

研究与设计

Cr3 轧辊局部堆焊修复工艺研究

张正华¹, 陈冰泉¹, 黄永溪², 李雷军³, 吕奎清⁴, 汪选国¹

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430063 2. 中钢邢台机械轧辊有限公司修复公司, 河北 邢台 054025 3. Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, USA ; 4. 武汉铁锚焊接材料股份有限公司, 湖北 武汉 430084)

摘要 Cr3 钢是目前广泛使用的轧辊材料, 其局部修复有重要意义。研究了不同预热温度和焊后缓冷对 Cr3 钢轧辊局部堆焊修复质量的影响。通过焊接工艺试验、无损探伤、焊接热模拟试验及金相分析, 证明了在 Cr3 钢轧辊局部修复中, 焊接热影响区的最大焊接收缩量 L、马氏体含量均随预热温度的下降而增加, 在预热温度相同时, L 随冷速降低而降低。在 350℃ 保温缓冷即可明显改善 Cr3 钢组织。通过缓冷可将常规 400℃ 以上的预热温度降低到 200℃ 而保证不裂。

关键词 Cr3 钢轧辊 预热 缓冷 热模拟

中图分类号 :TG455 **文献标识码** B **文章编号** :1001-2303(2007)08-0035-04

Study of the welding repair of Cr3 steel roller

ZHANG Zheng-hua¹, CHEN Bing-quan¹, HUANG Yong-xi², LI Lei-jun³, LV Kui-qing⁴, WANG Xuan-guo¹

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China 2. Sinosteel Xingtai Machinery & Mill Roll Co., Ltd., Xingtai 054025, China 3. Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, USA 4. Wuhan Anchor Welding Consumables Co., Ltd., Wuhan 430084, China)

Abstract :Cr3 steel rollers are widely used presently, the local welding repair has important significance. The influence of different preheating temperature and slow cooling after welding on the local welding repairing qualities has been studied in this paper. By means of welding process testing, non-destructive inspection, Gleeble thermal simulation and metallographic analysis, it was clarified that during local welding repair for Cr3 roller, the maximum shrinkage L in heat affected zone and the amount of martensite increased with the decrease of preheating temperature, under the condition at same preheating temperature L decreased with the decrease of cooling rate. The structures of Cr3 steel were improved obviously by means of hold temperature and slow cooling at 350℃. With the aid of slow cooling the preheating temperature can be reduced from normal 400℃ to 200℃.

Key words :Cr3 steel roller, preheating, slow cooling, thermal simulation

0 前言

堆焊是现代机械工程制造与修复中的一门重要技术。轧辊是冶金行业的主要耗材。在恶劣的工作环境下, 容易导致轧辊的局部破坏, 用堆焊方法来修复轧辊表面缺陷, 可以“以修代换”, 带来巨大经济效益。

随着钢材结构的调整, 大型、优质、高材质的轧辊品种需求量大幅度增加, 以 Cr3、Cr5 钢轧辊为代表的优质轧辊现在已经广泛使用。因此, 应对这类轧辊的局部堆焊修复进行深入研究。在此从 Cr3 钢焊接性的角度研究了工艺因素对修复质量的影响。

1 试验

在 Cr3 轧辊的局部堆焊修复中, 通常需要预热

收稿日期 2007-04-28, 修回日期 2007-07-27

作者简介 张正华(1981—) 男, 武汉黄陂人, 在读硕士, 主要从事冷轧支撑辊局部修复工艺及材料的研究工作。

到 400 ℃ 以上、焊后加热至 500 ℃ 以上缓冷,以防止产生冷裂纹。但是是否一定需要预热、预热和后热温度是多少,要受到一系列因素的影响^[1],需要通过试验验证。

1.1 预热温度的影响(试验 1)

本试验是在报废的工作辊上用不同的预热温度并焊后空冷进行堆焊修复试验的。试验母材为长约 3 m、最大直径 45 cm 左右的报废 Cr3 工作辊,母材主要成分如表 1 所示。缺陷是在辊表面用气刨沿轴向人工制造的。堆焊采用低碳打底焊条 CJ507Re 和自制堆焊焊条 D550R(HRC52)两种。

表 1 Cr3 的化学成分 %

(C)	(Mn)	(Cr)
0.74	0.57	3.10

将轧辊整体预热到 300 ℃,在人工缺陷上选取适当长度的一段,先用 CJ507Re 均匀地焊一层起过渡作用的打底层,然后在其上堆焊 D550R,直至将这一段完全填满。焊接电流 140~160 A。每焊完一层都用风铲锤击焊缝表面,使其延展以减小应力,保证层间温度 250 ℃。焊后空冷。待其冷却至室温后对焊缝及其附近区域进行渗透探伤。然后采用相同的方法将轧辊分别预热到 200 ℃ 和 150 ℃ 进行堆焊试验。

