

碳含量对贝氏体型冷作强化非调质钢的组织 and 力学性能的影响

计芳芳^{1,2} 惠卫军^{1,2} 吴勇生¹ 于同仁³ 孙 维³

(1 昆明理工大学材料科学与工程学院, 昆明 650093; 2 钢铁研究总院先进钢铁材料技术国家工程研究中心, 北京 100081; 3 马鞍山钢铁股份有限公司技术中心, 马鞍山 243002)

摘 要 研究了 0.09% ~ 0.14% C 含量对 5% ~ 50% 冷拔减面率和 100 ~ 500 °C 2 h 时效处理的 2Mn-0.003B-0.05Ti 非调质钢组织和力学性能的影响。结果表明, 当碳含量较低(0.09% ~ 0.12% C)时, 可获得比较细小均匀的粒状贝氏体组织, 但当碳含量为 0.14% 时, 则组织中出现块状铁素体; 在相同的拉拔减面率下, 随着碳含量的增加, 该钢的强度提高, 塑性降低, 当减面率较大时, 这种差别比较明显; 随着碳含量的升高, 时效处理后的该钢强度增量明显降低。

关键词 Mn-B-Ti 冷作强化非调质钢 碳含量 粒状贝氏体 力学性能

Effect of Carbon Content on Structure and Mechanical Properties of Cold Hardening Microalloyed Bainite Steel

Ji Fangfang^{1,2}, Hui Weijun^{1,2}, Wu Yongsheng¹, Yu Tongren³ and Sun Wei³

(1 Faculty of Material Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093; 2 National Engineering Research Center of Advanced Steel Technology, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081; 3 Technical Center, Maanshan Iron and Steel Co Ltd, Maanshan 243002)

Abstract Effect of 0.09% ~ 0.14% C content on structure and mechanical properties of 2Mn-0.003B-0.05Ti microalloying steel cold drawn with 5% ~ 50% reduction and aged at 100 ~ 500 °C for 2 h has been studied. Results show that with lower carbon content (0.09% ~ 0.12% C), the finer and uniform distributed granular bainite structure in steel is obtained, while with 0.14% C, the lumpy ferrite shall occur in structure; at same cold-drawing reduction, with increasing carbon content the strength of steel increases and plasticity decreases, and the larger the reduction, the more significant the tendency; and with increasing carbon content the increment of strength of steel aged obviously decreases.

Material Index Mn-B-Ti Cold-Hardening Microalloying Steel, Carbon Content, Granular Bainite, Mechanical Properties

为了节能降耗、避免热处理变形和淬火裂纹, 对于冷加工量较小的高强度长杆形、双头及 U 型螺栓, 可采用冷作强化非调质钢来制造^[1]。为了使冷作强化非调质钢具有良好的强韧性配合及良好的冷加工性, 基本上采用了低碳、高锰及微合金化的成分体系。对于制作 10.9 级螺栓的冷作强化非调质钢, 其基体组织主要为低碳贝氏体^[2-4]。增加钢中碳含量虽然有利于提高贝氏体组织的强度, 但对其塑性特别是冷加工性将有较大的损害。

1 实验材料和方法

实验钢采用 25 kg 真空感应炉冶炼, 浇铸成 22 kg 钢锭, 其化学成分见表 1。钢锭锻造成 $\Phi 16$ mm 圆棒, 终锻温度 800 °C, 锻后空冷。圆棒进行酸洗、表面预处理, 随后进行减面率(γ)分别为(%) : 10、20、30、40、50 的冷拔。部分冷拔态实验钢在 100 ~

表 1 实验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel / %

编号	C	Si	Mn	B	Ti	Als	P	S
B5	0.09	0.27	2.03	0.003	0.05	0.02	0.005	0.003
B6	0.12	0.28	2.02	0.003	0.05	0.03	0.006	0.006
B7	0.14	0.26	2.00	0.003	0.06	0.02	0.005	0.005

500 °C 进行时效处理, 保温时间为 2 h。

将上述实验钢加工成标准拉伸试样($l_0 = 5 d_0$, $d_0 = 5$ mm), 在 Z150/SN5A 型电子式材料试验机上进行拉伸实验; 将实验钢沿纵向切开, 经研磨、抛光后在 4% 硝酸酒精溶液中腐蚀, 随后在 Leica 光学金相显微镜和日立 S-4300 型场发射扫描电子显微镜(SEM)下观察微观组织并采集图像。

