

2Cr12NiMo1W1V 不锈钢 $\Phi 180$ mm 棒材低倍中心黑色区 缺陷分析和退火工艺改进

卫争艳¹ 史普辑²

(1 太原钢铁(集团)有限公司先进不锈钢材料国家重点实验室,太原 030003;

2 山西太钢不锈钢股份有限公司型材厂,太原 030003)

摘 要 2Cr12NiMo1W1V 钢 $\Phi 180$ mm 棒材的生产工艺流程为 80 t BOF-VD-LF-ESR 6 t 锭-锻造-900 °C 退火。2Cr12NiMo1W1V 不锈钢棒材成品低倍组织中出现 GB/T1979-2001《结构钢低倍组织缺陷评级图》中无对应类型的中心黑色腐蚀区域缺陷,分析得出,该钢退火后的正常组织为铁素体基体 + 碳化物,而中心区域为板条马氏体 + 托氏体,托氏体耐腐蚀性差,形成黑色区域。将原先的退火工艺优化为 900 °C-700 °C 等温退火工艺,可保证全截面组织的均匀转变。该工艺可消除和避免 2Cr12NiMo1W1V 钢棒材中心黑色区域。

关键词 2Cr12NiMo1W1V 不锈钢 棒材 低倍组织 托氏体 退火工艺

An Analysis on Macrostructure Central Dark Zone Defect of $\Phi 180$ mm Bar of Stainless Steel 2Cr12NiMoW1V and Annealing Process Improvement

Wei Zhengyan¹ and Shi Puji²

(1 State Key Laboratory of Advanced Stainless Steel Materials, Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003;

2 Section Plant, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The production process flowsheet of $\Phi 180$ mm bars of steel 2Cr12NiMo1W1V is 80 t BOF-VD-LF-ESR 6 t ingot-forging- 900 °C annealing. The central dark zone defect which un-corresponding to GB/T 1979-2001 "Standard diagram for Macrostructure and Defect of Structural Steels" occurs in macrostructure of stainless steel 2Cr12NiMo1W1V finished products. By analysis it is obtained that the normal structure of the annealed steel is ferrite matrix + carbide, while the structure in central zone is lath martensite + troostite, the corrosion resistance of troostite is poor to form dark etched zone. The original annealing process is optimized to 900 °C-700 °C isothermal annealing process it shall be to ensure homotransformation of structure in whole section of bar, this process can eliminate and avoid the formation of bar central dark zone of steel 2Cr12NiMo1W1V.

Material Index Stainless Steel 2Cr12NiMo1W1V, Bar Product, Macrostructure, Troostite, Annealing Process

2Cr12NiMo1W1V 是在 12% Cr 型马氏体耐热钢的基础上,通过添加 Mo、W 和 V 等合金元素以提高其高温蠕变强度^[1]而发展出来的一种耐热不锈钢。因其良好的综合力学性能和高温稳定性能,较高的蠕变强度、热疲劳强度、较好的热蚀性能,常被用于制造超临界汽轮机高中压部分的叶片^[2]。

2Cr12NiMo1W1V 不锈钢棒材在太钢的生产工艺路线为:80 t 转炉→VD→LF→模注 5.6 t 电极坯→6 t 电渣重熔→1 800 t 径锻机锻造成 $\Phi 90 \sim 200$ mm 棒材→成品退火→性能检验→精整。

1 试样分析

1.1 缺陷形貌

采用 GB 226-2015《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》对 2Cr12NiMo1W1V 成品退火棒材进行低倍试样的加工和检测。此次低倍缺陷的典型照片见

图 1(规格为 $\Phi 180$ mm)。该低倍试样心部颜色发暗,暗区轮廓呈规则的圆形,直径约为棒材直径的 1/2;外圈则为灰白色,呈现正常的酸洗形貌。根据 GB/T1979-2001《结构钢低倍组织缺陷评级图》,无可对应的缺陷类型和级别。该形貌的低倍试片在同批次的检测中所占比例较高,属于批量缺陷。

