

回火温度对 9Cr0.11V 钢 TIG 焊缝组织与力学性能的影响

车焕文¹, 姚 军²

(1. 包头铁道职业技术学院 机械系, 内蒙古 呼和浩特 014060; 2. 华中科技大学 材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要:研究了不同回火温度对 9Cr0.11V 钢焊缝组织和力学性能的影响。结果表明, 随回火温度的升高, 由表层到焊缝中心硬度逐渐降低。850 °C 回火处理后, 焊缝硬度整体明显下降, 回火马氏体尺寸增大, 均匀性提高。回火后断口的韧窝数量增加, 冲击韧度明显改善。

关键词: TIG 焊; 热处理; 微观组织; 力学性能

中图分类号: TG407

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2017)10-2383-04

Effect of Tempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of 9Cr0.11V Steel Welding Line by TIG

CHE Huanwen¹, YAO Jun²

(1. Baotou Railway Career Technical College, Hohhot 014060, China; 2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 9Cr0.11V steel welding joint by TIG were investigated. The results show that with the increase of tempering temperature, the hardness of welding joint gradually reduce from surface layer to the center. The hardness of welding joint decline obviously at 850 °C tempering, and the size of tempered martensite increase while the distribution turns more uniform. With the increasing of tempering temperature, the toughness dimples increase and it greatly improves the impact toughness.

Key words: TIG; heat treatment; microstructure; mechanical properties

TIG 焊接方法具有保护作用好、焊接过程稳定及焊接过程便于实现自动化的特点^[1-3]。焊接后形成的焊缝的微观结构和性能与母材有所不同, 对焊缝进行焊后热处理可以有效地调整组织均匀性, 消除残余应力^[4], 所以选择合理的焊后热处理工艺对焊缝性能有重要影响。本文通过制定不同热处理工艺, 研究热处理工艺对 9Cr0.11V 钢微观组织与力学性能的影响。

1 试样制备与试验方法

试验材料为 9Cr0.11V 钢铸坯, 其主要化学成分列于表 1。除去表面氧化层后, 在 1 000 °C 热轧加工至 12 mm 的板材, 进行 1 050 °C/30 min 淬火水冷, 780 °C/2 h 回火处理。采用线切割方法将板材裁剪成尺寸为 100 mm×50 mm×12 mm 的块体, 将两块板材沿轧制方向对接用手工氩弧焊方法对焊。焊后

对试样分别进行 650、700、750、780 和 850 °C 的焊后处理, 保温 2 h 后空冷。将每组试样沿垂直于焊缝方向在焊缝处用线切割截取金相试样, 经打磨抛光腐蚀后, 用光学电子显微镜和扫描电子显微镜观察焊缝组织。采用显微硬度计对焊缝进行显微硬度测量, 所加载荷为 500 N, 加载时间为 10 s, 每组试样测量 10 个点取平均值。按照 GB/T228-2002 和 GB/T2650-2008, 拉伸试样沿焊缝横截面处取样, 标距端尺寸为 32 mm×5 mm, 拉伸试样尺寸如图 1 所示。冲击试样采用夏比 V 型缺口冲击试样, 试样尺寸为 55 mm×10 mm×7.5 mm, 采用万能试验机对每组试样进行拉伸试验和冲击试验。

2 试验结果与讨论

2.1 力学性能分析

图 2 为 9Cr0.11V 钢在不同回火温度处理后的硬度变化曲线。可以看出, 在焊缝中心处硬度值为 392 HV, 远大于 270 HV 的平均硬度。对于未热处理的试样来说, 焊缝处和附近热影响区温度较高, 达到相转变 A_{C3} 温度以上从而易获得板条马氏体组织使

收稿日期: 2014-12-15

作者简介: 车焕文(1966-), 内蒙古包头人, 硕士, 副教授, 研究方向: 机电、焊接。电话: 13238449271, E-mail: chehuanwen1966@126.com

表1 9Cr0.11V钢的化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of 9Cr0.11V steel

C	Cr	V	W	Mo	Ta	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	N	Fe
0.12	8.88	0.11	2.16	0.01	0.095	0.50	<0.019	<0.005	0.03	0.06	0.01	<0.004 7	余量

