

预备热处理对 508-3 钢奥氏体晶粒尺寸的影响

何西扣 刘正东 林肇杰

(钢铁研究总院特殊钢研究所, 北京 100081)

摘要 试验用钢 508-3 (wt% : 0.19C, 0.26Si, 1.48Mn, 0.009P, 0.007S, 0.78Ni, 0.50Mo, 0.003Al) 由真空感应炉冶炼, 50 kg 铸锭, 经 1 150 °C 锻成 $\Phi 16$ mm 棒材, 终锻 ≥ 900 °C。研究了正火温度 (900 ~ 1 200 °C) 和多次正火工艺 (900 ~ 1 200 °C 1 h-900 °C 1 h-890 °C 1 h) 对 508-3 钢奥氏体晶粒尺寸的影响。结果表明, 在 900 ~ 1 200 °C 正火时, 随着正火温度升高, 奥氏体晶粒尺寸出现明显粗化, 奥氏体晶粒度级别由 6.5 级粗化到 3 级。随后经过 900 °C 二次正火, 钢中原粗大的奥氏体晶粒可以细化到 6 级, 再进行 890 °C 三次正火后, 奥氏体晶粒细化不明显。多次阶梯正火处理可以细化 508-3 钢粗大的奥氏体晶粒, 但在同一温度重复正火时, 钢中晶粒细化效果不明显。

关键词 预备热处理 奥氏体晶粒尺寸 508-3 钢

Effect of Pre-Heat-Treatment on Austenite Grain Size of Steel 508-3

He Xikou, Liu Zhengdong and Lin Zhaojie

(Institute for Special Steels, Central Iron and Steel Institute, Beijing 100081)

Abstract Test steel 508-3 (wt% : 0.19C, 0.26Si, 1.48Mn, 0.009P, 0.007S, 0.78Ni, 0.50Mo, 0.003Al) is melted by a vacuum induction furnace and cast to 50 kg ingot, forged at 1 150 °C to $\Phi 16$ mm bar, end forging ≥ 900 °C. The effect of normalizing temperature (900 ~ 1 200 °C) and multi-normalizing process (900 ~ 1 200 °C 1 h-900 °C 1 h-890 °C 1 h) on austenite grain size of steel 508-3 has been studied. Results show that as normalizing at 900 ~ 1 200 °C, with increasing normalizing temperature the austenite grain size of steel coarsens obviously, the rating of austenite grain coarsens from No 6.5 to No 3; with subsequent secondary normalizing at 900 °C the original coarse austenite grains in steel are refined to rating of No 6, then with third normalizing at 890 °C the effect of refining of austenite grains is not obvious. Multi-step-normalizing treatment is available to refining the coarse austenite grains of steel 508-3, but repeating normalizing at same temperature is not obvious to refining the austenite grains in steel.

Material Index Pre-Heat-Treatment, Austenite Grain Size, Steel 508-3

508-3 钢作为反应堆压力容器用钢, 目前广泛应用于核电站反应堆容器 (包括反应堆压力容器、蒸汽发生器和稳压器等) 大型锻件的制造。在核电站反应堆容器大型锻件的制造过程中, 由于成分偏析、热和变形的不均匀性, 不可避免地会造成大锻件内部的粗晶和混晶现象^[1,2]。这主要是由于在锻造过程中, 大锻件不能一火锻成, 在最后一火的锻造时因锻件截面大内外温差大以及水压机动作慢, 先锻好部分与后锻造部分的终锻温度相差大, 锻件中心和先锻好部分在高温 (往往高于 1 000 °C) 停留时间长, 这样就导致奥氏体晶粒粗大与不均匀。ASME 规范对 508-3 钢的晶粒度有严格要求, 要求晶粒度大于 5 级^[3]。因此, 获得均匀细小的奥氏体晶粒是成功制造核电站压力容器大型锻件的关键之一。

在大型锻件锻造后形成的粗晶和混晶现象, 只有在锻件的锻后热处理 (即预备热处理) 过程中完成。锻件的预备热处理一般为一次正火 + 回火处理, 而大型或特大型锻件一次正火达不到预期效果, 通常需要多次正火处理, 多次正火对于调整和细化

