

40Cr 与 QCr0.5 的固态焊接接头显微组织分析

韩彩霞^{1,2,3}

(1.威海职业学院 船舶工程系, 山东 威海 264210; 2.兰州理工大学 省部共建有色金属新材料国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050; 3.华中科技大学 激光技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要:对 40Cr 待焊接面的表层实施激光淬火的组织超细化预处理后, 将其与 QCr0.5 在焊接温度 750~800 °C、初始应变速率 $(2.5\sim 5)\times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、预压应力 56.6~84.9 MPa、焊接时间 120~180 s 的条件下, 可实现二者异材的固态焊接, 接头强度能够达到 QCr0.5 母材的强度。焊后对接头区的显微组织观测表明, 焊接接头区的界面两侧显微组织连续, 已经实现了良好的冶金结合; 界面两侧近界面处的组织因 C、Cr、Cu 原子的扩散而发生了明显变化。

关键词:钢; 铬青铜; 固态焊接; 显微组织

中图分类号: TG453

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2014)21-0174-03

Analysis on Microstructure of Solid State Welded Joint of 40Cr and QCr0.5

HAN Caixia^{1,2,3}

(1. Department of Ship Engineering, Weihai Vocational College, Weihai 264210, China; 2. State Key Laboratory of New Nonferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 3. State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The welding surface of 40Cr steel was pretreated by laser quenching. The different base materials of 40Cr steel and QCr0.5 copper alloy can be successfully welded under the conditions of welding temperature of 750-800 °C, the initial strain rate of $(2.5-5)\times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, prepressure under 56.6-84.9 MPa and welding time of 2-3 min. The tensile strength of the welded joint can be as high as that of QCr0.5 base metal. The microstructure of the welded joints was observed and the results show that the microstructure of two sides of the welded joint is continuous. The good metallurgical joint can be gained. The microstructure of two sides of welded joint changes obviously because C and Cr and Cu atoms diffuse into each other.

Key words: steel; chrome bronze; solid state welding; microstructure

40Cr 调质钢的待焊接面进行激光表面淬火的表面预处理后, 与铬青铜 QCr0.5 的恒温超塑性固态焊接为不同材料的固态焊接提供了一种全新的方法^[1-2]。有文献已经对此工艺方案的可行性进行了讨论, 然而, 对二者异材焊接的接头区显微组织的深入分析却比较少。因此, 本文以 40Cr 调质钢的待焊接面的表面进行激光淬火表面超细化预处理之后, 与铬青铜 QCr0.5 的恒温超塑性固态焊接试验为基础, 观测并分析了二者固态焊接接头区的显微组织, 为该种工艺的进一步分析和完善提供必要依据。

1 试验条件与方法

试验中, QCr0.5 铬青铜为热挤态, 显微组织为:

收稿日期: 2014-01-22

基金项目: 河南省高校创新人才基金(教高 2004-294); 激光技术国家重点实验室开放基金资助项目(20010110); 河南省教育厅自然科学基金资助项目(2003430211)

作者简介: 韩彩霞(1971-), 女, 副教授, 国际焊接工程师, 工学硕士;

电话: 15263190373; E-mail: 815181421@qq.com

颗粒状 Cr 相分布在 α 基体上; 40Cr 钢为热轧退火态。试样加工成圆柱体, 尺寸为 $\phi 15 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 。为满足恒温超塑性固态焊接的组织超细化条件, 对 40Cr 钢在 5 kW CW CO₂ 激光器上进行待焊接面激光表面淬火处理, 其工艺参数为: 功率 900 W、扫描速度 12 mm/s、光斑直径 5 mm、重叠尺寸 1.5 mm, 激光表面淬火所得到的淬火层深度为 0.55~0.65 mm。铬青铜 QCr0.5 不需要进行超细化预处理就具有良好的组织超塑性^[3], 因此无需对 QCr0.5 进行待焊面激光淬火的表面热处理。

