

316L/Q370qE 复合板组织演变特征及腐蚀行为

王子蒙 亢淑梅 徐美玲 王俊舟 董明 路金林

(辽宁科技大学,鞍山 114051)

摘要 借助扫描电子显微镜(SEM)、硬度仪、万能试验机、盐雾箱等设备,研究了不同的热处理温度对316L/Q370qE力学性能、组织、耐蚀性的影响。实验得出,在热处理温度为400、700、900、1100℃下,样品的扩散区宽度随着温度升高而加宽。316L/Q370qE复合板界面处的剪切强度为385 MPa,均大于标准要求的210 MPa。316L侧在盐雾环境中以点蚀为主,Q370qE侧以均匀腐蚀为主。400℃的年腐蚀速率最低,700℃的年腐蚀速率最高。

关键词 复合板 显微组织 界面 剪切强度 盐雾试验

Microstructure Evolution and Corrosion Resistance of Steel 316L/Q370qE Clad Plate

Wang Zimeng, Kang Shumei, Xu Meiling, Wang Junzhou, Dong Ming and Lu Jinlin
(University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051)

Abstract The effects of different heat treatment temperatures on the mechanical properties, microstructure and corrosion resistance of 316L/Q370qE were investigated by means of scanning electron microscopy (SEM), hardness tester, universal testing machine and salt spray box. The experiment can be concluded that the diffusion zone width of the three samples is widened with temperature increasing at heat treatment temperatures of 400 °C, 700 °C and 1100 °C. The shear strength at the interface of 316L/Q370qE composite board is greater than 385 MPa, which is greater than 210 MPa required by specifications. The 316L side is dominated by pitting in the salt spray environment, and the Q370qE side is dominated by uniform corrosion. The annual corrosion rate is the lowest at 400 °C and the highest at 700 °C.

Material Index Clad Plate, Microstructure, Interface, Shear Strength, Neutral Salt Spray

316L/Q370qE复合板由基层(Q370qE)和复层(316L)通过轧制复合,在化工、石油、海洋及造船工业等领域中广泛使用^[1]。对于不锈钢复合板,其性能由不锈钢和碳钢共同决定,而两种金属结合面的元素及组织变化对材料的后续加工性能有着重要影响^[2-5]。

本文以Q370qE为基层材料(表1),研究不同的热处理温度对复合板性能的影响。

1 实验

316L进行固溶处理的温度为1050~1100℃^[6];Q370qE热处理目的是细化晶粒并提高强韧性,低于950℃^[7]。所以实验所用试样分别为400、

700℃回火和900、1100℃正火,空冷。

将试样切成边长均为10 mm的正方体,使用4%硝酸酒精溶液腐蚀Q370qE,并用盐酸和硝酸配制的王水腐蚀316L。使用华银310HVS-5型数显小负荷维氏硬度仪,严格按照我国的规范标准进行实验。测试条件为:保荷时间10 s,试验力0.98 N,维氏标尺HV0.1。盐雾试验所用盐雾为5%的NaCl溶液,溶液pH为7,试验时盐雾箱温度35℃。压力80 kPa,喷雾时间36 h。

2 结果与分析

2.1 显微组织观察

从图1中可以看出,Q370qE侧组织主要为铁素体和珠光体,呈条状、片层状。热处理温度由400℃提高到1100℃可以明显看出靠近界面处晶粒体积有变大的趋势。并且越靠近界面晶粒体积越大,这是因为界面处晶粒在轧制过程中变形严重,然后热处理为晶粒的再结晶提供的能量^[8]。随着温度升高黑色点

表1 试验用316L/Q370qE钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of tested 316L/Q370qE steel /%

钢种	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N
316L	0.021	0.56	1.33	0.002	0.031	17.34	10.19	2.01	0.022
Q370qE	0.100	0.20	1.55	0.003	0.015	-	-	-	0.006