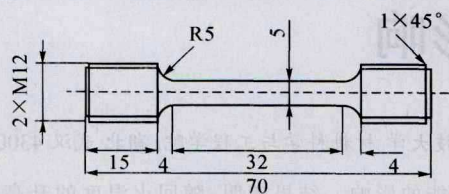


图1 拉伸试样尺寸图

Fig.1 Dimensional schematic diagram of tensile specimen

得焊缝比母材硬度提高。母材附近的热影响区域在焊接过程中温度在相变 A_{C3} 温度以下, 相当于又进行了一次回火处理所以造成硬度值稍降低。所以由焊缝到母材区域硬度值呈对称由高到低再升高。650 °C至850 °C硬度曲线与未回火处理的硬度曲线

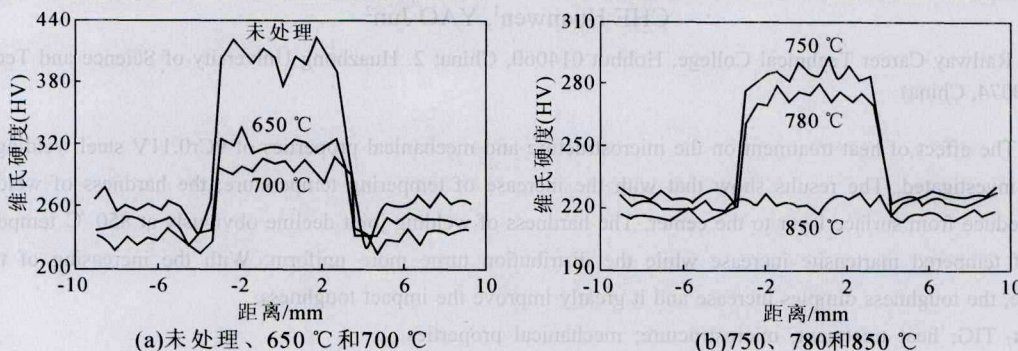


图2 不同温度回火后 9Cr0.11V 钢焊接头的硬度分布曲线

Fig.2 Hardness curve of 9Cr0.11V steel with different temperature tempering

表2 9Cr0.11V钢的室温性能

Tab.2 Room temperature property of 9Cr0.11V steel

回火温度 /°C	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)	断面收缩率 (%)	冲击功 /J
650	891.34	20.24	67.90	12.55
700	790.53	18.42	65.39	14.81
750	718.56	21.27	66.45	44.83
780	651.65	25.20	69.70	48.83
850	743.45	22.46	65.42	71.21

升高, 呈升高趋势。而当温度升高至 850 °C时抗拉强度发生较大增长, 而伸长率和断面收缩率却减小。冲击试验冲击功的变化, 也可以看到随回火温度升高冲击功持续增加, 这说明提高回火温度可以改善焊缝的冲击韧性。冲击试验也需要结合微观组织进一步分析。

2.2 微观组织分析

图3为9Cr0.11V钢1050 °C淬火后未经回火处理的微观组织图。焊缝未经回火处理的金相组织是板条马氏体组织和铁素体, 可以看到大量的马氏体束紧密地排列, 铁素体分布在残余奥氏体晶界

处, 组织中未观察到析出碳化物。板条马氏体是拥有高密度位错的铁素体固溶体, 有较高的硬脆性, 抗冲击能力差, 所以焊态焊缝冲击功最低。图4为9Cr0.11V钢1050 °C淬火后不同回火温度下的微观组织。可以看出, 经过回火处理之后板条马氏体的形状和分布有明显变化, 回火处理之后主要为回火马氏体, 随回火温度升高, 马氏体分散均匀尺寸增加。650 °C回火处理后马氏体组织较未处理尺寸有所增加, 随着回火温度升高, 少量马氏体分