2 实验结果及讨论

2.1 微观组织特征

通讯作者: 吴勇生, 教授, 昆明理工大学材料科学与工程学院, 昆明 650093

由图1可见,实验钢B5和B6的锻态组织均为由贝氏体铁素体+M-A岛组成的粒状贝氏体,组织比较细小均匀,而B7钢因碳含量较高,锻态组织为粒状贝氏体+少量块状铁素体。这是由于增加钢中C含量,将使钢的连续冷却转变曲线,特别是贝氏体部分右移,不利于形成空冷贝氏体。因此,钢中的碳

含量应控制在0.14%以下,以在空冷条件下得到较理想的全粒状贝氏体组织,避免块状铁素体的形成。

图2为实验钢在拉拔态的微观组织形貌。贝氏体铁素体随变形量所产生的变化与上述铁素体+珠光体组织中铁素体的变化规律基本一致,即随着变形量的增加,贝氏体铁素体沿变形方向逐渐伸长,变

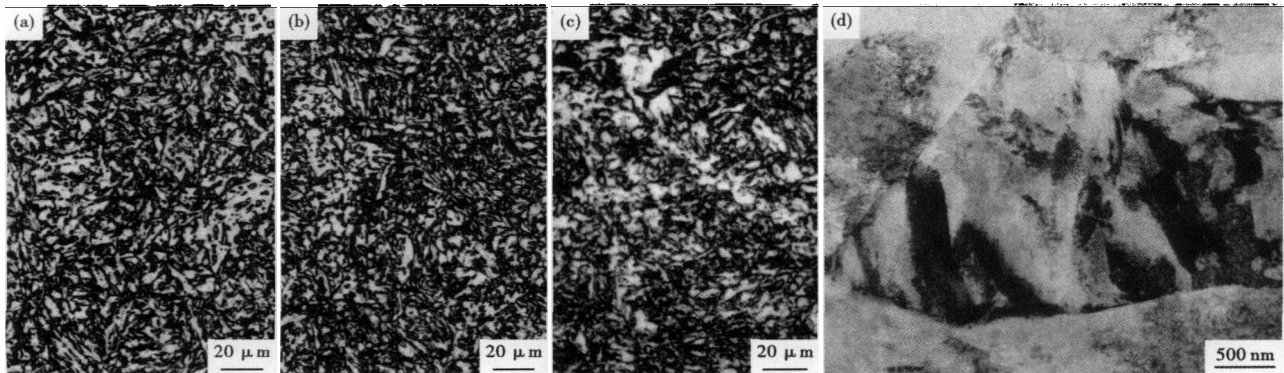


图1 锻态 Mn-B-Ti 钢的组织形貌:(a)0.09% C,(b)0.12% C,(c)0.14% C,光学显微镜;(d)0.12% C,M-A 岛透射电镜

Fig. 1 Structure morphology of forged Mn-B-Ti steel; (a) 0.09% C, (b) 0.12% C, (c) 0.14% C, optical; (d) 0.12% C, M-A island, TEM