通讯作者:亢淑梅,博士,副教授,辽宁科技大学材料科学与工程学院,鞍山 114051

E-mail: kangshumei-911@163.com

状物逐渐消失,这说明近界面处存在一定程度的脱碳,脱碳层的宽度随着温度的升高而加宽^[9]。

从图 2 可以看出,316L 侧的微观结构均是单一奥氏体结构,晶界清晰。有较多的孪晶在奥氏体晶粒内。700 °C 晶界最明显,是因 700 °C 热处理时,碳与铬极易生成含有铬的碳化物,使晶界处的含铬量减少,形成“贫铬区”,产生晶间腐蚀^[10-11]。热处理使 316L 不锈钢和碳钢 Q370qE 中的碳和合金元素向晶界处扩散,从而使晶界处有较多的碳化物颗粒。这会严重影响复合板的使用性能。

2.2 元素线扫描分析

由图 3 可见,316L 不锈钢中含有较多的铬和

镍,而碳钢 Q370qE 中含有较多的铁,由于受到高温作用,316L 不锈钢中的铬和镍向碳钢中扩散,碳钢 Q370qE 中的铁向不锈钢扩散。从图 3 中可以看出,界面处均出现了元素扩散区。当温度分别为 400、700、900、1 100 °C 时,扩散区为宽度分别为 3.70、8.10、9.90、20.25 μm。

2.3 显微硬度分析

从图 4 可以看出,400、700、900 °C 复合板的 HV 硬度值平均都在 220 左右,与 316L 不锈钢的国标值相接近。结合图 1 可以得知,在轧制过程中发生了不同程度的细晶强化,细小晶粒的存在,会提高钢材的硬度。界面处均有大量的细小晶粒存在,但细小

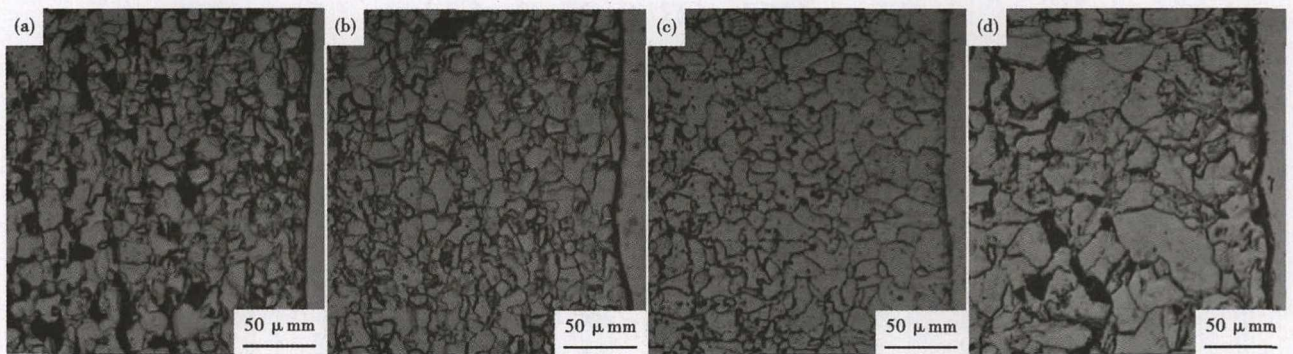


图 1 400 °C (a) 和 700 °C (b) 回火;900 °C (c) 和 1 100 °C (d) 正火 Q370qE 侧的组织形貌

Fig.1 Morphology of structure of steel Q370qE side; tempered at 400 °C (a) and 700 °C (b); normalized at 900 °C (c) and 1 100 °C (d)