焊后对焊缝及其附近区域进行渗透探伤,结果为 300 ℃ 预热空冷的没有发现裂纹,200 ℃ 预热空冷的在母材 HAZ 出现明显连续的裂纹,150 ℃ 预热的在焊缝和 HAZ 均出现很深的裂纹。

1.2 焊后缓冷的影响(试验 2)

试验 2 的母材、焊接材料与试验 1 相同。

为了与试验 1 中 200 ℃ 预热情况进行对比,试验 2 采用预热温度 200 ℃,焊接工艺同试验 1,焊后立即采用石棉毡包裹保温缓冷。

焊缝完成并冷却至室温后,经过渗透探伤检验,焊缝及 HAZ 均未发现裂纹。

2 试验结果分析

由试验 1 的结果可以看出,预热对焊接裂纹的产生影响明显。从试验 2 可以看出,焊后的冷却速度对焊接质量同样影响重大。两个试验进行比较:200 ℃ 预热时,焊后空冷会出现明显的裂纹,而焊后缓冷时,却可以完全不出现裂纹。

为了进一步研究其中机理,本研究对母材 Cr3 进行焊接热模拟试验来分析。采用热模拟试验机

Gleeble1500D,试样为 100×6 mm 的 Cr3 材料。

按照程序设定,试样先在预热温度下停留 20 s,然后升温到 1 200 ℃,在 1 200 ℃ 保温 2 s,再按各自对应的条件降至室温。当温度升到 1 200 ℃ 时在轴向给试样施加 650 N 的压力,以模拟在焊接升温过程中,局部加热区因其热膨胀受到周围金属约束而产生的压应力。设定降温过程中试样受力为零。在热模拟过程中,系统自动记录整个过程中试样的标距长度(为 50 mm)的变化 ΔL 、温度等参数。

2.1 预热温度对裂纹倾向的影响

在对 Cr3 试样分别进行的 300 ℃ 预热空冷、200 ℃ 预热空冷、150 ℃ 预热空冷以及不预热空冷的焊接过程热模拟试验,可以得出 4 条试样标距长度随温度的变化曲线(ΔL -T 曲线)如图 1 所示。在曲线中 A 端为起始端, B 为温度加热到最高 1 200 ℃ 时候的点, C 端为结束端。

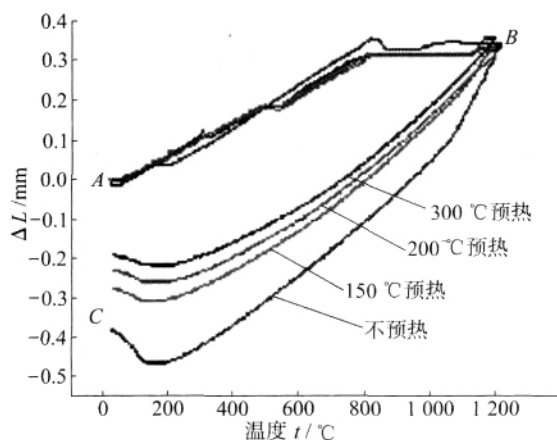


图 1 不同预热条件下热模拟试样标距长度变化量 ΔL 随温度的变化

Fig.1 Under different preheating temperatures, variation of sample gauge length (ΔL) with temperature

在实际堆焊时,裂纹是在冷却过程中产生的,所以在此只分析降温过程(图 1 中 BC 段)。

(1) 4 条曲线都在 200 ℃ 左右开始出现一个平台,300 ℃ 预热空冷时平台的范围约为 198~421; 200 ℃ 预热空冷时约为 196~430; 150 ℃ 预热空冷时约为 166~434; 不预热空冷约为 165~443。该平台的纵坐标表示了试样在热循环过程中的最大收缩量 ΔL 。由图 1 可见,冷却到室温后试样的长度最终没有恢复到原状,预热温度越低(冷却越快),冷后产生的收缩量 ΔL 越大。

(2) 平台的起点为马氏体相变的开始点 M_s ,它随预热温度的降低而降低。整个平台阶段只是少量

奥氏体转变为马氏体的阶段,因为奥氏体比容<贝氏体比容<马氏体比容^[2],所以平台阶段奥氏体转变为马氏体所带来的体积膨胀大致抵消了由温降所带来的体积收缩。而平台结束点到曲线的最后应该就是大量奥氏体向马氏体转变的过程。这个时候,由于大量的马氏体生成,体积的增加已经超过了由温度下降产生的收缩。所以体积随着温度的降低不但不减小,反而增加。