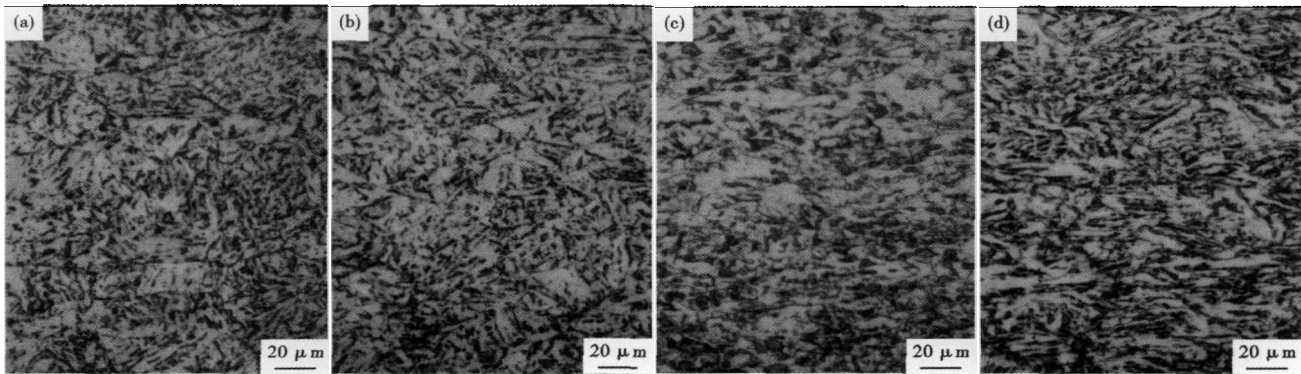


图2 0.09% C Mn-B-Ti 钢冷拔态组织形貌,减面率/%:(a)10;(b)21.6;(c)29.7;(d)48.9

Fig. 2 Structure morphology of cold-drawn 0.09% C Mn-B-Ti steel, reduction /%:(a) 10; (b) 21.6; (c) 29.7; (d) 48.9

形量越大,伸长的程度越明显。

2.2 力学性能特征

由图3可见,随着拉拔减面率 γ 的增加,位错密度迅速增加,使得实验钢的强度逐渐增加,塑性逐渐降低,特别是当 γ 大于20%时,这种增加或降低的趋势渐缓。值得注意的是,在拉拔初期(γ 小于10%),屈服强度急剧增加,伸长率急剧降低,随后这种变化趋势渐缓。

冷作强化非调质钢在冷变形后需进行时效处理(亦称稳定化处理),使冷变形产生的大量可动位错稳定化,以满足螺栓保证载荷试验的要求^[1]。从图

4可以看出,随着时效温度的升高,实验钢的强度提高,当达到200~300℃时,强度达到峰值,随后强度又随时效温度的升高而降低;塑性随时效温度的升高则变化不明显。从表2中可以看出,随着实验钢碳含量的升高,时效处理后的强度增量明显降低,如抗拉强度增量从B5钢的105 MPa降低到B7钢的25 MPa。特别应当指出的是,拉拔后屈强比显著提高,时效处理后屈强比又进一步明显提高,而屈强比随碳含量的提高有所降低。

考虑到时效处理(300℃×120 min)时不同碳含量实验钢的强度增量,则为了满足10.9级螺栓钢

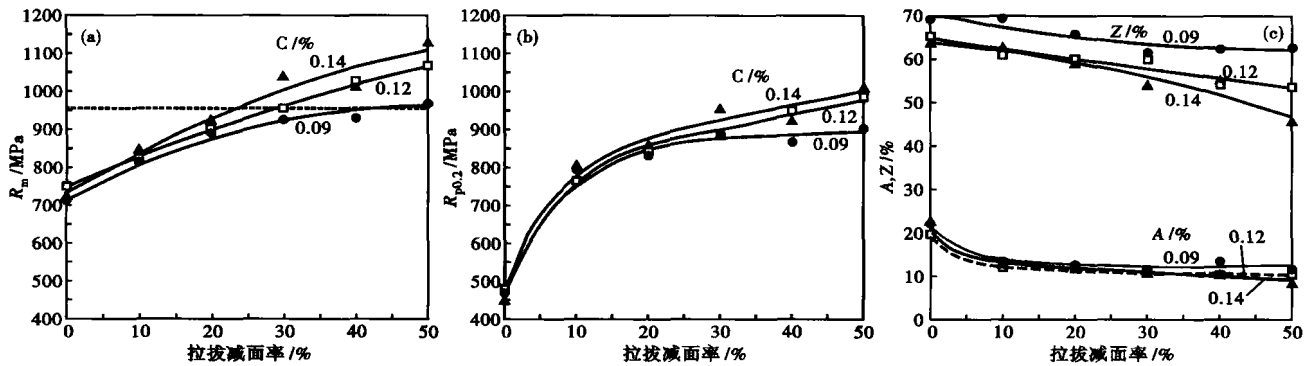


图 3 碳含量和拉拔减面率对 Mn-B-Ti 钢的力学性能的影响

Fig. 3 Effect of carbon content and cold-drawing reduction on mechanical properties of Mn-B-Ti steel

