

终轧温度对 2205/Q345C 复合板界面组织和力学性能的影响

张永健¹, 陈俊宏¹, 陈 祯¹, 王娇娇¹, 惠卫军¹, 王小勇², 杨建炜²

(1. 北京交通大学 机械与电子控制工程学院, 北京 100044;

2. 首钢集团有限公司 技术研究院, 北京 100043)

摘要:采用真空对称组坯+热轧法制备 2205/Q345C 复合钢板,研究了终轧温度对复合板界面微观组织、元素扩散、硬度分布及剪切强度的影响。结果表明:终轧温度为 950~1100℃时 2205/Q345C 复合板的界面结合良好,基层 Q345C 钢板为铁素体+珠光体组织,复层 2205 双相不锈钢为奥氏体+铁素体组织。在界面附近,Q345C 钢中的 C 向 2205 钢中扩散形成了脱碳层,而 2205 钢形成了“渗碳层”,且二者的深度均随终轧温度的增加而增加。2205 钢中的 Cr、Ni 元素向 Q345C 钢中连续扩散,Cr 原子扩散的剧烈程度高于 Ni 原子,扩散距离大于 Ni 原子,且二者的扩散距离均随终轧温度的升高而增加。随着终轧温度的升高,复合板的硬度变化不大,在界面附近 2205 钢硬度最高而 Q345C 钢硬度值最低,而界面的剪切强度略有降低,但均大于 420 MPa,符合 GB/T 8165—2008《不锈钢复合板和钢带》中剪切强度 ≥ 210 MPa 的要求,且剪切断口中裂纹源区面积减小。终轧温度为 950~1100℃时 2205/Q345C 复合板均获得了良好的力学性能。

关键词:不锈钢复合板;终轧温度;微观组织;元素扩散;力学性能

中图分类号: TB33 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-6051(2021)07-0108-06

Effect of final rolling temperature on interfacial microstructure and mechanical properties of 2205/Q345C steel clad plate

Zhang Yongjian¹, Chen Junhong¹, Chen Zhen¹, Wang Jiaojiao¹, Hui Weijun¹, Wang Xiaoyong², Yang Jianwei²

(1. School of Mechanical, Electronic and Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Research Institute of Technology, Shougang Group Corporation, Beijing 100043, China)

Abstract: Effect of final rolling temperature on the interface microstructure, element diffusion, hardness distribution and shear strength of 2205/Q345C clad steel plates prepared by vacuum hot rolling method were studied. The results show that the interface of the clad plates are all well bonded when the final rolling temperature is in the range of 950-1100℃, which is composed of ferrite + pearlite at the Q345C steel side and austenite + ferrite at the 2205 steel side. Near the interface of clad plate, the C atoms diffuses from Q345C steel into 2205 steel, causing a decarburized layer formed in Q345C steel, while a “carburized layer” formed in 2205 steel, and the thicknesses of both the decarburized layer and “carburized layer” increase with the increase of the final rolling temperature. Meanwhile, the Cr and Ni atoms diffuse continuously from Q345C steel into 2205 steel, and the diffusion distance of Cr atoms is greater than that of Ni atoms. With the increase of the final rolling temperature, the diffusion distances of Cr atoms and Ni atoms increase. Also with the increase of the final rolling temperature, the hardness of the clad plate changes little, and the hardness of 2205 steel near the interface is the highest while that of Q345C steel is the lowest. At the same time, the interfacial shear strength of the clad plates decreases, but all of them are greater than 420 MPa, which conforms to the requirement of shear strength ≥ 210 MPa in the standard of GB/T 8165—2008 *Stainless Steel Clad Plates and Strips*. In conclusion, when the final rolling temperature is in the range of 950-1100℃, the 2205/Q345C clad plates can obtain good mechanical properties.