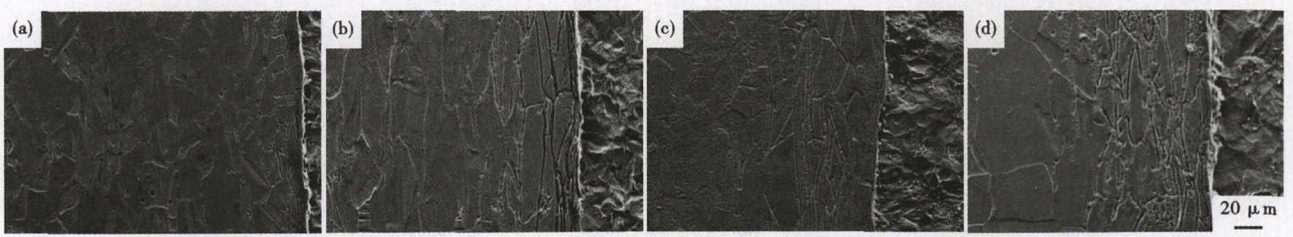


图 2 400 °C (a) 和 700 °C (b) 回火;900 °C (c) 和 1 100 °C (d) 正火 316L 侧的组织形貌

Fig.2 Morphology of structure of steel 316L side; tempered at 400 °C (a) and 700 °C (b); normalized at 900 °C (c) and 1 100 °C (d)

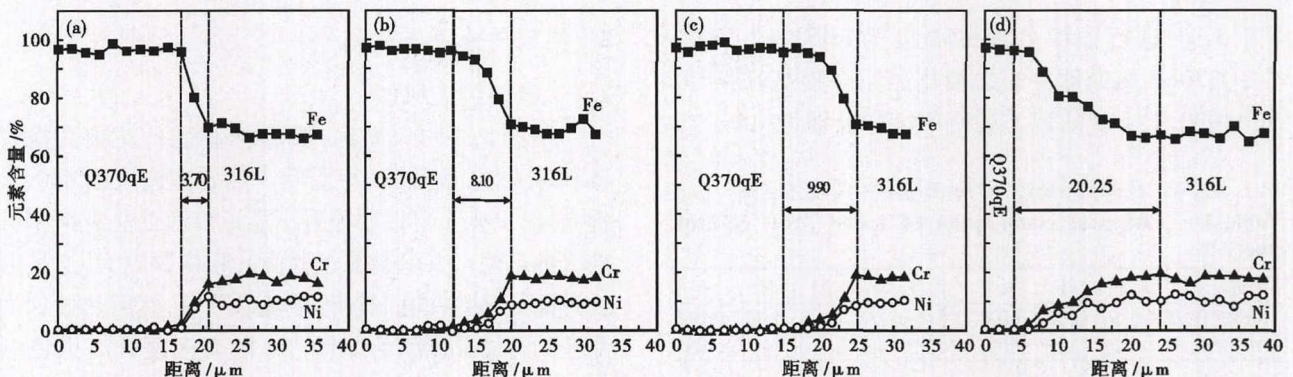


图 3 400 °C (a) 和 700 °C (b) 回火;900 °C (c) 和 1 100 °C (d) 正火 Q370qE/316L 钢复合板 SEM 线扫描分析

Fig.3 SEM line analysis of steel Q370qE/316L clad plate tempered at 400 °C (a) and 700 °C (b); normalized at 900 °C (c) and 1 100 °C (d)

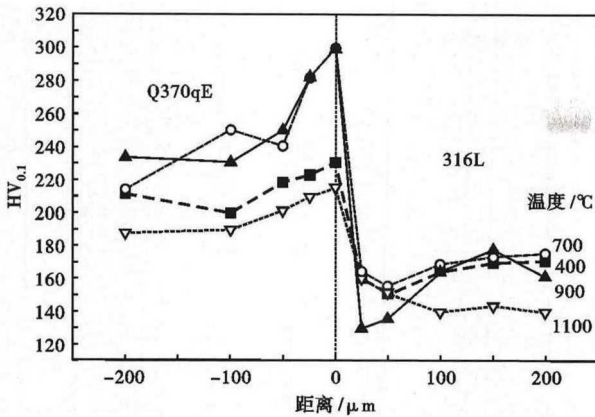


图 4 Q370qE/316L 钢复合板两侧的硬度分布

Fig. 4 Hardness distribution of both side of steel Q370qE/316L clad plate

晶粒区域宽度有不同,而 1 100 °C 的 316L 侧晶粒比较粗大,会造成硬度的降低。在 Q370qE 侧靠近界面处 1 ~ 2 个点的硬度偏低,这是因为 Q370qE 侧的碳元素向 316L 侧扩散形成脱碳层,靠近界面处组织大部分为硬度较低的铁素体。

