V-N对中碳SiMn非调质钢显微组织的影响

刘宏玉[1] 刘建华[2] 黄 刚[1] 唐 历[2] 余承露[1] 谭克建[2] 陈小龙[2]
(1 武汉科技大学理学院,武汉 430081; 2 攀枝花新钢钒股份有限公司,攀枝花 617062)

摘 要 用光学显微镜和透射电镜研究了0.130% V-0.021 5% N、0.130% V-0.030 4% N和0.001% V-0.020 7% N三种V-N含量的(%)0.37~0.38C、0.82~0.92Si、1.78~1.81Mn、0.06Ti、0.015Nb非调质钢的组织,用Gleeble 1500热模拟机测定了该钢的应力-应变曲线,并用JMatPro4.1软件计算了该钢的CCT曲线以及900 ℃和600 ℃平衡状态下钢中各相的含量。结果表明,该钢的组织为珠光体+先共析铁素体,随氮含量增加,珠光体增多,晶界铁素体变粗;随钒含量减少,珠光体数量显著增加,贝氏体及铁素体变粗;共析铁素体和先共析铁素体中的析出物尺寸≤3 nm;V和/或N含量高的钢,应变时应力大。

关键词 V-N 中碳SiMn非调质钢 显微组织

Effect of V-N on Microstructure of a Medium Carbon SiMn Non-Quenched and Tempered Steel

Liu Hongyu[1], Liu Jianhua[2], Huang Gang[1], Tang Li[2], Yu Chenglu[1], Tan kejian[2] and Chen Xiaolong[2]
(1 College of Science, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081;
2 Panzhihua new Steel & Vanadium Co Ltd, Panzhihua 617062)

Abstract Structure of a non-quenched and tempered steel-(%) 0.37~0.38C, 0.82~0.92Si, 1.78~1.81Mn, 0.06Ti, 0.015Nb with three different V-N content-(%) 0.130V-0.021 5N, 0.130V-0.030 4N and 0.001V-0.020 7N was studied by optical microscope and transmission electron microscope, strain-stress curves of the steel were measured by Gleeble 1500 thermal simulation machine and continuous cooling transformation curves of the steel and each phase content in steel at 900 ℃ and 600 ℃ in equilibrium state were calculated by JMatPro4.1 software. Results showed that the structure of the steel was pearlite + proeutectoid ferrite; with increasing N content, the amount of pearlite increased with boundary ferrite coarsening; and with decreasing V content, the amount of pearlite increased with bainite and ferrite coarsening; the size of precipitates in proeutectoid ferrite and in eutectoid ferrite was ≤3 nm; and the stress during train for steel with higher V and / or N content was larger.

Material Index V-N, Medium Carbon SiMn Non-Quenched and Tempered Steel, Microstructure

非调质钢与相应的调质钢相比,其缺点是强度和硬度有余而韧性不足[1]。提高非调质钢韧性有多种途径,目前研究最多的为晶内铁素体技术[2]。一些学者研究了晶内铁素体在MnS[3]、Ti_2O_3[4]等夹杂物上的形核,而有些则研究了在V(C,N)型夹杂物或析出物上晶内多边铁素体的形核[5]。以前人们多把注意力放在V(C,N)铁素体内的析出强化上,对于采用热变形工艺使V(C,N)在奥氏体中析出,使晶内铁素体在其上形核,细化铁素体晶粒,以提高钢韧性的研究,是近年来的研究趋势[6]。本文在30MnVS成分的基础上[7],改变了V、N的含量,以探索这类钢的组织特征。

1 实验材料与方法

实验钢经25 kg真空感应熔炼炉熔炼(表1),通过添加V-Fe、V-N合金来控制钢中V、N含量,Ti、Nb及Als(酸溶铝)的含量由工业纯铁带入。浇铸成15 kg钢锭后锻造成Φ30 mm圆棒,将圆棒机加工成Φ8 mm×12 mm的热模拟试样后,在Gleeble 1500热模拟试验机上进行压缩实验。试样从室温快速升温至1 200 ℃后保温10 min,冷却到900 ℃进行应变速率为1 s^{-1}、工程应变量为30%的热变形,保温10 min后,以1 ℃/s冷却到室温。将热变形后的试样从中心沿压缩轴方向切开,用4%的硝酸酒