1.2 化学成分检测

取图 1 低倍试样的心部颜色发暗区和外圈颜色正常区试样,按照 GB11170-2008《不锈钢多元素含量的测定火花放电原子发射光谱法》分别进行了化学成分检测。从表 1 结果可以看出,这两个低倍酸洗后颜色相差极大的区域,其主要合金元素含量无明显差异,所以该缺陷并不是在凝固过程中产生的宏观偏析。

1.3 微观组织分析

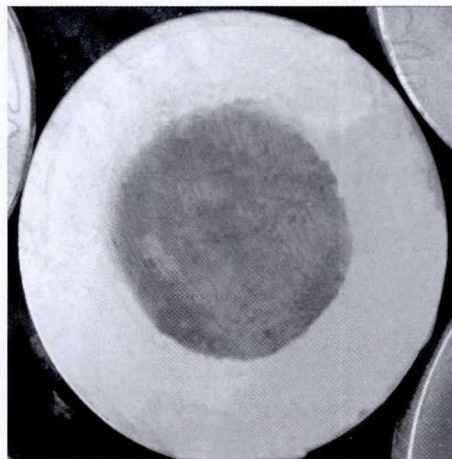
从两个区域试样的金相照片图 2(a) 和图 2(b) 的对比可以看出,这两个区域的微观组织存在极为明显的差异:外圈颜色正常区表现为铁素体基体上分布着碳化物,属于正常的退火组织;心部发暗区域的组织表现为晶粒内部是淬火的板条马氏体,晶界上则为团状的黑色物质。从扫描电镜放大 4 000 倍的组织照片(图 3)可以看出,晶界上的黑色团状物质并非是单一的物质,而是具有片层状的组织形貌,结合其实际的热处理制度和冷却条件,判断其为极细的珠光体,也就是托氏体组织^[3]。

综合扫描电镜和光学显微镜的分析结果,心部发暗区域的微观组织为晶界上是托氏体,而晶内为淬火马氏体。

从棒材成品内外圈的微观组织对比可以得出,图 1 所示的低倍酸洗颜色差异其实是由这两个位置的组织差异造成的:托氏体组织较铁素体 + 碳化物组织的耐蚀性差,因此棒材心部的颜色要较外圈深。

1.4 原因分析

金属热处理的转变都是固态相变,固态相变最容易在晶体缺陷处,特别是晶界面上进行。即组织转变首先从晶界开始,然后向晶粒内部发展。所以组成物的分布与冷却转变顺序有关。先转变生成的



2Cr12NiMo1W1V 钢 $\Phi 180$ mm 退火材低倍缺陷形貌,心部黑色区,外围正常区

Fig. 1 Macrostructure defect morphology of annealed $\Phi 180$ mm bar product of steel 2Cr12NiMo1W1V, central dark area, peripheral normal area

表 1 2Cr12NiMo1W1V 钢 $\Phi 180$ mm 退火材低倍试样心部区域和正常区域的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of macrostructure specimen central area and peripheral normal area of annealed $\Phi 180$ mm bar product of steel 2Cr12NiMo1W1V / %

取样位置	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V
心部发暗区	0.22	0.21	0.62	11.90	0.78	1.01	0.99	0.23
外圈正常区	0.22	0.21	0.62	11.96	0.78	1.00	0.99	0.23

