

冷处理温度对 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢组织和力学性能的影响

张红^{1,2} 王立民² 杨钢² 刘荣佩¹ 刘宁^{1,2}

(1 昆明理工大学材料与冶金工程学院, 昆明 650093; 2 钢铁研究总院结构材料研究所, 北京 100081)

摘要 马氏体热强钢 1Cr20Co6Ni2WMoV 用真空感应炉冶炼, 锭重 22.5 kg 并锻成 $\Phi 16$ mm 棒材。试样经 1060 °C 1 h 油冷淬火, -70 °C 或 -192 °C 2 h 空冷的冷处理, 640 °C 3 h 空冷回火处理。试验结果表明, 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢在热处理后的组织由高密度位错的回火板条马氏体、残余奥氏体、 δ -铁素体和 $M_{23}C_6$ 组成。随冷处理温度由 -70 °C 降至 -192 °C, 晶界上 $M_{23}C_6$ 析出数量增多, 晶内位错密度升高, 残余奥氏体含量降低, 钢的抗拉强度和屈服强度分别由 1045 MPa 和 715 MPa 提高至 1090 MPa 和 760 MPa。

关键词 冷处理 1Cr20Co6Ni2WMoV 马氏体热强钢 组织 力学性能

Effect of Cold Treatment Temperature on Structure and Mechanical Properties of Steel 1Cr20Co6Ni2WMoV

Zhang Hong^{1,2}, Wang Limin², Yang Gang², Liu Rongpei¹ and Liu Ning^{1,2}

(1 Institute of Materials and Metallurgy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093; 2 Institute for Structural Materials, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract Martensite heat resistant steel 1Cr20Co6Ni2WMoV was melted by a vacuum induction furnace with 22.5 kg ingot and forged to $\Phi 16$ mm bar. Heat treatment process of samples were quenching at 1060 °C for 1h oil cooling + cold treatment at -70 °C or -192 °C for 2 h air cooling + tempering at 640 °C for 3 h air cooling. Test results showed that with both heat treatment process the structure of steel 1Cr20Co6Ni2WMoV consisted of high density dislocation tempering lath martensite, residual austenite, δ -ferrite and $M_{23}C_6$. With cold treatment temperature decreased from -70 °C to -192 °C the amount of $M_{23}C_6$ precipitated at grain boundary and the dislocation density in grain inside increased, the amount of residual austenite decreased and the tensile and yield strength of steel respectively increased from 1045 MPa and 715 MPa to 1090 MPa and 760 MPa.

Material Index Cold Treatment, 1Cr20Co6Ni2WMoV Martensite Heat Resistant Steel, Structure, Mechanical Properties

1Cr20Co6Ni2WMoV 钢是 Cr 含量约为 20%、Co 含量约为 6% 的马氏体热强钢, 相对应的俄罗斯牌号为 $\Xi\Pi 768$ 、BHC-22, 最高使用温度为 550 °C。该钢的合金元素含量较高, 特别是耐腐蚀和抗氧化的 Cr 含量达到 20%, 因此具有优良的耐腐蚀性和抗高温氧化性及良好的综合力学性能, 可用于腐蚀条件更苛刻的环境中。依据 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢的俄罗斯标准给定的 1060 °C 油淬 + (-70 °C) 冷处理 + 640 °C 回火工艺所得到的钢的抗拉强度和屈服强度与标准相比, 富余量不大, 所以将冷处理温度进一步降低(降至 -192 °C)来提高该钢的强度。

1 试验材料与方法

试验用 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢采用真空感应炉冶炼, 锭重 22.5 kg, 经开坯锻造成 $\Phi 16$ mm 棒材, 锻后缓冷。其化学成分(%)为: 0.17C、0.31Si、0.40Mn、0.006S、0.012P、18.68Cr、2.41Ni、1.22Mo、0.24V、0.50W、6.22Co。采用的热处理工艺为淬火