表1 实验钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of test steels /%

试样编号	C	Si	Mn	P	S	V	Ti	Nb	Als	N	O_T
L4	0.38	0.92	1.78	0.013	0.07	0.130	0.06	0.015	0.014	0.021 5	0.002 0
L5	0.37	0.82	1.81	0.011	0.06	0.130	0.06	0.015	0.014	0.030 4	0.002 7
L6	0.37	0.92	1.79	0.012	0.07	0.001	0.06	0.015	0.014	0.020 7	0.002 3

精溶液侵蚀,采用 Olympus-BX51M 显微镜观察切面中心处的金相组织,并用 Tecnai G2 20 透射电镜观察薄膜样品的精细组织及形貌。

2　实验结果与讨论

2.1　金相组织

L4 的组织由大量针状铁素体、贝氏体、晶界多边铁素体和少量珠光体组成;L5 则由大量贝氏体、针状铁素体、晶界多边铁素体和珠光体组成;L6 由贝氏体、晶界多边铁素体和大量珠光体组成(图 1)。

由表 1 和图 1 可知:(1)L5 和 L4 比较,随 N 含量的增加,冷却到 Ar_1 以下温度发生相变时,沿原奥氏体晶界析出较粗的晶界铁素体,沿晶内析出物(如 V、Ti、Nb 等的碳、氮化物)析出的铁素体则成为针状铁素体。(2)L6 同 L4 比较,由于 V 含量大量减少,析出物明显减少,珠光体数量显著增加,贝氏体及铁素体则变粗。

2.2　TEM 组织

3种钢中的析出物为:(1)呈方形、圆形或椭圆形,数量不多,尺寸为 30 ~ 100 nm。能谱分析表明,其成分主要为 V、Nb、Ti 的碳氮化物。(2)呈弥散分布,数量多、尺寸≤3 nm,在先共析铁素体和珠光体的铁素体中析出,如图 2 所示。

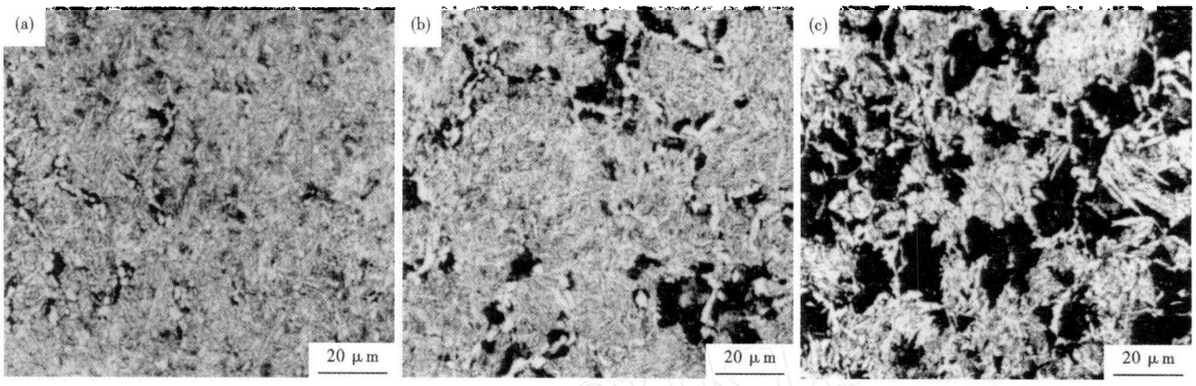

图 1　试验钢的金相组织:(a) L4,0.130% V-0.021 5% N; (b) L5,0.130% V-0.030 4% N; (c) L6,0.001% V-0.020 7% N

Fig. 1　Metallographic structure of test steels: (a) L4,0.130% V-0.021 5% N; (b) L5,0.130% V-0.030 4% N; (c) L6,0.001% V-0.020 7% N

2.3　应力-应变曲线

图 3 的 3 条曲线均呈加工硬化型,没有发生动态再结晶。与 L4 相比,本实验含 N 量较高的 L5 试样,其应力在进入塑性变形后就大于 L4 的,这是由于 N 固溶量增多,珠光体增多造成的,而不是析出物增多导致(以下讨论)。与 L6 相比,L4 含 N 量与之基本相同,其含 V 量增加使含 V 的析出物数量增大,导致应力增大。

