

固溶处理对超低碳奥氏体不锈钢 00Cr24Ni13 铸坯 δ -铁素体转变的影响

舒 玮 廉晓洁 张寿禄 李建春 罗 刚

(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)

摘 要 研究了 1 000 ~ 1 200 °C 1 ~ 3 h 固溶、淬火或空冷对超低碳奥氏体不锈钢 00Cr24Ni13 ($\% : \leq 0.02\text{C}, 23 \sim 25\text{Cr}, 13 \sim 14\text{Ni}$) 200 mm \times 1 250 mm 铸坯 δ 铁素体转变的影响。结果表明,随固溶温度升高和保温时间延长铸坯中 δ 铁素体量减少;随固溶温度的升高,铸坯中的连续网状 δ 铁素体断开并且长大,空冷则会促使高温下长大的 δ 铁素体向小尺寸颗粒状组织转变;当铸坯试样在 1 200 °C 保温 3 h 空冷后,网状 δ 铁素体完全转变成弥散分布的 < 10 μm 的颗粒状铁素体组织, δ 铁素体相比例也由 14.3% 降至 7.3%。相对于颗粒状铁素体,网状 δ 铁素体的奥氏体-铁素体两相界面在轧制中更容易产生裂纹。

关键词 奥氏体不锈钢 00Cr24Ni13 固溶处理 δ 铁素体转变

Effect of Solid Solution Treatment on δ - Ferrite Transformation in Casting Slab of Ultra-Low Carbon Austenite Stainless Steel 00Cr24Ni13

Shu Wei, Lian Xiaojie, Zhang Shoulu, Li Jianchun and Luo Gang

(State Key Laboratory of Advanced Stainless Steels, Taiyuan Iron & Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The effect of solid solution treatment at 1 000 ~ 1 200 °C for 1 ~ 3 h, quenching or air cooling on δ - ferrite transformation in 200 mm \times 1 250 mm casting slab of ultra-low carbon austenite stainless steel 00Cr24Ni13 ($\% : \leq 0.02\text{C}, 23 \sim 25\text{Cr}, 13 \sim 14\text{Ni}$) has been studied. Results show that with increasing solid solution temperature and extending holding time the amount of δ - ferrite in slab decreases; with increasing solid solution temperature the network of δ - ferrite in casting slab is broken and coarsened; air cooling promotes the grown δ -ferrite at higher temperature transforming to smaller granular structure, and as casting slab sample solid solution treats at 1 200 °C for 3 h and cools in air the network δ -ferrite in slab sample completely transforms to dispersed less than 10 μm granular ferrite structure and the δ -ferrite phase proportion also decreases from 14.3% to 7.3%. Relative to granular ferrite the two phase interface of austenite and ferrite for network δ -ferrite structure is easily to form crack during rolling.

Material Index Austenite Stainless steel 00Cr24Ni13, Solid Solution Treatment, δ -Ferrite Transformation

00Cr24Ni13 超低碳奥氏体不锈钢铁素体相稳定化元素(如 Cr)含量较高,室温组织中除了奥氏体以外,还存在一定比例(12% ~ 16%)的 δ 铁素体组织^[1]。 δ 铁素体不仅能够抑制贫 Cr 层在奥氏体晶粒形成,还能够减少晶间碳化物析出,提高焊缝抗晶间腐蚀能力和焊缝强度^[2]。但是,铸坯中存在大面积连续的网状和骨架状铁素体组织恶化了材料的高温延塑性,增大了热裂纹倾向,严重影响了铸坯在热加工过程中的成型性^[3-5]。

近年来研究工作的重心主要集中在 δ 铁素体对热加工性能以及焊接性能的影响等方面^[6-9],很少涉及 δ 铁素体在热处理过程中的变化规律研究。

1 试验材料及方法

试验钢经过 90 t 转炉、VOD、LF 冶炼后,铸坯尺寸为 200 mm \times 1 250 mm,其主要化学成分($\%$)为: $\leq 0.02\text{C}, 23 \sim 25\text{Cr}, 13 \sim 14\text{Ni}, \leq 0.05\text{N}$ 。对铸坯上

切取的试样进行 1 000、1 100、1 200 °C 1、3 h,淬火和空冷的固溶处理。原始铸坯试样和热处理试样在 Leica DMR 型正置式金相显微镜和扫描电镜下观察试样微观组织,利用 Image-Pro Plus 软件对随机选取的 10 个视场进行铁素体相比例统计。运用 Thermo-Calc 软件对试样进行热力学计算,并绘制出相应的热力学平衡相图。在 $\Phi 750$ mm \times 550 mm 二辊轧机上对(长)300 \times 250(宽) \times 190(厚)的原始坯料和热处理坯料进行实验轧制,并对 15 mm 厚轧板进行微观组织观察。