分别将待焊面进行激光淬火超细化处理后的 40Cr 钢试样与铬青铜 QCr0.5 试样的端面在水砂纸上磨光($Ra 0.115\sim 0.125 \mu\text{m}$)并清洗处理, 并把二者对接以后, 放在 WJ-10A 万能试验机上, 对其施加合适的预压应力, 采用功率为 3 kW 的电阻炉进行加热, 用 SHIMDEND-SR73 可编程精密控温仪控温, 控温精度是 $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。加热到试样的超塑性变形温度, 以一定的速率短时压接后, 卸载试样, 进行空冷。

把焊后的试样分成两组,一组试样加工成尺寸为 $\phi 5\text{ mm}\times 25\text{ mm}$ 的拉伸试样,在 SHIMADZU AG-I 型万能电子拉伸试验机上进行拉伸试验;另一组试样在接头部位纵向剖开,并且在水砂纸上磨成金相试样,经磨平、抛光、腐蚀、烘干之后,采用 JSM-5610LV 扫描电镜观察其微观组织,在 MH-3 型显微硬度仪上测试其显微硬度。

2 试验结果及分析

2.1 焊接接头的拉伸试验结果

40Cr 与 QCr0.5 恒温超塑性固态焊接接头的拉伸试验结果如表 1 所示。由表可见,采用工艺 5、6、8、9 焊接的试样,在进行拉伸试验时,断口位置全部位于母材一侧,其接头抗拉强度不低于母材的抗拉强度。表 1 还表明,如果焊接温度较低(比如 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$)或者预压应力较小(比如 28.3 MPa)的情况下,焊接接头的抗拉强度明显低于母材的相应强度而在原界面处断裂。焊接时间对焊接结果的影响比较小,即经激光表面淬火后的 40Cr 试样与 QCr0.5 试样经过短时压接,就可以获得具有较高结合强度的焊接接头,随着焊接时间的延长,试样的变形相应增加,结合强

表 1 不同工艺参数下的 40Cr 与 QCr0.5 固态焊接接头的拉伸试验结果

Tab.1 Tensile test results of 40Cr and QCr0.5 solid welded joints under different process parameters

工艺编号	焊接温度 $T/^{\circ}\text{C}$	预压应力 σ_0/MPa	焊接时间 t/s	初始应变速率 $\dot{\epsilon}_0/10^{-4}\text{ s}^{-1}$	抗拉强度 σ_b/MPa	断口位置
1	700	28.3	30	0.8	79	接头
2	700	56.6	60	2.5	132	接头
3	700	84.9	180	7.5	232	接头
4	750	28.3	60	7.5	236	接头
5	750	56.6	180	0.8	246	母材
6	750	84.9	30	2.5	247	母材
7	800	28.3	180	2.5	245	接头
8	800	56.6	30	7.5	277	母材
9	800	84.9	60	0.8	246	母材

度不能进一步提高,基于此,其焊接时间不应太长,最好应控制在 180 s 之内。

2.2 焊接接头的显微组织

图 1 为 40Cr 与 QCr0.5 不同恒温超塑性固态焊接工艺条件下焊接接头的扫描电镜照片。由图可见:

(1) 40Cr 与 QCr0.5 固态焊接后拉伸断口位于母材一侧的试样,其原始结合界面消失,原始界面的两侧组织连续,已经达到较好的原子间的冶金结合,在整条焊缝区没有观察到焊接缺陷(图 1(d)工艺 8);然而由图 1(a)~(c)可见,焊接后的试样拉伸时断口