(3)试验最后的终了温度为 20℃,而根据 JMatPro 软件的计算,Cr3 钢的 M_s 点低于 -5℃,即试样冷却至 20℃ 时仍然有部分奥氏体没有转变成马氏体,而是以残余奥氏体存在。所以在曲线的最后,试样体积仍在增加,并未出现随温度降低而减少的趋势。

(4)降温阶段分为三个阶段: B 到平台开始阶段; 平台阶段; 平台结束到 C 阶段。在实际堆焊降温过程中,收缩是受拘束的。L 为负值处在实际结构中就会受到拉应力。在 阶段最后、整个 阶段和 阶段开始,由于试样的收缩量最大,受到的拉应力最大,同时马氏体含量逐渐增多,因而是可能出现裂纹的最危险阶段。 阶段虽然因马氏体量增加产生体积膨胀,拉应力逐渐减小,但由于马氏体含量急剧增多,脆性增加,仍有可能是裂纹危险区。是否出现裂纹取决于相变应力和热应力叠加的结果。

总之,随着预热温度的下降,平台及平台附近的 |L| 增加,拉应力增加,因而裂纹倾向增加。

(5)从金相组织(见图 2~图 5)可以看出,空冷的 4 种情况下的试样中均含有片状组织和析出物,X 射线衍射结果证实是马氏体、残余奥氏体和碳化物,且马氏体含量随预热温度的降低而增加,碳化物含量随预热温度的降低而降低。

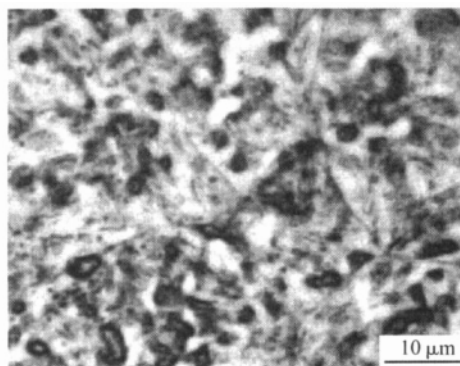


图 2 300℃预热空冷热模拟试样金相照片

Fig.2 Microstructure of thermally simulated specimen with a preheating of 300℃ and air cooling

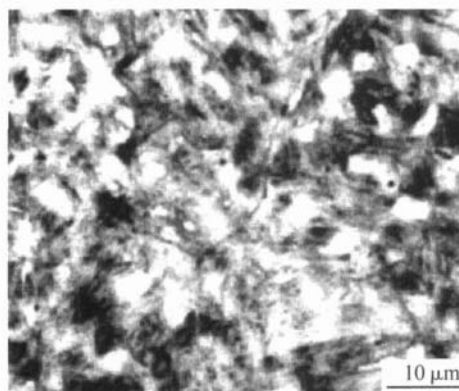


图 3 200℃预热空冷热模拟试样金相照片

Fig.3 Microstructure of thermally simulated specimen with a preheating of 200℃ and air cooling

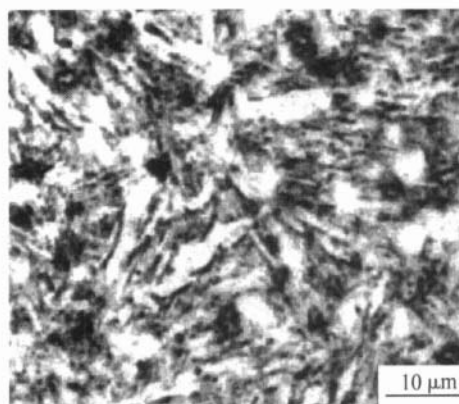


图 4 150℃预热空冷热模拟试样金相照片

Fig.4 Microstructure of thermally simulated specimen with a preheating of 150℃ and air cooling

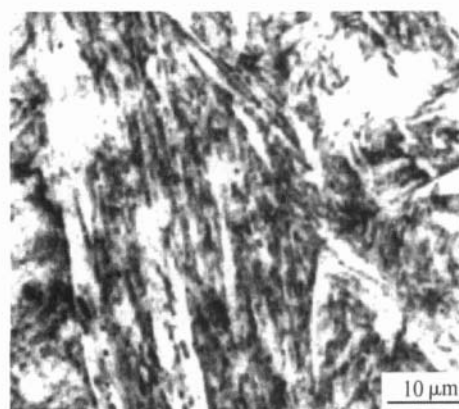


图 5 不预热空冷热模拟试样金相照片

Fig.5 Microstructure of thermally simulated specimen no preheating and air cooling

(6)另一个值得考虑的因素是马氏体的含碳量,其决定了马氏体的硬度,在空冷条件下,预热温度越低冷速越快,碳化物析出得越少。因而,预热温

度越低,马氏体含碳量越高,硬度越高,裂纹倾向越大。

综上所述, Cr3 钢熔合线附近区域产生裂纹的可能性随预热温度的下降而增加,是否出现裂纹取决于马氏体含量、马氏体硬度、相变应力和热应力叠加等多种因素综合的结果。在空冷条件下,整体预热至 300 即无裂纹出现。