2 试验结果与分析讨论

2.1 铸坯组织

铸坯组织中存在大量的连续网状铁素体(图 1),由能谱分析可知,铁素体(A 区域)成分为($\%$):28.23Cr、6.63Ni;奥氏体(B 区域)为($\%$):20.63Cr、10.17Ni。

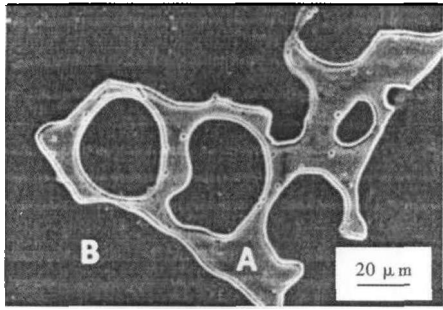


图1 00Cr24Ni13 钢铸坯组织形貌,A- δ 铁素体;B- 奥氏体, SEM

Fig. 1 Structure morphology of casting slab of steel 00Cr24Ni13, SEM, A- δ -ferrite; B- austenite

2.2 固溶淬火和空冷的组织

1 000 °C 1、3 h 淬火组织与原始铸坯组织相比没有明显变化,仍然存在大面积的连续网状铁素体组织(图 2a₁, d₁); 1 100 °C 时, 1 h 淬火组织中部分区域铁素体网络断开(图 2b₁), 随着保温时间的延长, 铁素体网络断开的区域增多, 网状组织不再连续, 铁素体尺寸有所增大(图 2e₁); 1 200 °C 1 h 淬火组织中, 网状铁素体已经明显转变为许多独立的尺寸较大的多边形组织(图 2c₁), 当保温时间延长到 3 h 后, 淬火组织以条带状铁素体和颗粒状铁素体为主(图 2f₁)。

加热至 1 000 °C 保温不同时间(1、3 h)空冷后的微观组织(图 2a₂, d₂)与淬火态(图 2a₁, d₁)相比没有明显差异, 铁素体依然保持着大面积的连续网状形貌特征(图 2a₂, d₂); 1 100 °C 1 h 空冷后的组织(图 2b₂)与淬火态(图 2b₁)类似, 部分区域铁素体网络不再连续; 1 100 °C 3 h 空冷的组织特征发生了明显变化, 连续的网状铁素体分解为条状和颗粒状组织(图 2e₂); 1 200 °C 1、3 h 空冷后, 前者(1 h)的铁素体虽然已经断开成不连续组织, 但组织较为粗

大, 存在大面积的长条状和多边形组织(图 2c₂), 而后者(3 h)的组织中, 网状铁素体已经完全转变成弥散分布的颗粒状组织, 尺寸小于 10 μm (图 2f₂)。

2.3 固溶处理过程中铁素体组织的转变

由热力学平衡相图计算可知(图 3a), 试验钢在凝固过程中首先析出铁素体相, 为先铁素体凝固模式。这部分先析出的铁素体成为枝晶主轴和枝晶核心, 即为室温状态下网状和骨架状铁素体的节点部分, 是一种平衡 δ 铁素体组织; 在铁素体节点周围稍后凝固的铁素体组织在随后的冷却过程中会逐步转变成奥氏体, 但是由于固态下元素的扩散均匀化程度较低, 枝晶主轴等部位的反应不能充分完成, 仍有高温 δ 铁素体保留到了室温, 这些保留下来的 δ 铁素体即为连接节点的长条状组织, 是一种非平衡 δ 铁素体组织。