2.4　CCT 曲线

采用 JMatPro4.1 软件计算的 CCT 曲线见图 4。从 L4、L5 的 CCT 曲线对比可看出,L5 的先共析铁素体、珠光体的开始与转变终了线向右下方移动,而贝氏体转变开始与终了线向左上方移动,即增加 N 使珠光体、铁素体转变点下降,贝氏体转变点上升(使奥氏体区扩大)。V 则相反,由 L4、L6 的 CCT 曲线对比可知,V 使珠光体、铁素体转变点上升,贝氏体转变点略有上升(使奥氏体区缩小)。

2.5　平衡状态下各相所占比例

采用 JMatPro4.1 软件计算试样在 900 ℃和 600 ℃平衡状态下各组成相的情况列于表 2。

比较 L4 ~ L6 900 ℃的相组成可知,氮化物和夹

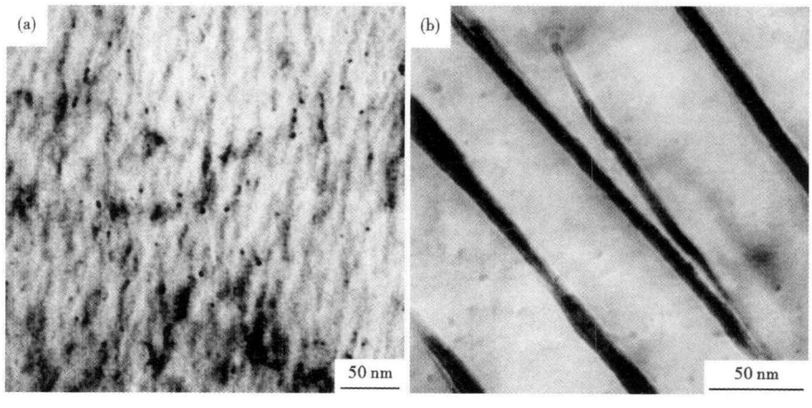

图 2　先共析铁素体中(a)和共析铁素体中(b)的析出物形貌

Fig. 2　Morphology of precipitates in proeutectoid ferrite (a) and in eutectoid ferrite (b)

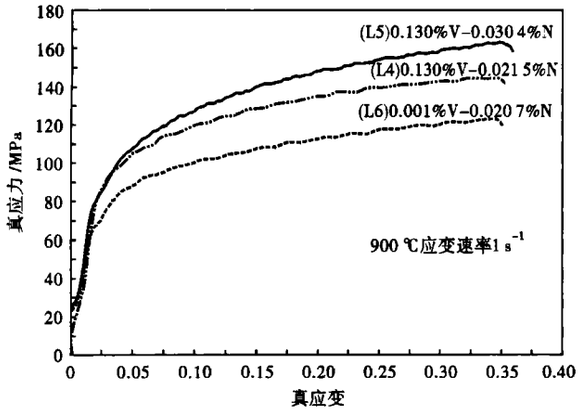

图 3 实验钢的应力-应变曲线

Fig. 3 Stress-strain curves of test steels

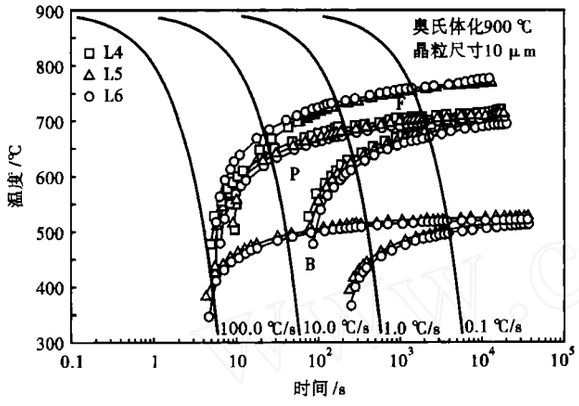

图 4 采用 JMatPro4.1 计算的实验钢 CCT 曲线

Fig. 4 CCT curves of test steels calculated by JMatPro4.1 software

表 2 900 ℃和 600 ℃平衡状态下实验钢中各组成相的含量/%

Table 2 Content of each constituent phase in test steel at 900 ℃ and 600 ℃ in equilibrium state /%