(1060 °C 1 h, 油冷) + 冷处理(-70 °C 或 -192 °C 2 h, 空冷) + 回火(640 °C 3 h, 空冷)。

将热处理后的棒材加工成标准拉伸试样和夏比 U 型缺口冲击试样, 测定各个试样在室温下的力学性能。采用 SISC-IAS-6.0 图象分析仪和 H-800 型透射电镜(TEM), 对试样进行显微组织观察。试验钢采用氯化铁和氯化铜的盐酸、硝酸及酒精溶液进行腐蚀; TEM 观察用双喷制样的双喷液为 10% 高氯酸-乙醇溶液, TEM 的加速电压为 200 kV。

2 试验结果及分析

2.1 冷处理后钢的组织形貌

由图 1(a)、(b) 可见, 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢的组织由回火马氏体、白色针状均匀分布在马氏体基体内的残余奥氏体、白色带状 δ -铁素体和析出相组成。

经过 -192 °C 处理后, 残余奥氏体可继续转变为马氏体, 但仍未转变完全, 所以图 1(b) 中仍有残

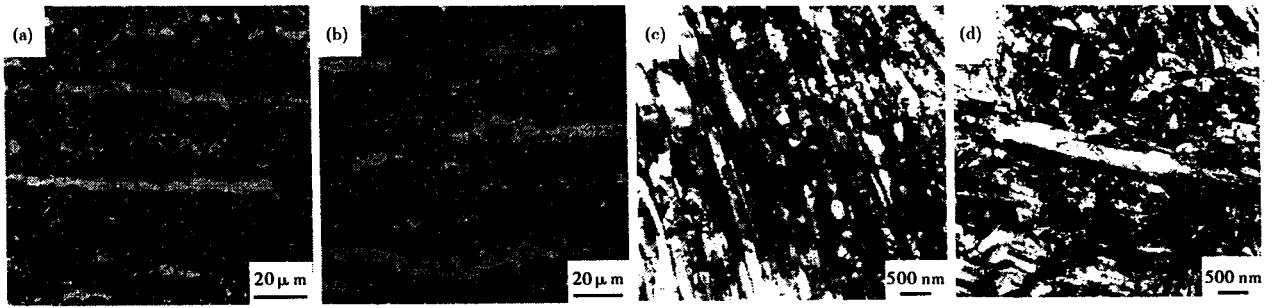


图 1 冷处理温度对 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢组织(a,b)和马氏体形貌(c,d)的影响:(a) (c) -70 °C; (b) (d) -192 °C
 Fig.1 Effect of cold treatment temperature on structure (a,b) and morphology of martensite (c,d) in steel 1Cr20Co6Ni2WMoV: (a) (c) -70 °C; (b) (d) -192 °C

余奥氏体,但含量较图 1(a)有所减少。第二相碳化物多在铁素体晶界、原奥氏体晶界处形成。

2.1.1 马氏体

两种不同冷处理温度下的组织均为高密度位错的板条马氏体,马氏体板条束具有明显的方向性(图 1c, d)。马氏体板条的宽度范围为 0.15 ~ 0.50 μm。

由图 1(d)可以看出,1Cr20Co6Ni2WMoV 钢的马氏体板条束之间发生了相互穿插。这主要是由于钢在热处理过程中的热应力和相变应力的影响,使得在板条马氏体内部形成了各种形变亚结构;此外,由于马氏体与奥氏体之间有多种取向关系,且马氏体板条在热处理过程中发生的塑性变形,造成马氏体板条可向多种方向成长。所以,不同惯习面变体的马氏体板条之间发生了相互穿插^[1]。试验钢淬火后发生马氏体相变时,由于受到残余奥氏体母相刚性的限制,使马氏体及残余奥氏体都会发生形变,

所以钢的回火马氏体是高密度位错的板条马氏体。由于这些高密度位错的存在,阻碍了相变的进一步发生。在随后的深冷处理过程中,由于温度不断降低, $\partial\Delta G/\partial T < 0$ ^[2], 而 $\Delta G < 0$, 所以奥氏体继续转变为马氏体,奥氏体的残留量减少。

2.1.2 析出相

图 2 为 TEM 不同冷处理温度下 $M_{23}C_6$ 型碳化物的形貌及衍射斑点图。从图 2(a)、(b)可以看出,该析出相呈黑色细条状,主要分布在晶界处。冷处理温度降低,析出的 $M_{23}C_6$ 相数量有所增多,晶内的位错密度也更高;这主要是由于深冷温度降低导致残余奥氏体含量降低、马氏体含量增加和马氏体板条界增加以及在回火过程中可供析出相择优析出的位置更多引起的。 $M_{23}C_6$ 的衍射斑点及指数标定见图 2(c)、(d)。