由此可见, 在固溶过程中, 非平衡 δ 铁素体会随

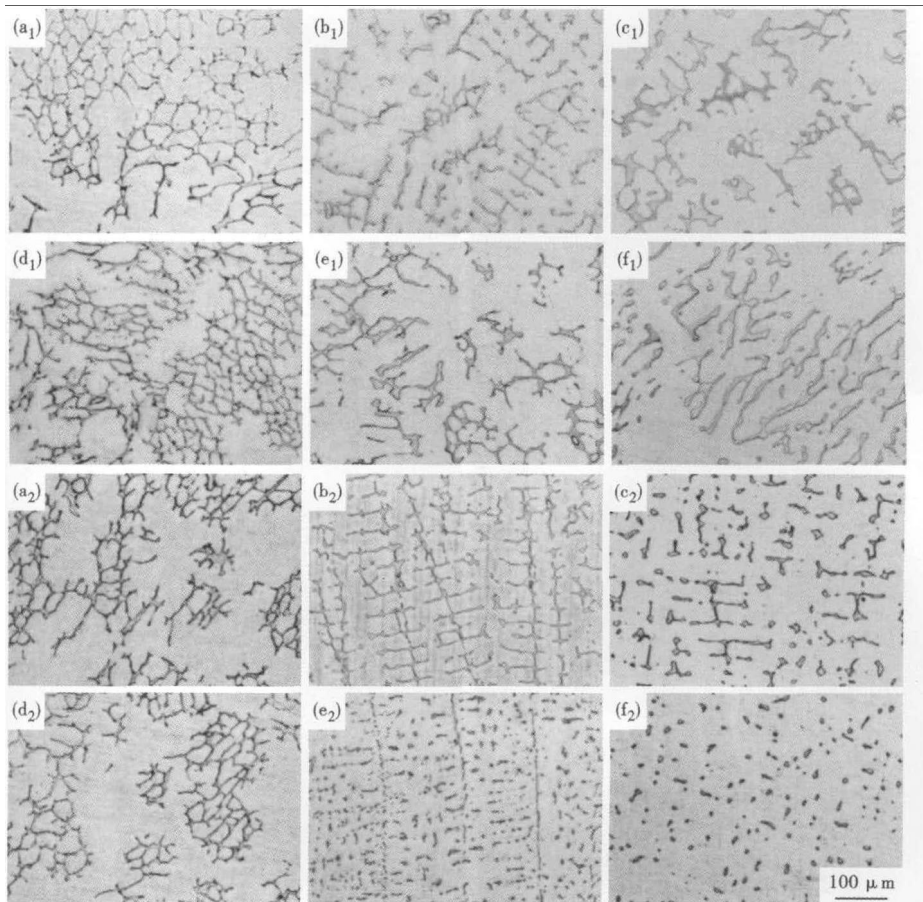


图2 00Cr24Ni13 钢铸坯固溶水冷(a₁, b₁, c₁, d₁, e₁, f₁)和空冷(a₂, b₂, c₂, d₂, e₂, f₂)组织形貌:(a₁, a₂) 1 000 °C 1 h;(b₁, b₂) 1 100 °C 1 h;(c₁, c₂) 1 200 °C 1 h;(d₁, d₂) 1 000 °C 3 h;(e₁, e₂) 1 100 °C 3 h;(f₁, f₂) 1 200 °C 3 h

Fig. 2 Structure morphology of casting slab of steel 00Cr24Ni13 solid solution quenched; (a₁, b₁, c₁, d₁, e₁, f₁) and air-cooled (a₂, b₂, c₂, d₂, e₂, f₂) at 1 000 °C for 1 h (a₁, a₂), 1 100 °C for 1 h (b₁, b₂), 1 200 °C for 1 h (c₁, c₂), 1 000 °C for 3 h (d₁, d₂), 1 100 °C for 3 h (e₁, e₂) and 1 200 °C for 3 h (f₁, f₂)

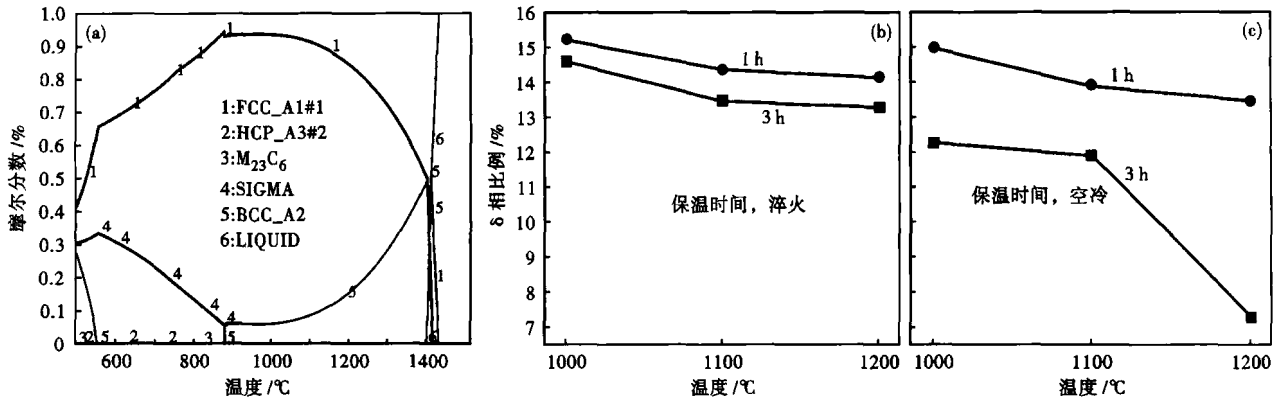


图 3 试验 00Cr24Ni13 钢热力学平衡相图(a); 00Cr24Ni13 钢淬火(b)和空冷(c)的铸坯中 δ 铁素体相比例

Fig.3 Thermodynamic equilibrium phase diagram of test steel 00Cr24Ni13 (a); δ-ferrite phase proportion in casting slab of steel 00Cr24Ni13 solid-solution-treated then quenched (b) and air-cooled (c)