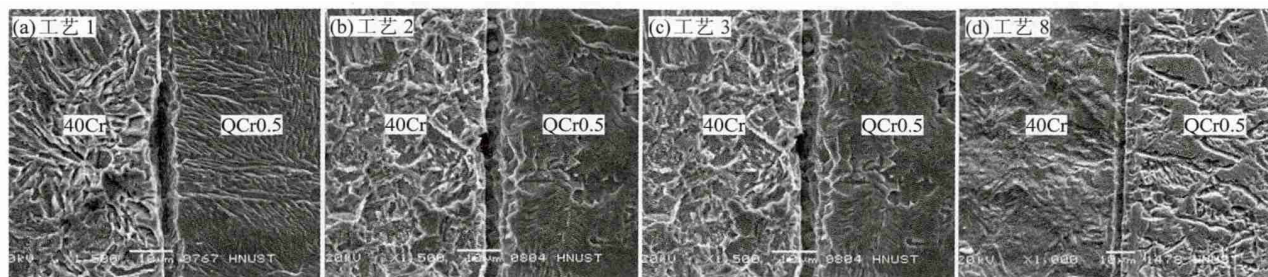


图 1 不同工艺条件下焊接接头的显微组织

Fig.1 Microstructure of welded joints under different process condition

位于界面处,试验中能够看到没焊合的缺陷。

(2) 40Cr 与 QCr0.5 固态焊接接头处发生了明显的原子扩散。试验利用 X 射线衍射仪对焊接接头界面处的相组成进行分析发现,QCr0.5 侧附近有 Cr_{23}C_6 化合物形成,40Cr 侧发现游离态的 Cu 相、Cr 相。以上表明,40Cr 与 QCr0.5 固态焊接过程中界面两侧的原子发生了互扩散,即 C 原子和 Cr 原子由 40Cr 侧通过界面向 QCr0.5 侧进行了扩散,与此同时,Cu 原子从 QCr0.5 侧向 40Cr 侧也进行了扩散。

(3) 图 1 所示四种工艺焊接接头的显微组织对比可见:40Cr 钢在焊接过程中的晶粒长大不太明显,这是由于其在焊前进行过激光淬火表面预处理,

组织已经细化;铬青铜 QCr0.5 接头区的组织也比母材区(接头远端)的组织细化很多,这是由于恒温超塑性焊接的初期,QCr0.5 发生了动态再结晶的缘故,同时也解释了试样在焊合良好的情况下,进行拉伸试验时为什么断口位于母材,而不是位于接头区。

(4) 由图 1 所示焊接接头的组织照片可以看出,焊接温度越高,焊接区的原子扩散就越明显。40Cr 与 QCr0.5 固态焊接温度为 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,由于该温度低于 40Cr 钢的相变温度 A_{c1} ,所以这时相当于进行了高温回火,其组织是回火索氏体和铁素体;当 40Cr 与 QCr0.5 固态焊接温度为 750 和 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,已超过 40Cr 钢的相变温度 A_{c1} ,因此接头附近 40Cr

侧在焊后得到细珠光体和铁素体组织。

(5) 40Cr 与 QCr0.5 固态焊接时,如果焊接温度太低、焊接时间太短、保温时间也太短的情况下,40Cr 与 QCr0.5 二者只有局部的冶金结合,存在明显的未焊合缺陷,所以拉伸试验时,抗拉强度较低,拉断时会断在界面处。

试验结果分析:激光表面淬火使 40Cr 钢的表层组织细化,晶界密度升高,空位密度、位错以及点阵畸变增加,且激光淬火后 40Cr 中的马氏体在焊接过程中发生一定的扩散性相变,从而导致原子扩散速率提高,原子扩散主要是沿着晶界处进行^[4]。众所周知,晶界是原子快速扩散的通道,如果晶粒越细,同时,晶体缺陷的密度越高,扩散焊接就越容易完成。在铬青铜 QCr0.5 一侧,恒温超塑固态焊接的初期已经发生了动态再结晶,然后发生塑性流变(该塑性流变是以晶界滑移和晶粒滑动为主的塑性流变),最后完成了较大应变量的塑性变形。由图 1(a)、(b)、(c)可见,因为焊接时间过短、焊接温度较低,或者保温的时间不够,试样产生的等效压缩变形比较小,因此所发生的塑性流变也比较小,待焊面接触不够紧密,原子无法发生有效地互扩散,导致焊接结合面处产生孔洞等未焊合的焊接缺陷。将激光表面淬火^[1-2]、整体淬火^[5-6]以及高频感应表面淬火^[7]三种预处理工艺后的固态焊接进行对比可见,激光表面淬火后的固态焊接的焊接时间可以缩短,这是因为激光淬火可以使晶粒进一步细化,从而焊接过程中原子的互扩散速度提高,最终冶金结合焊接接头的形成时间也就