从图 2(a)、(b)中可以看出,析出相呈细条状,主要集中在晶界,这与晶界处的形核功较低以及原

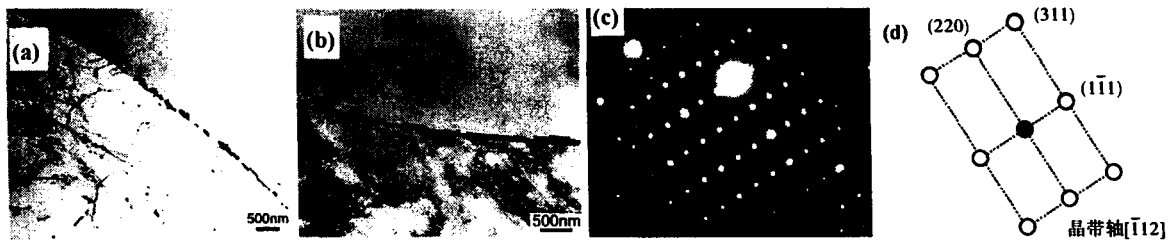


图 2 冷处理 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢中 $M_{23}C_6$ 析出相形貌及衍射图:(a) -70 °C; (b) -192 °C; (c) $M_{23}C_6$ 衍射图; (d) $M_{23}C_6$ 指数标定
 Fig.2 Morphology and diffraction pattern of $M_{23}C_6$ precipitates in cold treated steel 1Cr20Co6Ni2WMoV: (a) -70 °C; (b) -192 °C; (c) $M_{23}C_6$ diffraction pattern; (d) $M_{23}C_6$ indices

子沿晶界更易于扩散有关。 $M_{23}C_6$ 相沿晶界析出起到强化晶界作用,在高温长时间服役过程中,减缓晶界的弱化速度,抑制晶粒回复,提高了钢的组织稳定性。

2.2 对室温力学性能的影响

由表 1 中数据可知,冷处理温度降低后,1Cr20Co6Ni2WMoV 钢的强度、硬度升高,韧性下降;抗拉强度、屈服强度分别提高了 4% 和 6%,冲击韧性下降了 10%。这是由于随冷处理温度降低,马氏体数量增多,强度升高;同时由于具有良好韧性的残

表1 冷处理温度对1Cr20Co6Ni2WMoV钢力学性能的影响
Table 1 Effect of cold treated temperature on mechanical properties of steel 1Cr20Co6Ni2WMoV

冷处理温度/ ℃	R _m / MPa	R _{p0.2} / MPa	A/ %	Z/ %	A _{KU2} / J	硬度 (HRC)
-70	1 045	715	15.8	57.8	67.5	33.1
-192	1 090	760	16.0	53.8	60.5	34.9

余奥氏体数量减少,导致试验钢的韧性下降^[3]。

3 讨论

3.1 合金元素 Co 的作用

合金元素 Co 固溶于基体中并不形成金属间化合物,而与 Mo 产生协作效应^[4],所以 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢中添加 Co 的主要作用是固溶强化基体。将 Co 加入到 α -Fe 中,不但增加了晶胞中原子的两个强键 Co-Co 和 Co-Fe,同时也使 Fe-Fe 的结合力增强;此外,Co 使含 C 偏聚单元的最强键数值提高,并使这些偏聚单元需要更高的相变驱动力才能产生断键重组,这就使得马氏体基体只有吸收足够多的热能才能克服这些含 C、Co 偏聚单元的价键结合能,向碳化物转变,使钢的抗回火能力显著提高。同时,加入 Co 元素后,使含 C 晶胞中所有与 C 原子成键的共价电子对总和大幅度提高,减弱了 C 原子的扩散能力,使得高温下碳化物的长大速度减小,从而提高了第二相的高温稳定性^[5]。