2.4 剪切强度分析

我国标准规定复合板剪切强度不得小于 210 MPa,并且应该大于 316L 和 Q370qE 中剪切强度中比较小的。也就是说,在生产中,316L/Q370qE 复合板的剪切强度应该比 Q370qE 强度大,才能让两种材料更好的结合在一起。我国标准规定,Q370qE 碳钢的剪切强度最低应为 370 MPa,故 316L/Q370qE 复合板的剪切强度应该大于 370 MPa。从图 5 可以看出,400、900、1 000 °C 试样的剪切强度在大于国标中规定的 210 MPa 的同时,还高于 Q370qE 的剪切强度。复合板力学性能随着温度的升高而降低^[12],图 5 中剪切强度大致符合这一规律,还可以

看出对轧制后的复合板进行一定温度的热处理是可行的。而 700 °C 时剪切强度小于 Q370qE 的剪切强度,说明 700 °C 是界面的结合较差。这是因为热处理温度为 700 °C 时,界面处析出的高硬度的碳化物增加,降低结合强度。

2.5 中性盐雾试验结果分析

从图 6(a,b,c,d)中可以看出,经不同热处理温度处理后的 4 个试样,受到了不同程度的腐蚀。在实验中 Q370qE 侧先受到腐蚀,表面遭受到了程度相似的腐蚀,腐蚀均匀,是全面腐蚀。腐蚀产物会促进介质对 Q370qE 的腐蚀,因为氯元素和氧元素能够穿过腐蚀产物与 Q370qE 接触并继续反应。316L 侧受到轻微腐蚀,为点蚀。是因为氯化钠溶液中的氯离子在钢铁上的吸附作用和渗透能力而形成的局部腐蚀^[13]。

图 7 可以看出,界面处碳钢侧遭到毁灭性破坏

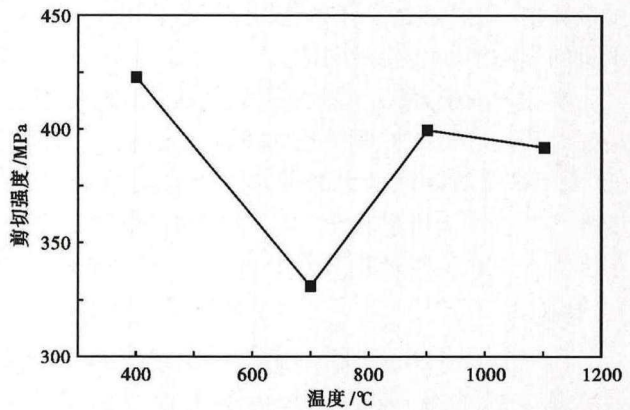


图 5 温度对 Q370qE/316L 钢复合板界面处剪切强度的影响

Fig. 5 Effect of temperature on shear strength of interface of steel Q370qE/316L clad plate