Keywords: stainless steel clad plate; final rolling temperature; microstructure; element diffusion; mechanical properties

不锈钢复合板以低碳钢或低合金钢作为基层金属,以不锈钢作为复层金属,通过轧制、爆炸等方式将两种金属复合到一起,由于节省大量的 Ni、Cr 等贵金属,使其兼具力学性能、加工性能和耐腐蚀性能、经济

性等优势。因此,不锈钢/碳钢复合板被越来越多地应用于石油、化工、海水淡化、水利工程、船舶制造、核能工程、冶金等诸多领域的关键设备中^[1]。基于环境保护、生产效率、产品性能等因素的考虑,热轧复合工艺广泛应用于制备不锈钢复合板^[2-4]。在热轧复合板的制备过程中,组坯方式、加热温度、开轧温度、压下率、终轧温度、冷却过程、轧后热处理等工艺参数均影响着复合板产品的最终性能^[4-9]。终轧温度是钢板热轧过程中的重要工艺参数之一,其对钢板的晶粒尺寸、微观

收稿日期:2021-01-05

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0401205)

作者简介:张永健(1982—),男,副研究员,博士,主要研究方向为先进钢铁材料研发及其服役性能,E-mail: zhangyongjian@bjtu.edu.cn

DOI:10.13251/j.issn.0254-6051.2021.07.021

组织和力学性能均有较大影响。在复合板轧制过程中,终轧温度影响着钢板变形抗力的大小。研究表明^[10-14],终轧温度过高会造成钢的晶粒粗大,降低钢板的力学性能,随着终轧温度的降低,钢板的抗拉强度和屈服强度提高,伸长率降低。目前对不锈钢复合板的研究及应用多集中在奥氏体不锈钢和碳钢或低合金钢的复合^[2-9],而针对双相不锈钢复合板的研究有限^[14-17]。随着 Ni 金属价格高升,奥氏体不锈钢成本大幅提高。双相不锈钢具有成本低、耐腐蚀、比强度高等优点,受到越来越多的重视。近年来,双相不锈钢在海水淡化装置中的应用越来越多。

本文针对双相不锈钢 2205 和低合金钢 Q345C,采用真空对称组坯+热轧的方式制备不锈钢复合钢板,研究终轧温度对其界面微观组织、元素扩散、力学性能等的影响,为 2205/Q345C 复合板的工业生产提供理

论储备和技术支持。

1 试验材料与方法

采用真空对称组坯+热轧试制不锈钢复合板,复合板的基层选用低合金钢 Q345C 钢板,复层选用双相不锈钢 2205 钢板,试验材料的化学成分见表 1。为保证复合板轧后的板形平整度,采用 4 层对称的组坯方式,即基层-复层-复层-基层,如图 1 所示。组坯前用粗砂纸打磨各金属以暴露出新鲜表面,在低合金钢和不锈钢之间抽真空后进行焊接封边处理,在两层不锈钢之间添加隔离剂。在热轧试验机上进行复合板轧制,首先将组坯加热到 1200 ℃保温 2 h,在 1150 ℃开轧,压缩比为 6,终轧温度分别为 950、1050 和 1100 ℃,轧后在约 950 ℃开始水冷至约 600 ℃,随后空冷至室温,具体热轧工艺如图 2 所示。

表 1 Q345C 和 2205 钢的化学成分(质量分数,%)
Table 1 Chemical composition of the 2205 and Q345C steel (mass fraction, %)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	Nb	Al	Ti
2205	0.026	0.55	1.02	0.017	0.003	5.65	22.97	<0.01	3.09	—	—	—	—
Q345C	<0.2	<0.55	<1.70	<0.035	<0.035	—	—	—	—	0.02~0.15	0.015~0.06	>0.015	0.02~0.20

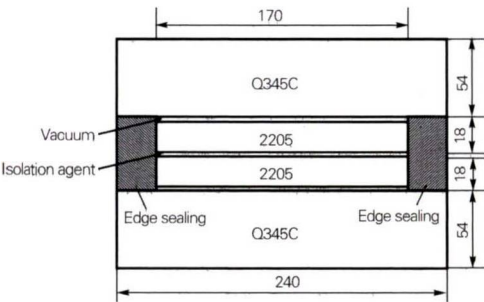


图 1 2205/Q345C 复合板真空对称组坯示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the 2205/Q345C clad plates vacuum symmetrical assembly billet