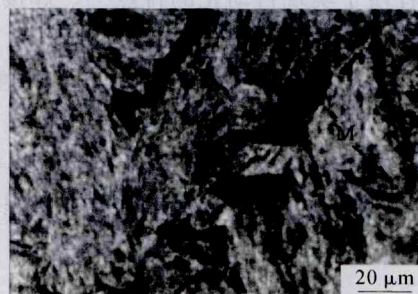


图3 9Cr0.11V钢未回火处理微观组织

Fig.3 Microstructure of untempered 9Cr0.11V steel

处, 组织中未观察到析出碳化物。板条马氏体是拥有高密度位错的铁素体固溶体, 有较高的硬脆性, 抗冲击能力差, 所以焊态焊缝冲击功最低。

图4为9Cr0.11V钢1050 °C淬火后不同回火温度下的微观组织。可以看出, 经过回火处理之后板条马氏体的形状和分布有明显变化, 回火处理之后主要为回火马氏体, 随回火温度升高, 马氏体分散均匀尺寸增加。650 °C回火处理后马氏体组织较未处理尺寸有所增加, 随着回火温度升高, 少量马氏体分

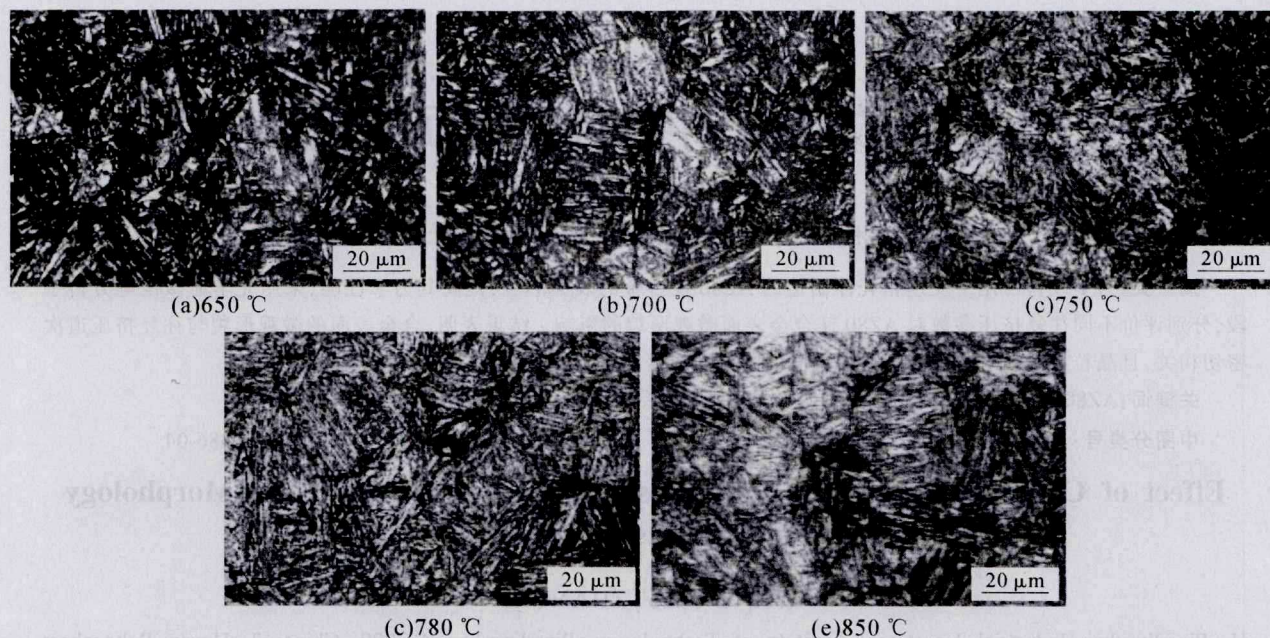


图 4 9Cr0.11V 钢 1 050 °C 淬火不同温度回火后的微观组织

Fig.4 Microstructure of 9Cr0.11V steel after 1 050 °C quenching and with different temperature tempering

解,马氏体分布趋于均匀。当回火温度达到 780 °C 时,马氏体发生了回复与再结晶,马氏体排列紧密且均匀度提高,所以此状态下的力学性能为转折点。当温度达到 850 °C 时,由于高温回火马氏体回火稳定性增加,晶粒长大明显马氏体尺寸变粗。马氏体板条分解发生多边形碎化,高温回火处理后铁素体固溶度降低,改善晶格畸变^[6]。所以随着回火温度的升高,焊缝处的冲击功持续增加,冲击韧度有良好的改善。