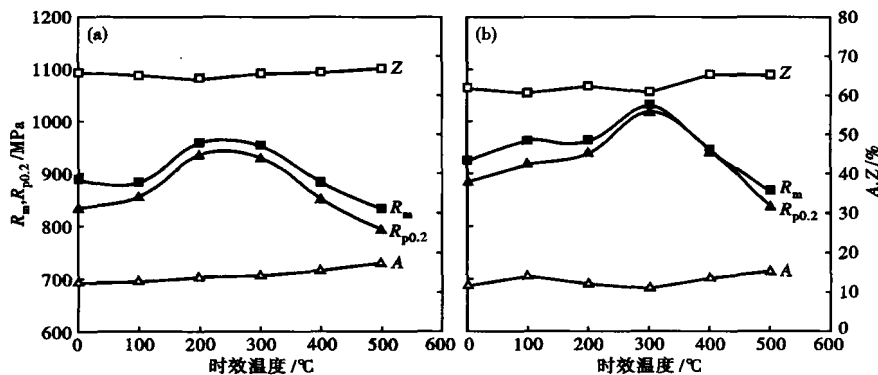


图 4 时效温度对 0.09% C Mn-B-Ti 钢力学性能的影响, 拉拔减面率/% : (a) 21.6; (b) 29.7

Fig. 4 Effect of aging temperature on mechanical properties of 0.09% C Mn-B-Ti steel, cold-drawing reduction /% : (a) 21.6; (b) 29.7

表 2 不同碳含量 Mn-B-Ti 钢锻态、拉拔和时效态的力学性能
Table 2 Mechanical properties of forged, cold-drawn and cold-drawn + aged Mn-B-Ti steel with different carbon content

碳含量/ %	状态	拉拔减面率 (γ)/%	R_m / MPa	$R_{p0.2}$ / MPa	$R_{p0.2}/$ R_m	A/%	Z/%
0.09	锻态	0	708	465	0.657	21.8	69.0
	拉拔	29.7	925	885	0.957	11.5	61.8
	300 °C 120 min 时效	29.7	1 030	1 018	0.988	11.0	60.8
0.12	锻态	0	750	478	0.637	19.5	65.3
	拉拔	29.7	958	885	0.924	10.8	60.0
	300 °C 120 min 时效	29.7	1 018	998	0.980	12.8	60.5
0.14	锻态	0	728	450	0.618	22.5	63.8
	拉拔	29.2	1 040	958	0.921	11.0	54.0
	300 °C 120 min 时效	29.2	1 065	1 045	0.981	11.8	61.3

的强度要求 (抗拉强度 $R_m \geq 1\,000$ MPa, $R_{p0.2} \geq 900$ MPa), B5、B6、B7 三种实验钢的 γ 应分别大约在 23%、27%、25%。 γ 不宜过高, 这一方面是为了满足线材拉拔后螺栓冷锻成型时要求具有足够塑性, 以避免冷锻开裂; 另一方面是避免拉拔量过大时可能在线材内部出现微裂纹^[5]。

3 结论

(1) 实验研究的低碳 Mn-B-Ti 系冷作强化非调质钢的碳含量应 $< 0.14\%$, 以在空冷条件下得到全粒状贝氏体组织, 避免块状铁素体的形成。

(2) 随着实验钢碳含量的升高, 时效处理后的强度增量明显降低。

国家科技支撑计划资助项目 (2007BAE30B04)

参考文献

- 惠卫军, 翁宇庆, 董瀚. 高强度紧固件用钢. 北京: 冶金工业出版社, 2009
- Heritier B, Maitrepierre P, Rufes-Vernis J, et al. HSLA Steels in Wire Rod and Bar Applications. HSLA Steels-Technology and Applications. Philadelphia Pa, Oct, 3-6, 1983, ASM Metals Park, Ohio, 981-989
- 芹川修道. 非调质高强度螺栓の製造法と特性. 热处理, 1984, 24 (1): 25
- Boratto F, Ricardo M, Santos M, et al. Microalloyed Bainitic Steels for 10.9 Strength Class Fasteners. Wire J Inter, 1992 (9): 129
- 阎振策, 张万显, 任海鹏. 10.9 级螺栓用非调质钢强韧化机理研究. 钢铁钒钛, 1992, 13 (3): 1

计芳芳 (1984-), 女, 硕士研究生, 贝氏体型冷作强化非调质钢的组织 and 力学性能研究。

收稿日期: 2010-03-03