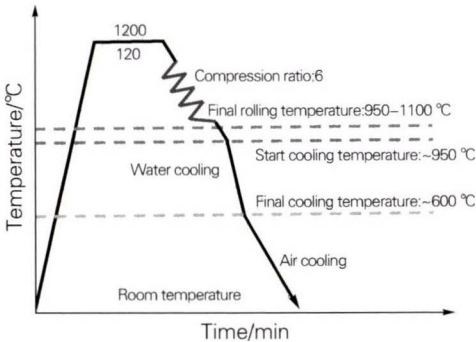


图 2 2205/Q345C 复合板的热轧工艺示意图

Fig. 2 Schematic diagram of hot rolling process for the 2205/Q345C clad plates

在复合板界面附近取金相试样,经机械研磨、抛光后进行化学腐蚀。由于复合板基层和复层材料的耐腐蚀程度不同,需采用两步腐蚀法分别腐蚀,即用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀 Q345C 低合金钢,用 C₂O₂H₄ 水溶液腐蚀 2205 不锈钢。利用光学显微镜 Zeiss Scope. A1 观察复合板界面及其附近结合区的微观组织形貌。采用 Zeiss EVO 18 扫描电镜及其附带的能谱分析仪(EDS)沿复合板界面的垂直方向进行线扫描以分析界面附近的元素分布及含量变化。按照 GB/T 4340.1—2009《金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》,采用 TH700 型维氏硬度计测试复合板界面附近的硬度分布,加载载荷砝码为 1 kg,以界面为中心沿直

线向两侧 30° 角方向作为测试方向。根据 GB/T 6396—2008《复合钢板力学及工艺性能试验方法》,在万能力学试验机上测试复合板的界面剪切强度。

2 试验结果与讨论

2.1 复合板界面微观组织

2205/Q345C 复合板界面及其附近微观组织形貌,如图 3 所示。可见,终轧温度不同的 3 种复合板,其基层 Q345C 低合金钢和复层 2205 不锈钢之间均存在致密、平直的复合界面,基层和复层钢板结合紧密,无褶皱、裂纹等缺陷,说明在 950~1100 ℃ 终轧温度范围内

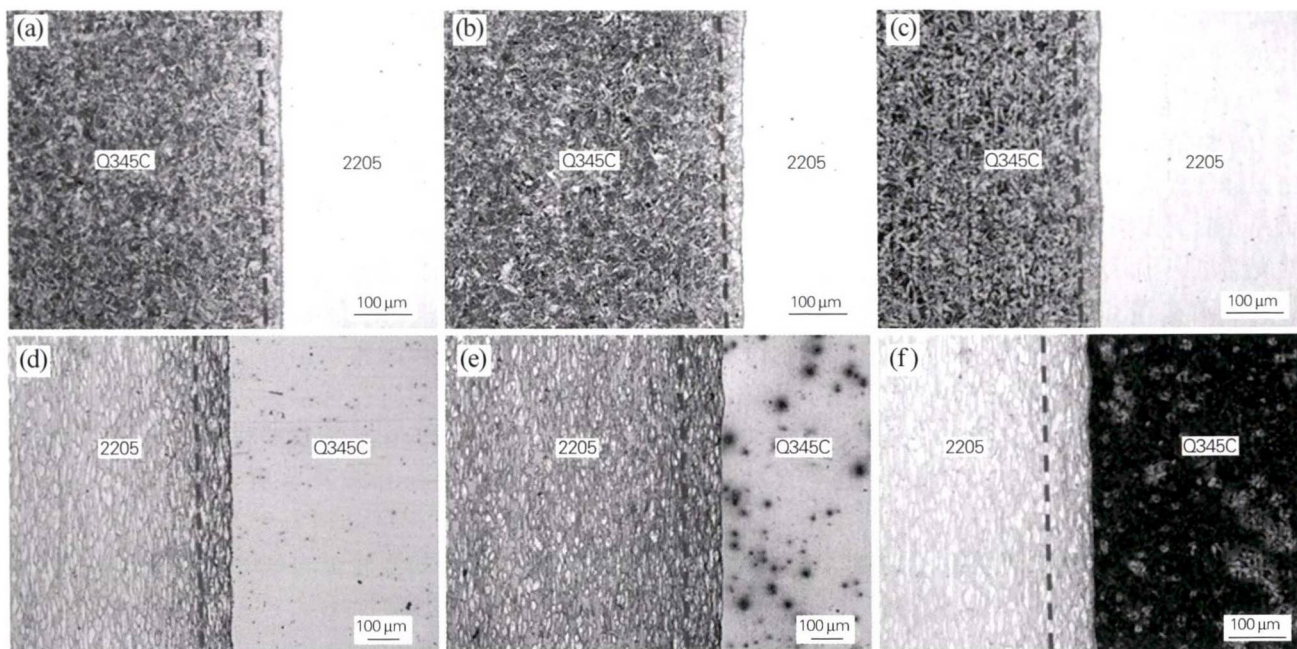


图3 不同终轧温度下 2205/Q345C 复合板界面的微观组织形貌

Fig. 3 Interface microstructure of the 2205/Q345C clad plates under different final rolling temperatures
(a, d) 950 °C; (b, e) 1050 °C; (c, f) 1100 °C

