

低温相变焊材组织与性能研究

焊接（卓越班）2101班：黎锦江 指导教师：路永新 论文类型：毕业论文

摘要：本文设计两种不同成分的LTT焊丝，分别为LTT160(9.5Cr-8Ni)和LTT233(11Cr-10Ni)两种焊材，采用二氧化碳气体保护焊的方式堆焊熔敷金属，进而测量熔敷金属的显微组织、力学性能以及焊趾位置的残余应力分布。结果表明：LTT低相变焊材的微观组织为马氏体和残余奥氏体，随着Cr-Ni含量的增多，马氏体起始转变温度(M_s)降低，残余奥氏体的数量增加。LTT160Ms为139°C，LTT233Ms为50°C。LTT160的维氏硬度以及抗拉强度均比LTT233高，但是冲击韧性却比LTT233低。两种焊材在焊趾部位均处于压应力，LTT233在焊趾的压应力为-69.9Mpa，而LTT160为-43.2Mpa。

关键词：低温相变焊材；微观组织；力学性能；残余压应力

1 低温相变焊材组织性能研究

1.1 低温相变原理

低温相变焊材(LTT)的核心在于通过调控固态相变诱导的体积膨胀效应实现焊接残余应力的调控。如图1-1所示：常规焊接材料在高温冷却阶段经历奥氏体转变铁素体、珠光体时，其相变膨胀仅能对热收缩应变进行补偿。随着温度持续下降至室温时，材料系统内累积的热收缩应变将超越相变膨胀效应，导致传统焊材最终形成的残余拉伸应力场分布。LTT焊材则通过设计使其在低温阶段发生奥氏体向马氏体的相变，马氏体相变产生的体积膨胀与切应变会对周围金属形成压应力作用。

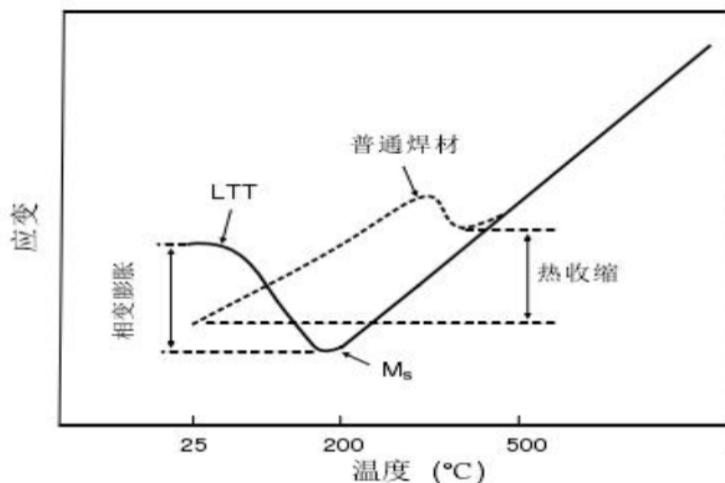


图1-1 不同焊材冷却转变过程中热膨胀曲线示意图

2 实验方案

本次实验设计两种不同成分的低温相变焊材用于焊接实验焊材成分如表2-1所示。

表2-1 LTT合金的化学成分 (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ti	Cr	Ni
LTT160	0.06	0.3	1.80	0.01	0.01	0.20	0.016	9.50	8.00
LTT233	0.06	0.3	1.80	0.01	0.01	0.20	0.016	11.00	10.0

分别在Q345钢上堆焊，截取上层熔敷金属，尺寸为200×200×5mm，选用直径为1.2mm的设计的LTT焊丝，共三层12道焊缝，其长度约为150-160mm，宽度约为150mm，高度大于10mm。采用气体为二氧化碳混合气体。以及在X80管线钢尺寸为450×300×20mm，堆焊进行对比实验，共一层六道焊缝，其焊缝长度为180×100×12mm。焊接工艺参数如下表2-2所示。

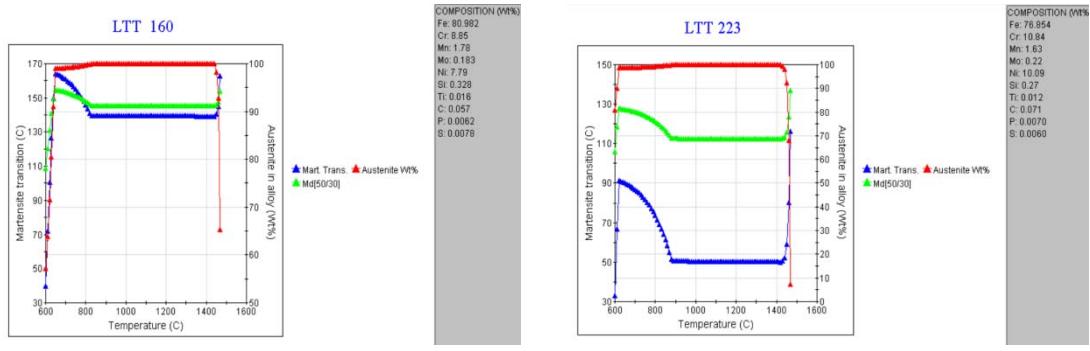
表2-2 堆焊工艺参数

	电流 (A)	电压 (V)	焊速 (cm/min)	气体流量(L/min)
打底层	200	26	20	15
中间层	200	26	23	15
盖面层	200	26	26	15

