火温度/°C	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	屈强比	n 值
钢 A	800	450	990	13.0	0.45	0.25
钢 B (0.03Nb)	800	470	1 070	14.0	0.44	0.29

表 3 冷却速度对加 Nb 铁素体-马氏体双相钢力学性能和马氏体含量的影响

Table 3 Effect of cooling rate on martensite content and mechanical properties of adding Nb ferrite-martensite dual phase steel

冷却速度/(°C · s ⁻¹)	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	总伸长率/%	马氏体体积分数(V _m)/%
50	500	955	12.7	49.35
833(水冷)	700	1 140	9.8	55.26

3 分析与讨论

从实验数据可以看出,双相钢的力学性能比较特殊,与一般的低合金高强度钢相比,具有很低的屈强比(≤ 0.60),较高的加工硬化能力(n 值 ≥ 0.20),良好的强度与延性配合。双相钢的这种力

学特征正是由其特殊的双相组织所决定的^[3]。

图2为两种实验钢的光学显微组织,组织中白色的为铁素体,灰黑色的为马氏体,铁素体周围分布着小岛状的马氏体,符合典型的双相钢组织特征。钢B的组织比钢A细小。

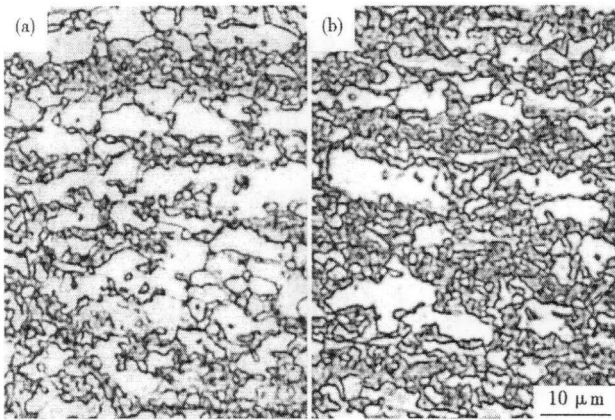


图2 热处理后不加 Nb(a- 钢 A)和加 Nb(b- 钢 B)铁素体-马氏体双相钢的组织形貌。800 ℃加热,缓冷至 680 ℃,50 ℃/s快冷至 280 ℃保温 240 s,空冷

Fig.2 Morphology of structure of no adding Nb (a- steel A) and adding Nb (b- steel B) ferrite-martensite dual phase steels heat treated with heating at 800 ℃, slow cooled to 680 ℃ then fast cooled with ≥ 50 ℃/s to 280 ℃ for 240 s, air cooling

钢 A 试样的加热温度从 780 ℃增至 800 ℃时,从扫描组织中可以看出,马氏体数量增加(图3)。

一般低合金高强度钢由铁素体、珠光体以及铁素体内碳化物、氮化物沉淀等组织组成,铁素体中含有间隙固溶强化元素。在这种组织内,位错被间隙原子形成的 cottrell 气团钉扎以及碳、氮化合物沉淀所阻碍,不能自由运动,因此这类钢的屈服应力较高,具有明显的屈服点伸长或屈服平台^[4]。

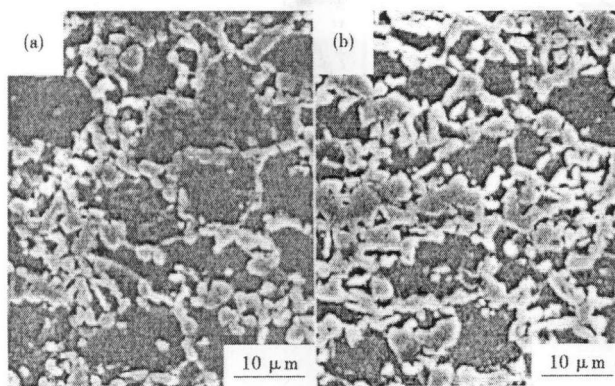


图3 加热温度对不加 Nb(钢 A)铁素体-马氏体双相钢马氏体含量的影响:(a) 780 ℃;(b) 800 ℃,SEM

Fig.3 Effect of heating temperature on martensite content in no adding Nb (steel A) ferrite-martensite dual phase steel, SEM; (a) 780 ℃; (b) 800 ℃

双相钢经临界区处理后,碳化物溶解于形成的奥氏体中,铁素体成为无间隙固溶强化和沉淀强化的铁素体,奥氏体发生马氏体转变时,体积膨胀 3%~8%,则会在马氏体-铁素体交界面附近诱发出高密度的可动位错(图4),这些可动位错在低的外加应力下便可以运动,引起材料屈服,而强韧马氏体的存在,可以协调塞积端的应力集中,这样就得到一个连续的拱形应力-应变曲线。

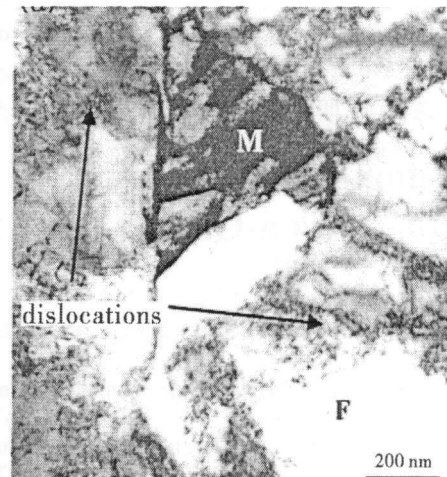


图4 铁素体-马氏体双相钢组织中马氏体附近铁素体中的位错形貌,TEM

Fig.4 Morphology of dislocation in ferrite nearby martensite in ferrite-martensite dual phase steel, TEM

4 结论

(1) C-Mn-Si 系双相钢在 780~820 ℃加热,680 ℃时快冷,然后放入 280 ℃低温盐浴中过时效 240 s,可以获得 800~1 000 MPa 高强度级别的冷轧铁素体-马氏体双相组织,随加热温度的提高,组织中马氏体量增多,抗拉强度提高。

(2) 钢中加 Nb 可以细化铁素体和马氏体晶粒,钢的强度明显提高。

参考文献

- 1 马鸣图,吴宝裕. 双相钢-物理和力学冶金. 北京:冶金工业出版社,1988
- 2 Rocha R O, Melo T M F, Pereloma E V, et al. Microstructural Evolution at the Initial Stages of Continuous Annealing of Cold Rolled Dual-phase Steel. *Materials Science and Engineering A*, 2005 (391): 296
- 3 邝霜,康永林,于浩,等. 冶金成分与连续退火工艺参数双相钢性能的影响. 2006 年博士生学术论坛论文.
- 4 夏虹. 汽车制造业很有前途的替代材料-双相钢. *天津汽车*, 1991(4): 38

张增良(1981-),男,硕士研究生,汽车用冷轧高强度钢的研究。

收稿日期:2007-09-17