复合板均结合良好。基层 Q345C 钢板为铁素体 + 珠光体组织,复层 2205 双相不锈钢基体为奥氏体 + 铁素体组织,复合板终轧温度越高其组织越粗。由图 3(a~c) 可以看出,3 种复合板界面附近的低合金钢侧均存在以铁素体为主的脱碳层,且脱碳层深度随终轧温度的增加而增加。当终轧温度为 950 ~ 1100 °C 时,脱碳层深度为 30 ~ 50 μm。这是由于化学成分的不同,复合板界面两侧的低合金钢和不锈钢之间存在着 C 浓度差(见表 1),在高温塑性变形的轧制过程中,基层中的 C 向复层中扩散,形成了一定深度的脱碳层。此外,不锈钢中的 Cr 元素亦能提高 C 的化学势,促进其扩散^[4]。在相同轧制压下量的情况下,终轧温度越高,C 元素在高温下获得的扩散能量越大,导致其扩散程度越大,形成的脱碳层深度越大^[7]。由图 3(d~f) 可以看出,在高温轧制过程中,当 Q345C 钢中的 C 向 2205 钢中扩散后,在复合板界面的 2205 钢侧形成了一定深度的“渗碳层”。该“渗碳层”在相同的腐蚀条件下,较不锈钢基体更易腐蚀,其深度随着终轧温度的增加而增加;当终轧温度为 950 ~ 1100 °C 时,“渗碳层”深度为 50 ~ 70 μm;与不锈钢基体相比,该“渗碳层”中奥氏体组织比例增加。高温和轧制过程中,2205 钢中的 Cr、Ni 等元素向低合金钢中扩散,导致界面附近的不锈钢中主要抗腐蚀合金元素含量减少,耐腐蚀性能降低;此外,随着元素扩散的进行,界面附近的不锈钢 2205 中 C 含量增加、Cr 含量降低,导致奥氏体易

形成^[7]。

2.2 复合板界面附近元素扩散

在高温和压下的作用下,2205/Q345C 复合板界面附近存在着 Fe、C、Mn、Si、Cr、Ni 等元素的扩散行为。图 4 为复合板界面及其附近低合金钢和不锈钢中 Cr、Ni 元素分布的线扫描分析结果。可见,2205 不锈钢中的 Cr、Ni 元素向界面及 Q345C 低合金钢侧发生了连续的扩散,且 Cr 原子扩散的剧烈程度高于 Ni 原子。不同终轧温度复合板中元素扩散的距离不同。将图 4 中曲线拟合后测量元素扩散距离,结果如图 5 所示。当终轧温度为 950 ~ 1100 °C 时,Cr 原子的扩散距离为 48 ~ 105 μm,Ni 原子为 27 ~ 64 μm,Cr 原子的扩散距离大于 Ni 原子,且随着终轧温度的升高,Cr、Ni 原子的扩散距离均增加。与 C 元素的扩散特征相似,在相同轧制压下量的条件下,终轧温度越高,使得 Cr、Ni 等合金元素在高温下获得的扩散能量越大,导致其扩散距离增加。Fe、Cr 和 Ni 原子半径分别为 0.127、0.125 和 0.128 nm,即 Cr、Ni 原子与 Fe 原子直径相差小于 15%,故 Cr、Ni 原子在铁晶格中的扩散方式为置换扩散^[9]。Cr、Ni 在 γ-Fe 中扩散激活能分别为 335 和 282.5 kJ/mol,二者相差不大,故其扩散距离主要受浓度梯度的影响。2205/Q345C 复合板中界面两侧 Cr 元素的浓度梯度较 Ni 大,导致 Cr 原子的扩散距离较 Ni 原子大。