图 5 为 9Cr0.11V 钢焊缝经不同回火温度下室

温冲击试验断口形貌。可以看出,在较低温度回火处理的断口中存在较多较深的孔洞,为沿晶断裂。较低温度回火后马氏体因碳原子和合金元素析出,在组织中留下较多孔洞。随回火温度增加,孔洞数量逐渐减少韧窝增多,由沿晶断裂方式变为层状断裂。当回火温度达到 780 °C 时,韧性断裂区域减少,而层状断裂特征明显,所以造成抗拉强度降低而伸长率升高。当回火温度达到 850 °C 时,出现典型的韧性断裂形貌,韧窝数量较多,这也证明了此时材料的韧性较高。

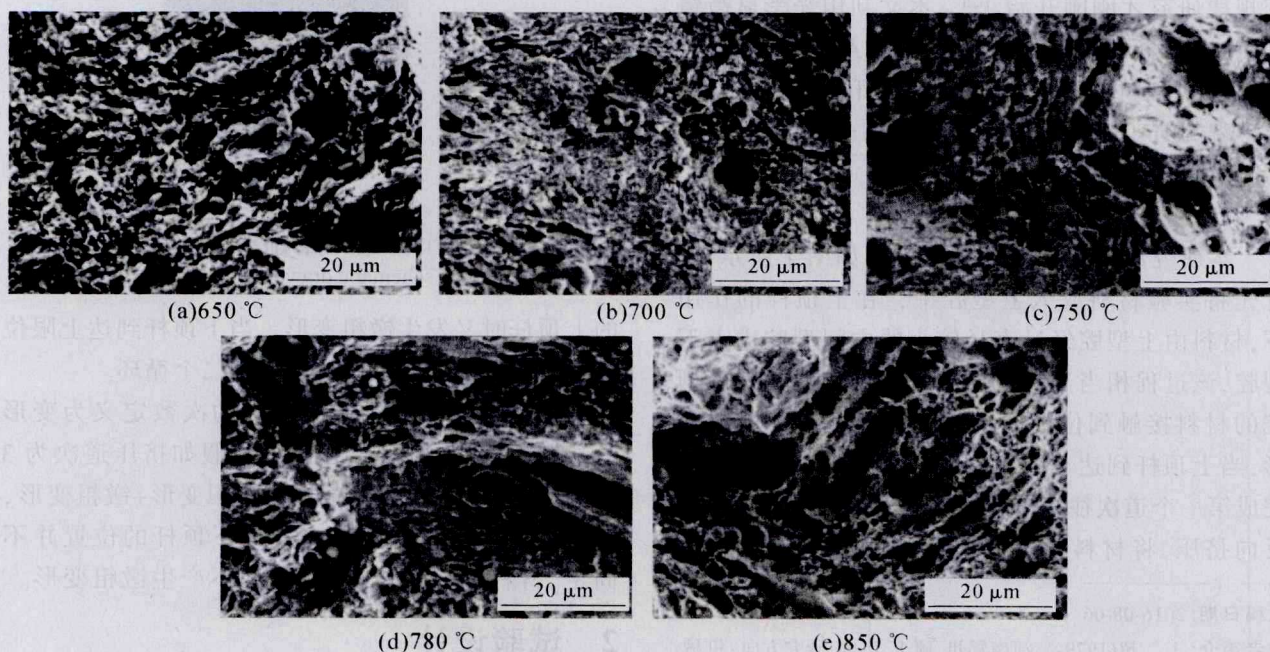


图 5 9Cr0.11V 钢冲击试验断口形貌

Fig.5 Impact fracture morphology of 9Cr0.11V steel

(下转第 2392 页)

- [6] 宋绪丁,符寒光,杨军.热处理对耐磨铸造 Fe-C-B 合金组织及性能的影响[J].材料热处理学报,2008,29(1):38-41.
- [7] 赵平.退火处理对含 Zr 高硼钢微观组织的影响[J].西华大学学报(自然科学版),2010,29(2):78-80.
- [8] 师文校,符寒光,蒋志强,等.热处理对高硼低碳铸钢显微组织和性能的影响[J].钢铁钎钛,2007,29(4):56-61.
- [9] 田光新,刘俊友,张艺,等.热处理对含硼奥氏体合金组织和性能的影响[J].铸造技术,2009,30(11):1418-1422.
- [10] 杨军,王晋华,符寒光,等.热处理对高硼铸钢耐磨性的影响研究[J].铸造技术,2006,27(10):1079-1081.
- [11] 董占武,魏世忠,张国赏,等.变质高碳硼钢的冲击磨料磨损行为研究[J].润滑与密封,2008,33(12):52-54.
- [12] 李日良,岑启宏,李祖来,等.淬火冷却方式对高硼中碳合金组织和高温磨损性能的影响[J].摩擦学学报,2013,33(2):135-141.
- [13] 李小明,马幼平,崔雅茹.淬火温度对高硼铸钢耐磨性的影响[J].热加工工艺,2007,36(18):71-72.