2.2 冷却速度对裂纹倾向的影响

分析比较采用 200 预热空冷和 200 预热缓冷的热模拟试样。两试样先以同样的速率升温到 1200,在 1200 保温 2 s,空冷至 350,空冷试样从 350 冷至 26 用时 3'11",缓冷试样在 350 停留 40 min 后再用 6 min 缓冷至 26。

200 预热缓冷和 200 预热空冷两种情况下的 Cr3 试样标距长度随温度变化的曲线,如图 6 所示。

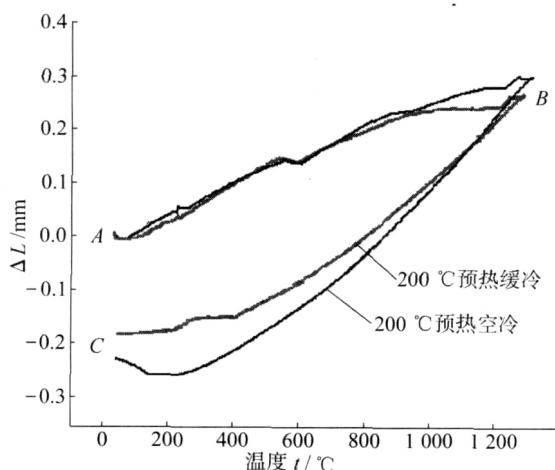


图 6 200 °C 预热缓冷和空冷时试样标距长度(ΔL)随温度的变化

Fig.6 Variation of sample gauge length (ΔL) with temperature under the condition of 200 °C preheating, and both in air cooling and slow cooling

从图 6 可知, 200 预热缓冷的冷却曲线上有两个平台,从 342 到 225 出现第一个平台,从 162 开始第二个平台。第一个平台是发生下贝氏体转变的温度区段,会出现相转变及晶内碳化物的析出。由于保温时间长,下贝氏体转变量较大,贝氏体转变产生的比容增大和由温度下降产生的体积缩小近似相等,故随温度下降体积(ΔL)基本不变。第二个平台的起始温度即 M_s 点。由于已经发生了贝氏体转变,未转变的奥氏体数量及其含碳量降低,温度降至 M_s 点后,转变的马氏

体量较少,曲线出现一个随温度下降 ΔL 近似不变的平台,而没有如其他曲线那样随温度下降而上升。

200 预热缓冷曲线降到室温时 ΔL 的纵坐标值比 200 预热空冷曲线相应的纵坐标值要高很多,即焊接热循环过程中产生的收缩小得多。由此可见,单从应力产生裂纹的可能性来说,200 预热缓冷比 200 预热空冷小得多。

200 预热缓冷热模拟试样金相照片如图 7 所示。比较图 7 和图 3 可以看出,200 预热缓冷试样中的片状组织含量要比 200 预热空冷的少,析出的碳化物明显增多。

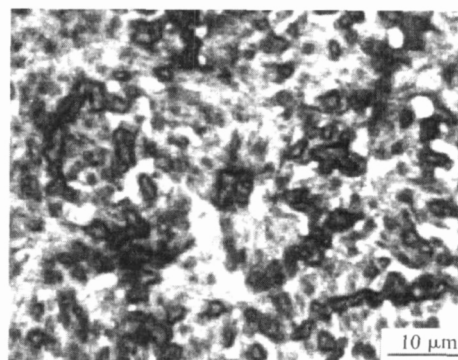


图 7 200 °C 预热缓冷热模拟试样金相照片

Fig.7 Microstructure of thermally simulated specimens with a preheating of 200 °C and slow cooling

对于 200 预热试样,冷却时在 350 长时间保温缓冷使试样的组织得到明显改善。由于下贝氏体的韧性远优于马氏体,在下贝氏体转变温度下保温缓冷对于减少裂纹的发生应该是有利的。

3 结论

(1) 轧辊材料 Cr3 靠近熔合线最高温度达 1200 的区域,随着预热温度下降,最大焊接收缩量 $|\Delta L|$ 增加,马氏体含量增加,裂纹倾向增加。在预热温度相同时, ΔL 随冷速降低而降低。

(2) 在 350 保温缓冷即可明显改善 Cr3 钢组织,使其裂纹倾向降低。

(3) 在降低 Cr3 钢的焊后冷速的情况下,可将预热温度降至 200 而保证不裂。

参考文献:

- [1] 陈伯鑫.焊接工程缺欠分析与对策[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 董俊慧,林燕,林文光.相变对管道环焊缝残余应力的影响[J].中国机械工程,2005(16):460-463.