着固溶温度的升高和保温时间的延长而转变成奥氏体基体组织,而平衡 δ 铁素体则会随着固溶温度的升高逐渐长大,但长大后的平衡 δ 铁素体在空冷过程中会由于元素扩散而转变为颗粒状铁素体组织。

从图 3(b,c)中可见,随着固溶温度的升高以及保温时间的延长,淬火态组织中 铁素体相比例逐渐降低,造成的非平衡 δ 铁素体溶解,相同固溶处理条件下,空冷态组织由于高温长大的平衡 δ 铁素体尺寸减小,铁素体相比例降低,在 1 200 °C 3 h 空冷后,铁素体相比例已降至 7.3%。

原始坯料由于存在大量连续网状铁素体(图 4a),极易产生沿相界面扩展的裂纹;而当坯料

状 δ 铁素体组织,其中节点位置为平衡 δ 铁素体,连接节点的部位为非平衡 δ 铁素体。

(2)随着固溶温度的升高,非平衡 δ 铁素体逐渐溶入奥氏体基体中,网状和骨架状组织逐渐断开,平衡 δ 铁素体逐渐长大。1 200 °C 3 h 空冷后,铸坯中网状和骨架状铁素体完全转变为弥散分布的小于 10 μm 的颗粒状组织,铁素体相比例由 14.3% 降至 7.3%,从而改善了在轧制过程中由于 γ/α 相界面附加应力导致的开裂现象。

参考文献

- [1] 孟繁德,余思信,叶国华. 焊接用不锈钢 H0Cr21Ni10 和 H1Cr24Ni13 的热塑性[J]. 特殊钢,1993,14(5):10-13.
- [2] 陈根保,王建勇,杨 辉,等. 309L 焊接用奥氏体不锈钢线材的生产实践[J]. 金属材料与冶金工程,2011,39(6):34-37.
- [3] 崔光洙,邸洪双,刘相华,等. 304H0 不锈钢的热塑性及变形抗力的模型[J]. 东北大学学报(自然科学版),2001,22(6):656-659.
- [4] 钟政焯,盛光敏. 200 系奥氏体不锈钢热轧裂纹的产生原因及其工艺改进[J]. 机械工程材料,2010,34(4):79-83.
- [5] Czerwinski F, Cho J Y, Brodtko A, et al. The Edge-cracking of AISI 304 Stainless Steel during Hot-rolling[J]. Journal of Materials Science, 1999, 34:4727-2735.
- [6] 梁高飞,王成全,方 园. AISI304 不锈钢加热过程中高温 δ 相形核与生长的原位观察[J]. 金属学报,2006,42(8):805-809.
- [7] 梁高飞,王成全,方 园. AISI304 不锈钢熔化过程中夹杂物在固-液糊状区漂移与聚集行为的原位观察[J]. 金属学报,2006,42(7):707-714.
- [8] 梁高飞,朱丽业,王成全. AISI304 不锈钢中 δ→γ 相变的原位观察[J]. 金属学报,2007,43(2):119-124.
- [9] 周 勇,郎宇平,荣 凡,等. 奥氏体不锈钢 15Mn-22Cr-0.56N 的热塑性和轧制工艺对其性能的影响[J]. 特殊钢,2008,29(1):22-24.

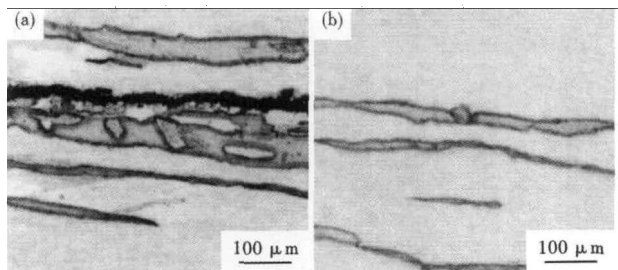


图 4 15 mm 厚轧板组织形貌:(a)固溶处理前,黑色区域为裂纹;(b)1 200 °C 保温 3 h 空冷

Fig.4 Structure morphology of 15 mm rolled plate before solid-solution-treatment, black area- crack (a) and after solid-solution-treated at 1 200 °C for 3 h, air-cooling (b)

经过 1 200 °C 3 h 空冷后,铁素体形态由网状转变为颗粒状,铁素体相比例急剧降低,轧制变形时,颗粒状铁素体转变为细长条组织(图 4b),由此降低了高温变形时 γ/α 相界面上的附加应力,改善了轧制过程的开裂现象。

3 结论

(1)试验钢铸坯组织中存在大面积网状和骨架

舒 玮(1982-),男,博士,北京科技大学毕业,不锈钢新材料研究。E-mail:Shuwei@tisco.com.cn

收稿日期:2012-10-28