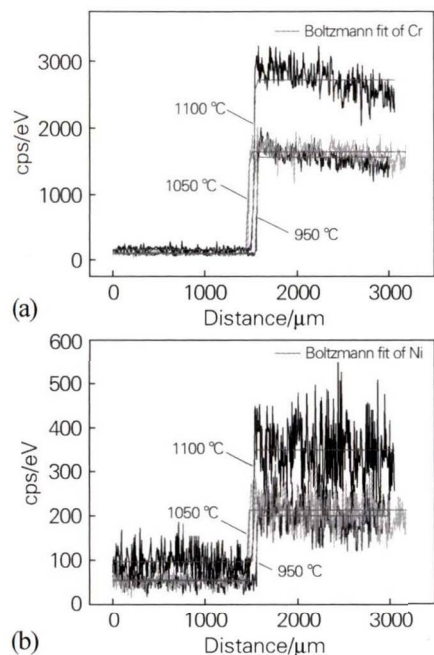


图4 不同终轧温度下 2205/Q345C 复合板界面的元素分布
Fig. 4 Element distribution at the interface in 2205/Q345C clad plates under different final rolling temperatures
(a) Cr; (b) Ni

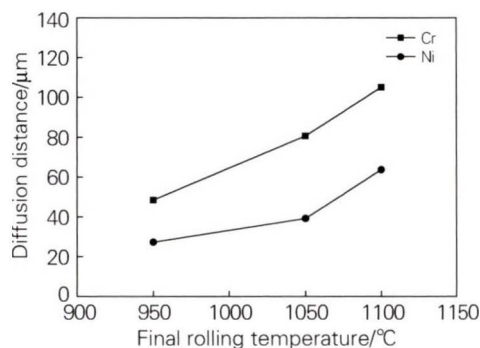


图5 不同终轧温度下 2205/Q345C 复合板界面附近 Cr、Ni 元素的扩散距离
Fig. 5 Diffusion distance of Cr and Ni atoms near the interface in 2205/Q345C clad plates under different final rolling temperatures

2.3 复合板界面硬度分布

图6为2205/Q345C复合板界面附近的硬度分布。可见,在复合板界面两侧,复层2205不锈钢的硬度显著高于基层Q345C低合金钢。2205不锈钢在界面附近硬度达到最大值,随着与界面距离的增加,其硬度值先降低后逐渐趋于稳定,Q345C低合金钢在界面附近硬度值最低,且其硬度值随着与界面距离增加而升高。不同终轧温度下复合板硬度的变化趋势相近,当终轧温度为950、1050和1100 °C时Q345C钢侧平均硬度分别为167.4、175.3、174.5 HV,2205钢侧分别

为264.1、277.0、279.0 HV,可见,终轧温度在950~1100 °C之间的变化对复合板中低合金钢侧和不锈钢侧的硬度均无明显影响。

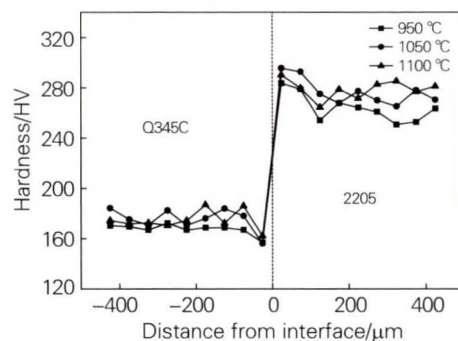


图6 不同终轧温度下 2205/Q345C 复合板硬度分布
Fig. 6 Hardness distribution of the 2205/Q345C clad plates under different final rolling temperatures

如前所述,复合板界面附近低合金钢发生脱碳,其珠光体组织向铁素体转变,由于铁素体硬度较低,导致低合金钢硬度值降低;当距离超过脱碳层深度后,低合金钢的硬度值逐渐达到其基体硬度。在加热轧制过程中,复合板界面附近发生元素互扩散,低合金钢中的C元素向不锈钢中扩散,并形成一定深度的“渗碳层”,在随后的冷却过程中,“渗碳层”中固溶C析出并在不锈钢中生成Cr、Mo等碳化物脆硬相,将导致不锈钢硬度升高。同时,界面附近不锈钢硬度升高还可能与界面附近存在变形量较大的加工硬化层有关。3种工艺的复合板开轧温度、压缩比和开始冷却温度相同,即试验钢的受热冷却过程大体一致,使其主要组织转变过程相近,可能是导致其硬度无明显差别的主要原因。