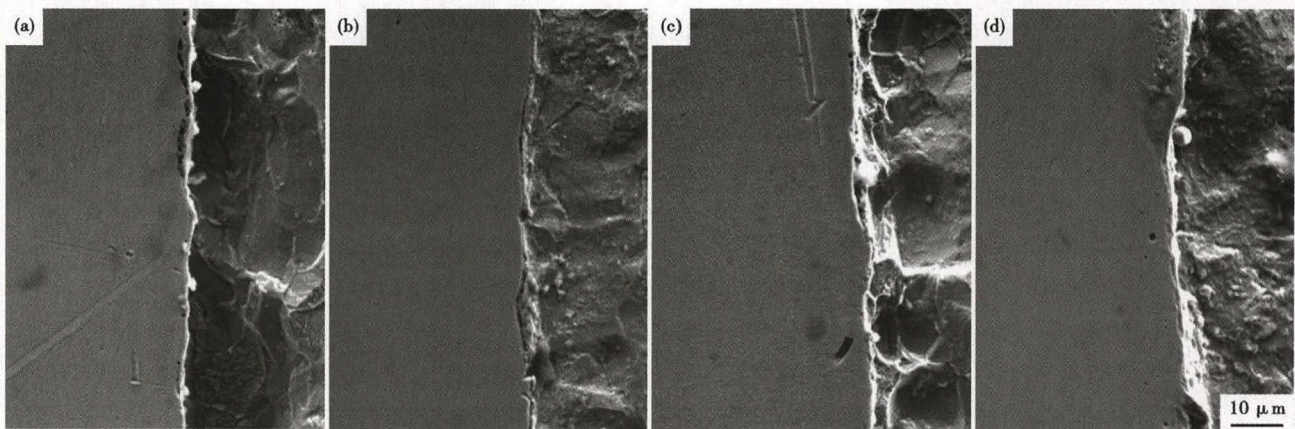


图 6 5% NaCl 36 h 盐雾试验后 Q370qE/316L 钢复合板界面的组织形貌,热处理温度/°C:(a)400,(b)700,(c)900,(d)1100

Fig. 6 Morphology of structure of steel Q370qE/316L clad plate interface after 5% NaCl 36 h salt spray test, heat treatment temperature /°C : (a) 400, (b) 700, (c) 900 and (d) 1100

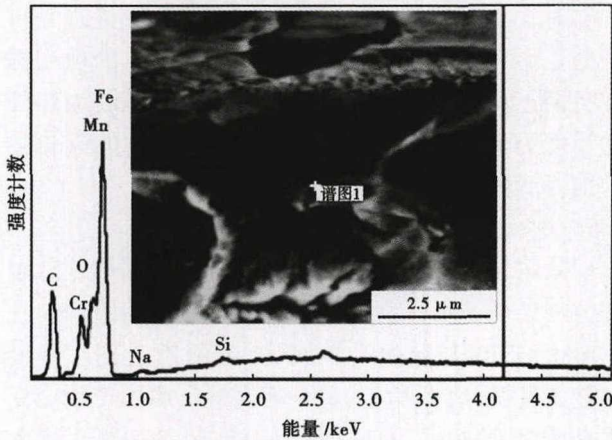


图 7 Q370qE/316L 钢复合板 5% NaCl 36 h 盐雾试验后界面形貌及 EDS 结果

Fig. 7 Morphology of interface of steel Q370qE/316L clad plate after 5% NaCl 36 h salt spray test and energy dispersive spectrometer (EDS) analysis

并形成大量的腐蚀孔洞,从界面处能谱曲线(EDS)可以看出,在界面处含有大量的铁、碳、锰和氧,以及少量的硅和清洗后残留的钠。

从图 8 看出,400 °C 腐蚀速率最低,耐腐蚀性能最好。700 ~ 1 100 °C 腐蚀速率随着温度的升高而降低,说明试样抗腐蚀能力随着热处理温度的升高而增强。结合图 2 可以得出 700 °C 耐腐蚀能力最差,是因为在 700 °C 热处理条件下,易产生晶间腐蚀。

3 结论

(1)316L/Q370qE 复合板组织中,Q370qE 侧为铁素体和珠光体,在靠近界面处出现脱碳现象,316L侧为单一奥氏体,晶粒尺寸趋于均匀,界面处

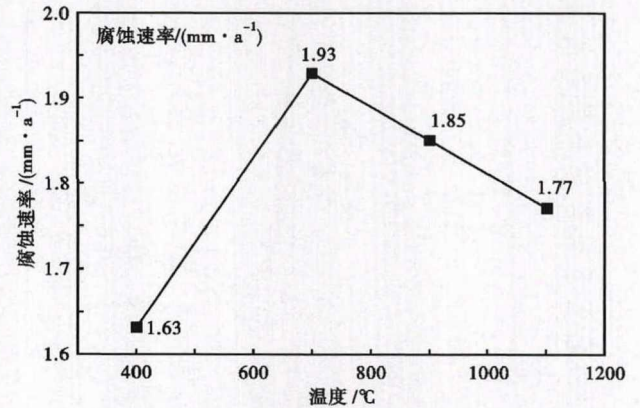


图 8 热处理温度对 Q370qE/316L 钢复合板 5% NaCl 36 h 盐雾试验腐蚀速率的影响

Fig. 8 Effect of heat treatment temperature on corrosion rate of steel Q370qE/316L clad plate by 5% NaCl 36 h salt spray test