相应缩短了。

3 结论

40Cr 钢的待焊接面进行表面激光淬火的热处理后,与铬青铜 QCr0.5,通过选用合适的恒温超塑性固态焊接工艺,可以实现二者异材的恒温超塑性固态焊接。本试验在焊接温度为 750~800℃、预压应力为 56.6~84.9MPa、焊接时间为 120~180s、初始应变速率为 $(2.5\sim 5)\times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ 的情况下,接头抗拉强度达到铬青铜 QCr0.5 母材强度,焊接接头界面两侧的组织连续,可以看到显微组织的变化,这种变化是由于焊接结合面两侧原子发生相互扩散导致的。

参考文献:

- [1] 韩彩霞. 40Cr/QCr0.5 固态焊中的等效压缩变形与应力应变[J]. 热加工工艺,2006,35(11):7-12.
- [2] 张柯柯,石红信,于华,等. QCr0.5 中间层与表面激光改性后的 40Cr 钢超塑性连接[J]. 材料热处理学报,2008,(6):163-167.
- [3] 杨蕴林,马峰,王长生,等. 基于铬青铜超塑变形的铬青铜/钨合金固态焊接[J]. 焊接学报,2001,22(2):15-18.
- [4] 崔中圻. 金属材料与热处理[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
- [5] 葛利玲,王敏,姚泽坤,等. 异种钢材的恒温超塑性扩散焊工艺[J]. 焊接学报,1996,17(1):31-38.
- [6] Maehara Y, Komizo Y, Langdon T G. Principles of superplastic diffusion bonding [J]. Materials Science and Technology, 1988, 14(4):669-674.
- [7] 陈卫,杨蕴林. 焊接区表面高频淬火后钢的超塑焊接[J]. 热加工工艺,1999,28(5):7-9.

(上接第 173 页)

而且,采用变截面感应线圈,可大大缩短钎焊时间,同时对接头的耐压强度并没有降低。

4 结论

(1) 本文设计了一种两匝变截面感应线圈。计算结果表明,使用变截面线圈可将钎焊时间由采用等截面感应线圈时的 37.4s 缩短至 23.2s。计算结果与试验结果相吻合。

(2) 使用变截面感应线圈获得的钎焊接头,耐水压力值可达到 51MPa,略高于采用等截面线圈钎焊的接头。裂纹出现在母材上。

参考文献:

- [1] 李志春. 空调换热器的钎焊[J]. 焊接,2002,(9):25-28.
- [2] 班琦,顾晓艳,李荣钢. 制冷空调系统钎焊工艺和常见问题[J]. 制冷与空调,2009,9(4):98-100.
- [3] Demianová K, Ožvold M, Turňa M. Application of Induction Heating for Brazing Parts of Solar Collectors [J]. Acta Polytechnica,2012,52(4):44-48.
- [4] Rudnev VI,Loveless D, Cook R, et al. Handbook of induction heating[M]. CRC Press,2002.
- [5] Groover M P. Fundamentals of modern manufacturing: materials processes, and systems[M]. Wiley. com,2007.
- [6] Huang CK, Lin Y C, Tarng Y S. An auto-brazing of composite material rod with small diameter [J]. Journal of materials processing technology,2007,184(1):261-271.
- [7] 杨瑾,李玉龙. TC4 钛合金感应加热钎焊有限元分析[J]. 热加工工艺,2013,42(11):164-167.