2.4 复合结合面剪切强度

界面剪切强度是衡量复合板性能的重要指标之一。图7为2205/Q345C复合板的界面剪切强度测试结果。可见,3种终轧温度复合板的界面剪切强度均

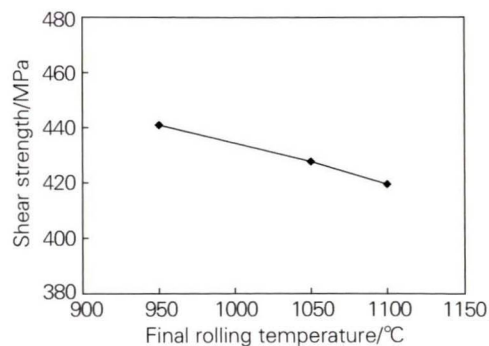


图7 不同终轧温度下 2205/Q345C 复合板的剪切强度
Fig. 7 Shear strength of the 2205/Q345C clad plates under different final rolling temperatures

在 420 MPa 以上,均符合 GB/T 8165—2008《不锈钢复合板和钢带》中剪切强度 ≥ 210 MPa 的要求。当终轧温度由 950 °C 升高到 1100 °C 时,其界面剪切强度降低,由 442 MPa 下降至 420 MPa。由此说明,终轧温度

在 950 ~ 1100 °C 时复合板均可获得良好的力学性能。图 8 为不同终轧温度下 2205/Q345C 复合板的剪切断面形貌。可见,剪切断口均存在裂纹起裂源区和裂纹扩展区,且随着终轧温度的升高裂纹源区面积减小。

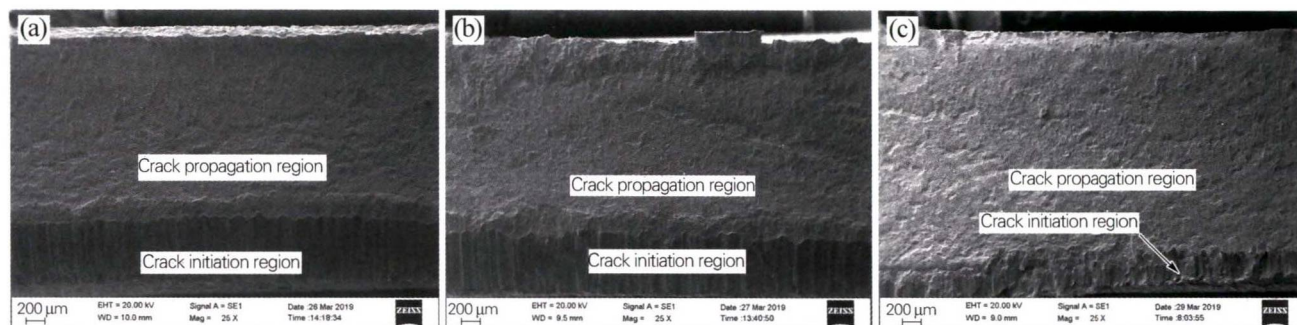


图 8 不同终轧温度下 2205/Q345C 复合板的剪切断口形貌

Fig. 8 Shear fracture morphologies of the 2205/Q345C clad plates with different final rolling temperatures
(a) 950 °C; (b) 1050 °C; (c) 1100 °C

如前所述,随终轧温度升高,复合板界面附近脱碳层深度增加、组织粗化(见图 3),将使其界面结合强度降低,进而导致复合板界面剪切强度降低。一般认为,材料断裂过程中,裂纹启裂将消耗大部分能量。从断面形貌分析,终轧温度升高复合板裂纹源区面积减少,即裂纹启裂所消耗的能量降低,最终导致断裂强度降低。

3 结论

1) 终轧温度为 950 ~ 1100 °C 时 2205/Q345C 复合板的界面致密、平直,结合良好。基层 Q345C 钢板为铁素体 + 珠光体组织,复层 2205 双相不锈钢为奥氏体 + 铁素体组织。由于加热和轧制过程中界面附近发生元素的互扩散,导致界面附近 Q345C 钢侧形成脱碳层,而 2205 钢侧形成“渗碳层”,且二者的深度均随终轧温度的升高而增加。当终轧温度为 950 ~ 1100 °C 时,脱碳层深度为 30 ~ 50 μm,“渗碳层”深度为 50 ~ 70 μm。

2) 在加热和轧制过程中,2205/Q345C 复合板界面附近发生了合金元素的互扩散,2205 钢中的 Cr、Ni 元素向 Q345C 钢中进行了连续扩散,且 Cr 原子扩散的剧烈程度高于 Ni 原子。随着终轧温度的升高,Cr、Ni 原子的扩散距离均增加,且 Cr 原子的扩散距离大于 Ni 原子。当终轧温度为 950 ~ 1100 °C 时,Cr 原子的扩散距离为 48 ~ 105 μm, Ni 原子的扩散距离为 27 ~ 64 μm。