因此,含 Co 高达 6% 的马氏体热强中除相变强化、第二相强化外,Co 的固溶强化也是一种不容忽视的强化途径。

3.2 材料的组织

采用 Thermal-Calc 热力学计算软件对文中相同成分材料的平衡相进行计算,得到的相图如图 3 所示。由于材料中铁素体形成元素 Cr 含量较高,而奥氏体形成元素 Ni、Mn、C 等较低,且强碳化物形成元素 V、W 等还要消耗一定量的 C 原子。因此,该材料平衡相图的奥氏体相区较小。从图 3 可以看到,在淬火温度达到 1060 ℃ 时,材料处于奥氏体 (γ)、铁素体 + 奥氏体 ($\delta + \gamma$) 及铁素体 + 奥氏体 + 碳化物 ($\delta + \gamma + M_{23}C_6$) 这 3 个相区的交界附近。因此淬火保温过程中,材料中同时存在奥氏体、铁素体以及碳化物,其质量百分比分别为 92.7、7.1、0.2。在随后的淬火过程中,奥氏体转变成为马氏体 + 残余奥氏体,铁素体及碳化物保持不变。

材料从液相凝固过程中形成的 δ -铁素体将一直保持到室温,即图 1(a)、(b) 中的白色长条相。 δ -铁素体在热加工过程中被压扁拉长为长条状,并于随后

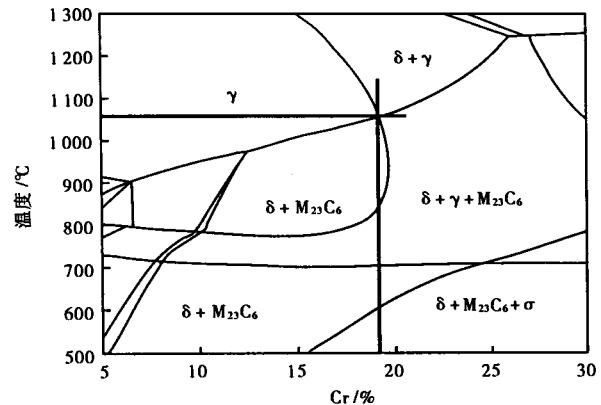


图3 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢计算平衡相图

Fig. 3 Calculated equilibrium phases diagram of steel 1Cr20Co6Ni2WMoV

的冷却过程中发生再结晶,形成图 1(a)、(b) 所示的带状组织。在平衡条件下 640 ℃ 加热时,材料中只有 $M_{23}C_6$ 碳化物析出。

图 3 虽然是在平衡状态下计算得到的,但所得结果仍为本试验提供了一定的参考。

4 结论

(1) 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢的组织由回火马氏体(高密度位错的板条马氏体)、残余奥氏体、 δ -铁素体和析出相组成。析出相经电子衍射分析为 $M_{23}C_6$ 型碳化物,呈细条状分布在晶界上。随冷处理温度降低,晶界上的 $M_{23}C_6$ 析出相数量增多,晶内的位错密度升高,残余奥氏体的含量降低。

(2) 1Cr20Co6Ni2WMoV 钢在经济火、冷处理及高温回火后,经 -192 ℃ 冷处理后的抗拉强度、屈服强度比 -70 ℃ 冷处理分别提高了 4% 和 6%。

参考文献

- 刘禹门. 低碳马氏体经形变后的显微组织. 金属热处理学报, 1989, 10(2): 59
- 程应田, 彭匡鼎, 姚裕昌, 等. 深冷处理中钢铁基制强化的物理机理. 云南大学学报(自然科学版), 1996, 18(3): 226
- Viswanathan U K, Dey G K, Sethumadhavan V. Effects of Austenite Reversion during Overageing on the Mechanical Properties of 18 Ni (350) Maraging Steel. Materials Science and Engineering A, 2005(398): 367
- 何毅, 杨柯, 孔凡亚, 等. 超高强度 18Ni 无钴马氏体时效钢的力学性能. 金属学报, 2002, 38(3): 278
- 刘树勋, 李培杰, 曾大本, 等. 析出硬化型热强钢中合金元素的作用机制. 钢铁研究学报, 2004, 16(1): 44

张红(1978-), 女, 硕士研究生, 2001 年沈阳理工大学材料成型及控制专业毕业, 从事耐热钢研究。