(上接第 2382 页)

心磨球的热处理生产及质量控制提供了技术支持,从而保证了大型空心磨球的生产产量,降低了废品率,提高了企业的经济效益。

参考文献:

- [1] 姐家鳌.E型磨煤机的系统和特点[J].华东电力,1981(1):75-80.
- [2] 吴惠明,张旭,朱炳安.EM型、ZGM型中速磨性能比较[J].江苏冶金,2006,34(4):14-16.
- [3] 刘瑞丽,叶升平,薛国祯,等.E型磨煤机钢球消失模铸造工艺及数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2012,32(2):161-164.
- [4] 高成勋,刘伟明.浅谈消失模铸造铸钢件常见缺陷及防治措施[J].中国铸造装备与技术,2011(3):20-22.
- [5] 章舟,朱以松,厉三于,等.消失模铸钢件增碳缺陷的防止[J].铸造技术,2004,25(3):223.
- [6] 乔玉,武圣和.热处理零件在加热过程中产生脱碳原因分析及对策[J].山西机械,1999(S1):23-24.
- [7] 张丽.热处理缺陷裂纹产生原因的分析[J].装备制造技术,2006(4):25-26.
- [8] 李美林.热处理工件淬火裂纹的探讨[J].株洲工学院学报,1999,13(2):29-31.

(上接第 2385 页)

3 结论

(1)随回火温度的升高,由表层到焊缝中心区域硬度值均降低,且在 850℃热处理后硬度值下降至与母材相近。

(2)在 780℃时抗拉强度达到最低,而伸长率和断面收缩率达到最高,冲击功得到明显改善。

(3)回火处理后焊缝组织由板条马氏体转变为回火马氏体,随回火温度升高,回火马氏体尺寸及均匀性提高,马氏体分解量增加。断裂方式由沿晶断裂转变为层状断裂,高温回火后韧窝数量增加,明显改善冲击功。

参考文献:

- [1] 姚军.新型低活化马氏体钢的研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [2] 刘福广,李太江,王彩侠,等.焊后热处理温度对 P92 钢焊缝微观组织和力学性能的影响[J].动力工程学报,2011(10):803-808.
- [3] 杜则裕,张德勤,田志凌.低碳低合金钢焊缝金属的微观组织及其影响因素[J].钢铁,2009(12):67-71.
- [4] 王爱华,彭云,肖红军,等.690 MPa 级 HSLA 钢焊缝金属的微观组织与冲击韧性[J].焊接学报,2013(4):7-10.
- [5] 孙晓娜,雷毅,张鹰.厚板奥氏体不锈钢焊缝微观组织分析[J].金属热处理,2006(10):21-23.
- [6] 胡杰,姜志忠,黄继华,等.热处理工艺对 CLAM 钢电子束焊缝微观组织与冲击韧性的影响[J].焊接学报,2012(11):67-71.

(上接第 2388 页)

333-339.

- [4] 王晓东.微合金化元素对镁合金组织与性能的影响[J].铸造技术,2014,35(03):450-453.
- [5] 曾小勤,王渠东,吕宜振,等.镁合金应用新进展[J].铸造,1998,47(11):39-43.
- [6] 何翼.压铸镁合金表面晶粒不均匀性的模拟研究[J].铸造技术,2014,35(02):346-348.
- [7] 丁文江.镁合金科学与技术[M].北京:科学出版社,2007.
- [8] 黄海军,韩秋华.镁及镁合金的特性与应用[J].热处理技术与装备,2010,31(3):6-9.
- [9] 王渠东,丁文江.镁合金及其成形技术的最新发展[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [10] Colleen J B, Mark A G. Current wrought magnesium alloys: strengths and weaknesses[J]. Journal of the Minerals Metals & Materials Society, 2005, 57(5): 46-49.