3) 复合板中 2205 不锈钢的硬度显著高于 Q345C 低合金钢;在界面附近,复层 2205 不锈钢的硬度最高,而基层 Q345C 低合金钢的硬度值最低,且

随着与界面距离的增加二者硬度值逐渐达到基体水平。终轧温度在 950 ~ 1100 °C 之间变化时,复合板中低合金钢和不锈钢的硬度值均无明显差别;当终轧温度为 950、1050 和 1100 °C 时 Q345C 钢侧的平均硬度分别为 167.4、175.3、174.5 HV,2205 钢侧分别为 264.1、277.0、279.0 HV。

4) 随着终轧温度的增加,2205/Q345C 复合板的界面剪切强度降低;当终轧温度由 950 °C 升高到 1100 °C 时,其界面剪切强度由 442 MPa 下降至 420 MPa,但仍然符合 GB/T 8165—2008《不锈钢复合板和钢带》中剪切强度 ≥ 210 MPa 的要求。2205/Q345C 复合板的剪切断口均存在裂纹起裂源区和裂纹扩展区,且随着终轧温度的升高裂纹源区面积减小。

参考文献:

- [1] 翁宇庆,陈蕴博,刘 玠,等. 特殊钢在先进装备制造业应用中的战略研究[M]. 北京:冶金工业出版社,2012.
- [2] Wang S, Liu B X, Chen C X, et al. Microstructure, mechanical properties and interface bonding mechanism of hot-rolled stainless steel clad plates at different rolling reduction ratios[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2018, 766: 517-526.
- [3] Liu B X, Yin F X, Dai X L, et al. The tensile behaviors and fracture characteristics of stainless steel clad plates with different interfacial status[J]. Materials Science and Engineering A, 2017, 679: 172-182.
- [4] 金贺荣,韩民峰,段昌新. 压下率对 316L/EH40 复合板界面微观形貌的影响[J]. 钢铁, 2019, 54(12): 62-69.
Jin Herong, Han Minfeng, Duan Changxin. Effect of reduction rates on interfacial microstructure morphologies of 316L/EH40 clad plate[J]. Iron and Steel, 2019, 54(12): 62-69.
- [5] 刘利香,张学岭. 不同制坯工艺对不锈钢复合板坯料轧制的影响