3 实验结果分析

3.1 焊材相变温度分析

使用JMatPro后测量LTT焊材的马氏体起始转变温度 (M_s) 如下图3-1所示：



(a)LTT160

(b)LTT233

图 3-1 不同成分 LTT 焊材的 M_s 点

由上两个图中可以看清晰看到HCT160F图a的 M_s 温度为139°C、HCT233F图b的 M_s 温度为50°C。

3.2 熔敷金属微观组织分析

LTT低温相变组织主要是由残余奥氏体和马氏体。如图3-2所示。其中马氏体组织呈现出大量的板条马氏体(LM)和少量针状马氏体(AM)的混合形态，而板条马氏体的间隙区域则分布着残余的奥氏体。此外由于Cr-Ni的含量较多，导致奥氏体向马氏体的转变率降低，残余奥氏体含量呈递增趋势。

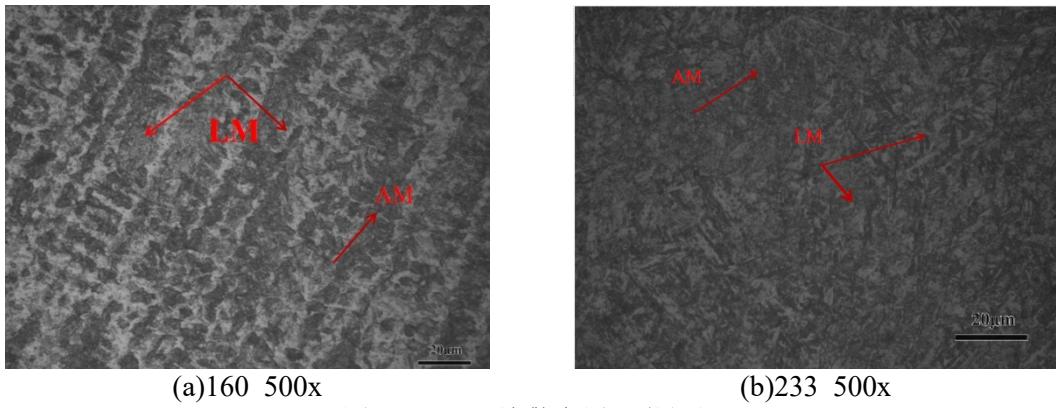


图 3-2 LTT 熔敷金属显微组织

观察其衍射峰对比XRD标准卡片PDF，进行物相确定，可以明显观察出LTT160同LTT233熔敷金属的组织为残余奥氏体和马氏体。将检测数据导入Jade6.5进行分析，得出XRD物相分析。(211)、(110)峰代表马氏体，(111)峰代表奥氏体。LTT160熔敷金属中残余奥氏体的含量为7.9%，而LTT233熔敷金属中的残余奥氏体为9.4%。

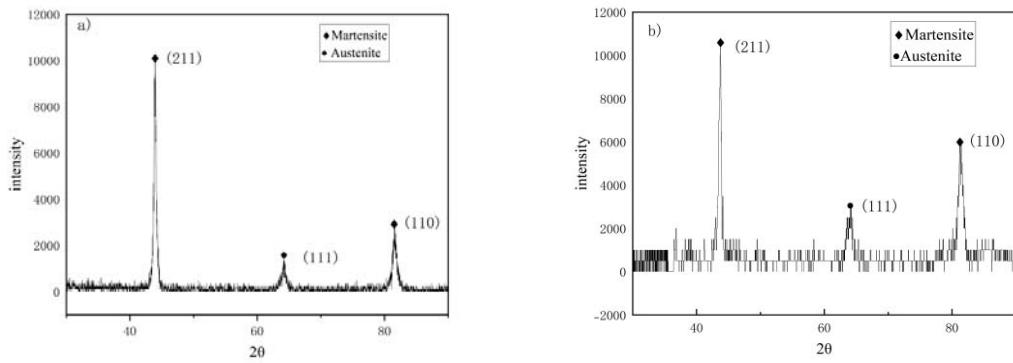


图 3-3 熔敷金属 XRD 图谱

3.3 熔敷金属拉伸结果分析

LTT160拉伸试样与LTT233拉伸试样的延伸率分别为1.49%和1.15%，接头的抗拉强度分别为1018.16MPa和1193.24Mpa，如表3-1所示。

表3-1接头平均力学性能

	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)
LTT160	1018.16	1.49
LTT233	1193.24	1.15