相	900 ℃			600 ℃		
	L4	L5	L6	L4	L5	L6
MnS	0.19	0.16	0.19	0.19	0.16	0.19
MN	0.09	0.11	0.08	0.07	0.09	0.08
M(C,N)	0.07	0.06	0.02	0.17	0.15	0.02
AlN	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
M_2O_3	0	0.01	0	0	0.01	0
Austenite	99.64	99.65	99.70	–	–	–
Ferrite	–	–	–	94.37	94.43	94.26
Cementite	–	–	–	5.18	5.14	5.43

杂物有 MnS、M(C,N)、MN、AlN、M_2O_3，其在 L4 ~ L6 中的总数量分别为 0.36%、0.35%、0.30%，冷却到 900 ℃以下发生相变，这些氮化物及夹杂物会促进晶内铁素体的形成，晶内铁素体(针状铁素体)数量 L4 最多，L5 次之，L6 最少(图 1)。

比较 L4、L5 在 600 ℃的相组成发现，两钢种析出的氮化物 M(C,N)、MN、AlN 的总数量相同(0.26%)，由于两钢种的成分差别主要在于 N 含量，可以认为 215×10^{-6} 的 N 量已使微合金元素 V、Ti、Nb、Al 的氮化物几乎全部析出。从 N 的去向考虑，L5 中 304×10^{-6} 的 N 在使 V、Ti、Nb、Al 全部析出的同时还有一部分 N 固溶在基体中，这部分固溶 N 是产生 L5 应力最高(图 3)的原因。

比较 L4、L6 600 ℃相组成可见，L6 中 V(C,N) 大量减少，这是造成 L6 晶粒粗化和应力最低的主要原因。L6 的含氮量(207×10^{-6})在 900 ℃的奥氏体状态就已经使 Ti、Nb 几乎全部析出，固溶的 N 量也导致其珠光体含量较高，这从其在 600 ℃渗碳体的含量数值(5.43%)高于 L4 的含量(5.18%)也可看出。

3 结论

(1)随 N 含量的增加，组织中除出现针状铁素体及贝氏体外，珠光体组织增多，晶界铁素体变粗。随 V 含量减少，珠光体数量显著增加，贝氏体及铁素体变粗。先共析铁素体和共析铁素体中析出物的尺寸≤3 nm。

(2)钢中 V 和/或 N 含量高时，钢在应变时的应力增大。

参考文献

1 Matlock D K, Krauss G, Speer J G. Microstructures and Properties of Direct-cooled Microalloy Forging Steels. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 117(3): 324

2 Ishikawa F, Takahashi T. The Formation of Intragranular Ferrite Plates in Medium-carbon Steels for Hot-forging and its Effect on the Toughness. ISIJ International, 1995, 35(9): 1128

3 Madariaga I, Gutiérrez I. Role of the Particle-matrix Interface on the Nucleation of Acicular Ferrite in a Medium Carbon Microalloyed Steel. Acta Materialia, 1999, 47(3): 951

4 Shim J H, Oh Y J, Such J Y, et al. Ferrite Nucleation Potency of Non-metallic Inclusions in Medium Carbon Steels. Acta Materialia, 2001, 49(12): 2115

5 Furuhara T, Shinyoshi T, Miyamoto, et al. Multiphase Crystallography in the Nucleation of Intragranular Ferrite on MnS + V(C,N) Complex Precipitate in Austenite. ISIJ International, 2003, 43(12): 2028

6 Medina S F, Go'mez M, Rancel L. Grain Refinement by Intragranular Nucleation of Ferrite in a High Nitrogen Content Vanadium Microalloyed Steel. Scripta Materialia, 2008, in Press.

7 刘宏玉，吴开明，雷应华，等. 等温处理对 30MnVS 显微组织及硬度的影响. 物理测试, 2007, 25(6): 1

刘宏玉(1966-)，男，博士，副教授，1988 年东北大学毕业，特殊钢新品种及质量问题研究。

收稿日期：2008-09-12