- 研究[J]. 宽厚板, 2019, 25(6): 5-9.
- Liu Lixiang, Zhang Xueling. Effects of different composite slab bonding processes on stainless steel clad plate rolling[J]. Wide and Heavy Plate, 2019, 25(6): 5-9.
- [6] 王泽鹏, 张红梅, 付魁军, 等. 压下率对热轧不锈钢复合板组织与性能的影响[J]. 金属热处理, 2016, 41(9): 103-106.
- Wang Zepeng, Zhang Hongmei, Fu Kuijun, et al. Effect of reduction ratio on microstructure and properties of hot-rolled stainless steel clad plate[J]. Heat Treatment of Metals, 2016, 41(9): 103-106.
- [7] 黄庆学, 李海斌, 周存龙, 等. 复合板轧制压下率对碳钢组织及相变的影响[J]. 材料热处理学报, 2014, 35(3): 149-153.
- Huang Qingxue, Li Haibin, Zhou Cunlong, et al. Effect of reduction rate on microstructure and transformation behavior of carbon steel by rolling clad plate[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2014, 35(3): 149-153.
- [8] Liu B X, Wang S, Fang W, et al. Microstructure and mechanical properties of hot rolled stainless steel clad plate by heat treatment[J]. Materials Chemistry and Physics, 2018, 216: 460-467.
- [9] 丁海民, 范孝良, 王进峰, 等. 热轧复合不锈钢-碳钢复合板界面特征[J]. 材料热处理学报, 2011, 32(11): 18-22.
- Ding Haimin, Fan Xiaoliang, Wang Jinfeng, et al. Interface characterization of hot-rolled stainless steel/carbon steel clad[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2011, 32(11): 18-22.
- [10] 胡晓英. 终轧温度对 Q345B 热轧钢板组织和性能的影响探究[J]. 宽厚板, 2020, 26(1): 29-33.
- Hu Xiaoying. Investigating effects of finish rolling temperature on microstructure and mechanical properties of Q345B hot rolled steel plate[J]. Wide and Heavy Plate, 2020, 26(1): 29-33.
- [11] 譙明亮, 史根豪, 洪 君, 等. 终轧温度对 Q420qENH 钢板组织性能的影响[J]. 轧钢, 2019, 36(3): 18-21.
- Qiao Mingliang, Shi Genhao, Hong Jun, et al. Effect of finishing rolling temperature on the microstructure and properties of Q420qENH plate[J]. Steel Rolling, 2019, 36(3): 18-21.
- [12] 韩承良, 王彦锋, 杨永达, 等. 终轧温度对 Q420qE 钢板组织性能的影响[J]. 轧钢, 2018, 35(2): 26-28.
- Han Chengliang, Wang Yanfeng, Yang Yongda, et al. Effect of finishing rolling temperature on microstructure and mechanical properties of Q420qE plate[J]. Steel Rolling, 2018, 35(2): 26-28.
- [13] 张开华, 叶晓瑜, 刘 勇, 等. 终轧温度对高强度工程机械用钢组织性能的影响[J]. 钢铁钒钛, 2010, 31(3): 63-67.
- Zhang Kaihua, Ye Xiaoyu, Liu Yong, et al. Effect of finishing rolling temperature on microstructures and mechanical properties of steel strip for engineering mechanism[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2010, 31(3): 63-67.
- [14] 肖丰强, 王东坡, 胡文彬, 等. 终轧温度对 2205/Q235B 双相不锈钢复合板组织和性能的影响[J]. 材料导报, 2020, 34(16): 16119-16124.
- Xiao Fengqiang, Wang Dongpo, Hu Wenbin, et al. Effect of final rolling temperature on microstructure and properties of 2205/Q235B duplex stainless steel clad plate[J]. Materials Reports, 2020, 34(16): 16119-16124.
- [15] Chen J, Dong F T, Jiang H L, et al. Influence of final rolling temperature on microstructure and mechanical properties in a hot-rolled TWIP steel for cryogenic application[J]. Materials Science and Engineering A, 2018, 724: 330-334.
- [16] 白允强, 黄 文, 王章忠, 等. 2205 双相不锈钢/Q345 低合金钢爆炸复合板的组织与力学性能[J]. 机械工程材料, 2012, 36(12): 33-36.
- Bai Yunqiang, Huang Wen, Wang Zhangzhong, et al. Microstructure and mechanical properties of explosive clad plates of 2205 duplex stainless steel and Q345 low alloy steel[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2012, 36(12): 33-36.
- [17] 任永峰, 查小琴, 张凌峰. 2205 双相不锈钢热轧复合板复层组织及性能研究[J]. 塑性工程学报, 2020, 27(3): 122-129.
- Ren Yongfeng, Zha Xiaoqin, Zhang Lingfeng. Study on multiple layer microstructure and properties of 2205 duplex stainless steel hot rolled clad plates[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27(3): 122-129.

《材料热处理学报》2021 年征订征稿启事

期刊简介:《材料热处理学报》是由中国机械工程学会主办的全国性学术刊物。本刊主要刊登各类材料(包括金属与非金属)基础研究和应用的学术论文、科研成果及行业科技信息等,重点是材料科学与工程领域中国家基金和省部级基金资助的具有创新性、高水平的原创性学术论文。现为全国中文核心期刊,中国科技论文统计源期刊,中国学术期刊(光盘版),中国核心期刊(遴选)数据库(万方数据库)、中国期刊网收录期刊等;CA(化学文摘),JICST(日本科技文献速报),MA(金属文摘),EMA(工程材料文摘),Corrosion Abstracts(腐蚀文摘)等收录期刊。发行对象为国内外材料科学与工程界,机械制造、冶金、能源、交通、化工、建筑、兵工、电子等行业。

期刊订阅:本刊为月刊,刊号:CN 11-4545/TG,ISSN 1009-6264;邮发代号:82-591,定价:50 元/期,国内 600 元/年,国外 600 美元/年。官方微信公众号:材料热处理学报

“《材料热处理学报》电子版光盘”已正式发行,光盘囊括了《材料热处理学报》1980—2015 年全部文章,如需要请联系本刊编辑部。欢迎踊跃投稿订阅。

地址:北京市海淀区学清路 18 号《材料热处理学报》编辑部 邮编:100083 电话:010-62914115, 82415080

传真:010-62914115 E-mail: clrc@vip.163.com 网址:www.mhtcn.org