3.4 熔覆金属硬度分析

对LTT焊丝堆焊熔敷金属的维氏硬度测量。测量时选取0.5kg的载荷，保持时间为10s。对上方3层熔敷金属进行测取，每层设置5个测试点，试样尺寸为20mm×10mm，总计测量20个点位。LTT233的平均维氏硬度为HV222.33，而LTT160的平均维氏硬度为HV 229.18。如表3-2所示。

表3-2接头平均力学性能

名称	平均硬度
LTT160	HV229.18
LTT233	HV222.33

3.5 熔敷金属冲击韧性分析

制备冲击韧性试样时，采用标准的夏比冲击试样中部开V型缺口，制备的标准试样尺寸为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 55\text{mm}$ ，缺口位置精准加工至熔敷金属中心区域，实验结果如表3-3所示。试验在 25°C 环境温度下进行。

表3-3 熔敷金属冲击试验结果

试样	LTT160	LTT233
冲击吸收功 (J)	$25.4\pm 0.4\text{J}$	$31.2\pm 0.2\text{J}$

Cr-Ni的含量越高，残余奥氏体组织越多，可以提高材料的韧性。因此LTT233焊丝所堆焊的熔敷金属的冲击韧性值较高为 31.2J 。

3.6 熔敷金属残余应力分析

在对焊接残余应力进行测试时，具体位置以焊趾为基准，分别位于-2cm、0cm、3cm、9cm和17cm处。图3-4残余应力的结果。LTT160焊缝处的残余压应力达到最大值，约为-240.1MPa，而焊趾位置的压应力则为-43.2MPa。在距离焊趾3cm的位置，焊接残余拉应力升至最高，约为198.8MPa。若以LTT233作为填充材料，焊缝处的残余拉应力154.47MPa，焊趾处的残余压应力则为-69.9MPa。

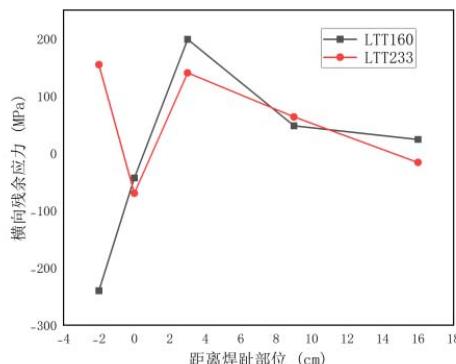


图 3-4 横向残余应力分布图

分析参考文献可知，正常情况下LTT233在焊接过程中焊缝处由于焊材中的Cr-Ni含量较多，马氏体其实转变温度更低，在焊缝处也应该是残余压应力，但是实际测量中测量焊缝处为残余拉伸应力。

对问题点LTT233在焊缝处的拉伸应力点重新测量出LTT233在-2cm处的残余应力为-254.47MPa，如图3-5所示。

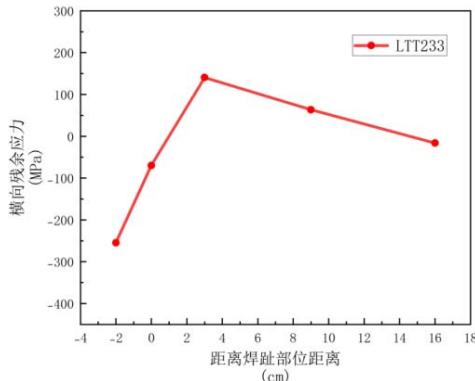


图 3-5 LTT233 横向残余应力

综合对比两种不同成分的焊材，LTT233(11Cr-10Ni)进行焊接过程中在焊趾部位处都是受到压缩应力相比较于LTT160，符合预期设计结果。

4 结论

(1) 在微观组织层面，LTT熔敷金属组织以马氏体与残余奥氏体为主。LTT160焊材相较于LTT233焊材，其残余奥氏体含量相对较低，且主要分布于马氏体板条间隙之中。LTT160 M_s 为139°C，LTT233 M_s 为50°C。

(2) 力学性能测试方面，LTT160焊材表现出1018.16 MPa 的抗拉强度、1.49% 的伸长率、HV229.18的维氏硬度以及室温下25.4J的冲击吸收功；LTT233焊材的抗拉强度为1193.24MPa、伸长率为1.15%、维氏硬度为HV222.33、室温冲击吸收功为31.2J。熔敷金属微观断口形貌主要呈现脆性断裂特征。

(3) 残余应力检测结果显示，采用盲孔法测量，LTT160在焊趾部位 ± 2 cm 处承受压缩应力，残余应力峰值达-240.1MPa；LTT233在焊趾区域呈现压缩应力，数值为-69.9 MPa，焊缝处压缩应力为-254.47MPa。