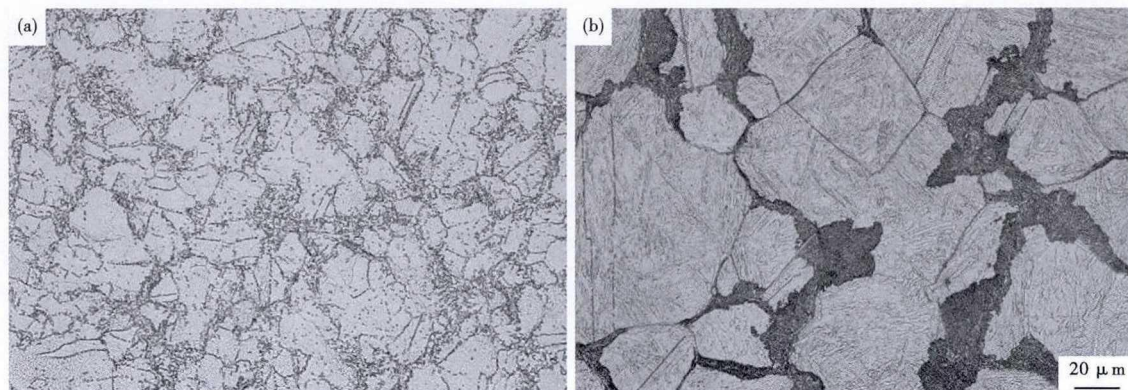


图 2 2Cr12NiMo1W1V 钢 $\Phi 180$ mm 退火材低倍试样:正常区域,铁素体 + 碳化物(a)和心部黑色区域,板条马氏体 + 托氏体(b)的组织形貌

Fig. 2 Structure morphology of cross section of annealed $\Phi 180$ mm bar product macrostructure specimen of steel 2Cr12NiMo1W1V: (a) peripheral normal area, ferrite + carbide; (b) central dark area, lath martensite + troostite

组成物总是分布于原奥氏体晶界,最后转变生成的组成物分布于晶粒内部^[4]。托氏体的形成温度一般为 500 ~ 600 $^{\circ}\text{C}$,而马氏体的形成则需将原奥氏体组织在高于临界冷却速度的条件下快速冷却才可得到。因此,图 2(b)所示的组织是在实际冷速略低于临界冷速的情况下形成的。

因此,图 1 低倍缺陷外圈和心部组织的差异实

际是由两个位置的实际冷速差别极大造成的。外圈的冷速曲线穿过了该钢种 C 曲线的珠光体转变区,得到了期望的铁素体 + 碳化物组织;而心部的冷速却略低于临界冷速,得到了晶界扩散型相变托氏体 + 晶内无扩散相变马氏体的异常组织。

2Cr12NiMo1W1V 棒材成品原先的退火工艺为在 900 $^{\circ}\text{C}$ 保温 4 h,随后炉冷至 300 $^{\circ}\text{C}$ 开出台车空

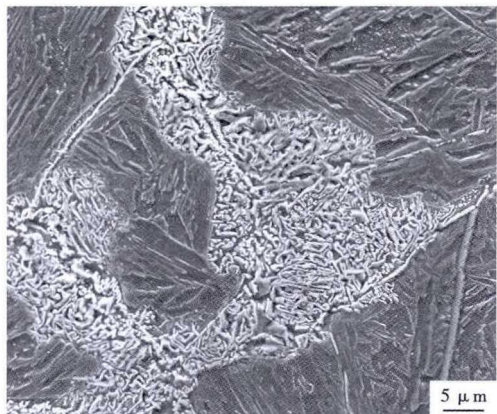


图 3 图 2(b) 黑色区托氏体组织形貌, SEM

Fig. 3 Morphology of troostite structure at Fig. 2 (b) dark area, SEM

冷。根据姚培鸿等人^[5]的研究,相似钢种 2Cr12Ni2Mo1W1V 的 Ms 点约为 280℃,且该钢种在空冷时即可淬火,因此棒材心部晶内的马氏体是在出炉后的空冷过程中形成。由此可以得出,在出炉时,棒材心部的组织状态为全奥氏体。出炉后棒材心部的实际冷速略低于该钢种的临界冷速,于是产生了晶界托氏体、晶内淬火马氏体的异常组织。