析出的铬的碳化物。复合板界面处由于铬、镍、铁等元素的相互扩散,出现了一定宽度的元素扩散区。

(2)316L 到结合处的硬度值均呈现上升的趋势,结合处到 Q370qE 的硬度值均为先下降后上升。当热处理温度 400 °C 时,剪切强度最高,温度继续升高,界面剪切强度下降。700 °C 时,由于大量碳化物析出,降低了结合强度,剪切强度最低。

(3)中性盐雾试验中可以明显看出,不锈钢侧因腐蚀产生少量蚀坑,碳钢侧被严重腐蚀,界面处形成腐蚀孔洞,严重影响复合板的性能。400 °C 年腐蚀速率最低,耐腐蚀性能最好。综合考虑后可以得出复合板最合理的热处理温度是 400 °C。

辽宁省教育厅项目(2017LNQN14),辽宁科技大学大学生创新创业项目(201810146146)资助。

参考文献

[1] 刘宝龙,张慧芳,肖振兴,等. 316L/Q345R 热轧复合板界面组织演变及性能[J]. 钢铁,2017,52(5):72-76.

[2] Rao, Sarma and Nagarjuna S. Influence of Hot Rolling and Heat Treatment on Structure and Properties of HSLA Steel Explosively Clad With Austenitic Stainless Steel [J]. Materials Science and Technology, 2009, 25(11): 1387-1396.

[3] 李炎,祝要民,周旭峰,等. 316L/16MnR 热轧复合板界面组织结构的研究[J]. 金属学报,1995,31(12):537-542.

[4] 骆宗安,王光磊,谢广明,等. 钎夹层对真空轧制复合 Ti 不锈钢板的显微组织及性能的影响[J]. 中国有色金属学报,2013,23(12):3335-3340.

[5] 张铁磊,吉泽升,赵振华. 热处理对 ZM6 镁合金 TIG 焊后组织性能的影响[J]. 中国有色金属学报,2013,23(3):593-598.

[6] 戴起勋. 金属材料学[M]. 北京:化学工业出版社,2013.

[7] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册工艺基础篇[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

[8] 徐明. 热处理对 316L/Q345R 爆炸焊复合板组织及性能的影响[D]. 成都:西南石油大学,2016.

[9] 戴成珂,赵刚,徐耀文,等. 30CrMo 钢表面脱碳试验[J]. 钢铁,

2016,51(7):60-64,70.

[10] 谢广明,骆宗安,王国栋. 轧制工艺对真空轧制复合钢板组织与性能的影响[J]. 钢铁研究学报,2011,23(12):27-30.

[11] 唐翠华,侯良立. 316L-16MnR 复合板不锈钢侧晶间腐蚀原因分析[J]. 理化检验(物理分册),2008(1):48-50,53.

[12] 赵浩峰,薛更,韩世平. 热处理温度对 1Cr18Ni9Ti/16Mn 爆炸焊接复合钢板界面组织和性能的影响[J]. 钢铁研究学报,1998,10(5):53-56.

[13] Ma Yuantai, Li Ying and Wang Fuhui. Corrosion of Low Carbon Steel in Atmospheric Environments of Different Chloride Content [J]. Corrosion Science, 2009, 51(5):997-1006.

王子蒙(1993-),女,硕士生,辽宁石油化工大学(本科)毕业,金属腐蚀与防护研究. E-mail:2994550312@qq.com

收稿日期:2019-02-28