该品种自开发之初,一直在型材厂台车炉采用上述工艺退火,从未出现类似的组织缺陷。此次缺陷爆发在该品种大批量集中组织生产和退火时。在生产组织和退火批量较小(退火炉装炉量 ≤ 30 t, 堆装)的情况下,退火炉钢温和炉温的吻合性较好,冷却时,钢温随着炉温设定曲线变化,保证全截面的微观组织均匀地转变。但在该品种生产量较大,集中退火(退火炉装炉量 40 ~ 50 t, 堆装)时,棒材心部冷却较为缓慢,即使设定了炉冷曲线,钢材心部的实际温度与炉温仍有很大差距,并不能按照设定曲线的冷速冷却。这是棒材心部组织异常的源头所在。

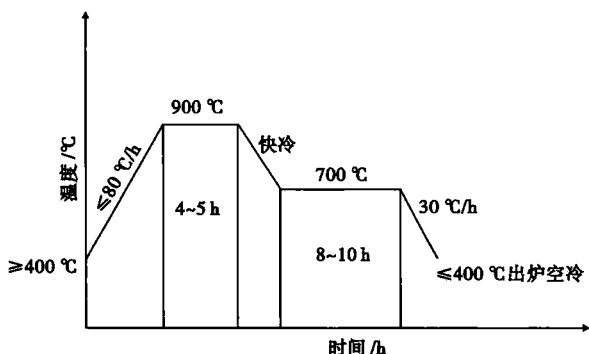


图 4 2Cr12Ni2Mo1W1V 钢成品等温退火工艺

Fig. 4 Isothermal annealing process of finished products of steel 2Cr12Ni2Mo1W1V

2 改进措施

2.1 退火工艺改进

由于该钢种合金含量较高,过冷奥氏体的稳定性很强,因此其 C 曲线比常规的 2Cr13 会有很大程度上的右移,为了使大批量生产时也能保证成品组织在横截面上的一致性,针对太钢型材厂的实际情况,设计了等温退火工艺(见图 4)。该工艺最显著的特点是使所有的棒材在 C 曲线的鼻尖温度附近有 8 ~ 10 h 的等温过程,实现过冷奥氏体到铁素体 + 碳化物组织的完全转变,然后缓冷至 400℃ 出炉空冷,通过这种方式,保证全截面组织的均匀转变。

2.2 改进效果

将原先低倍结果异常的棒材采用新开发的等温退火工艺重新热处理后,低倍组织检验全部合格,高倍检查也显示金相组织已恢复正常。型材厂对之后新生产的 2Cr12Ni2Mo1W1V 棒材成品全部采用此工艺退火,图 1 所示的低倍缺陷再未出现。

3 结论

(1) 2Cr12Ni2Mo1W1V 棒材成品低倍缺陷试样外圈为期望的铁素体 + 碳化物组织,心部为晶界托氏体 + 晶内马氏体的异常组织。心部组织耐蚀性差,导致酸洗后颜色发暗。

(2) 组织差异的直接原因是外圈和心部的冷却速率差别较大,其根本原因是集中生产退火时棒材心部温度下降缓慢,不能按设定冷速冷却。

(3) 等温退火工艺既可将已出现异常组织的棒材组织重新调整至正常组织状态,对新生产出的成品采用此工艺,也可有效避免此类缺陷的再次发生。

参考文献

[1] 林腾昌,王 慧,王成杰,等. 超临界高中压转子用 12% Cr 钢的研究现状[J]. 铸造技术,2012,33(11):1267-1269.
 [2] 钟 杰,江 雷,朱广智. ZG2Cr12Ni2Mo1W1V 钢铸造导叶片工艺及性能试验研究[J]. 东方电气评论,2009,23(4):14-18.
 [3] 侯旭明. 热处理原理与工艺[M]. 北京:机械工业出版社,2010:17.
 [4] 唐孝杰,张 菁. 钢的热处理组织分析[J]. 理化检验-物理分册,1997,33(5):43-46.
 [5] 姚培鸿. 2Cr12Ni2Mo1W1V 长叶片钢研制报告[J]. 东方汽轮机,1997(3):70-95.

卫争艳(1982-),女,硕士(2007年北京科技大学),工程师,2004年北京科技大学(本科)毕业,汽轮机叶片用不锈钢开发。E-mail:weizy@tisco.com.cn