晶粒的作用已经为较早的研究工作所肯定^[4]。

本文主要工作是对预备热处理中正火温度和多次正火工艺对 508-3 钢的奥氏体晶粒尺寸影响进行研究, 以为反应堆压力容器大型锻件的工业生产提供参考。

1 试验材料与方法

试验用钢为真空感应熔炼炉冶炼的 50 kg 的铸锭, 在 1 150 °C 锻造成 $\Phi 16$ mm 的圆棒, 终锻温度控制在 900 °C 以上, 试验钢的化学成分见表 1。从上述锻造的棒材上切取试样在模拟热处理炉中进行模拟预备热处理试验。本试验共采取 18 个制度, 每个制度取一个试样。首先, 分别在 900, 950, 1 000, 1 100, 1 150, 1 200 °C 等 6 个不同正火温度保温 1 h 空冷, 随后在 900 °C 保温 1 h 空冷, 最后在 890 °C 保温 1 h 空冷, 热处理工艺示意图见图 1。

热处理后的金相试样经机械抛光后, 用饱和苦味酸 + 洗涤剂 + 少许盐酸溶液显示奥氏体晶界。利用光学显微镜观察试样的原始奥氏体晶粒尺寸, 用

表 1 试验 508-3 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel 508-3 / %

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al
0.19	0.26	1.48	0.009	0.007	0.78	0.20	0.50	0.003

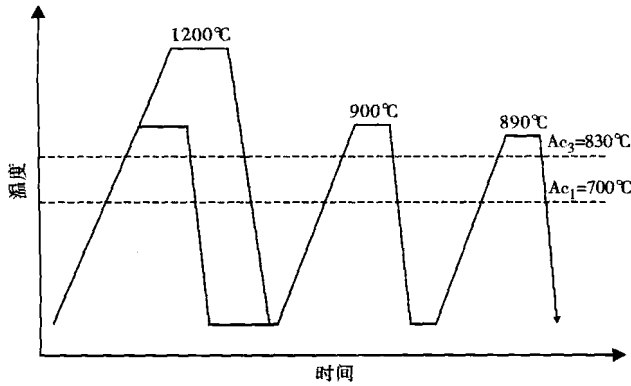


图 1 试验钢 508-3 的预备热处理工艺

Fig. 1 Pre-heat-treatment process for test steel 508-3

Sise-Ias 金相软件统计原奥氏体晶粒尺寸,参考 ASTM E112-10 标准⁵,采用截距法进行晶粒尺寸及晶粒度的测量。

2 试验结果与分析

2.1 正火温度对奥氏体晶粒尺寸的影响

试验钢在 900, 950, 1 000, 1 100, 1 150, 1 200 °C 分别保温 1 h 空冷,测量奥氏体平均晶粒尺寸和晶粒度级别如图 2 所示。

从图 2 可以看出,随着正火温度升高,奥氏体晶粒逐渐长大。正火温度为 900 ~ 1 000 °C 时,奥氏体晶粒粗化速率较快,由 6.8 级粗化到 4.1 级。正火温度在 1 000 °C 以上,奥氏体晶粒粗化速率减缓,到

1 200 °C 时晶粒度为 3.1 级。

图 3 为不同正火温度保温 1 h 后的奥氏体晶粒形貌。从图 3 可以看出,在相同的保温时间下,随着正火加热温度升高,奥氏体晶粒存在明显的长大过程。按照 ASME 规范对 508-3 钢奥氏体晶粒度级别 $G \geq 5$ 级(平均晶粒尺寸 $D \geq 56.5 \mu\text{m}$)的要求,950 °C 时试验钢的奥氏体晶粒度级别尚可以满足标准规范要求,但是随着正火温度的进一步增加,到 1 000 °C 时已无法满足要求,因此对于一次正火温度的选择至关重要。

除了平均晶粒尺寸的区别以外,正火温度对奥氏体晶粒形态影响较小,没有出现严重的混晶情况。这可能与试验钢中未添加 Al、Ti、Nb 等晶粒细化元素有关,没有出现晶粒的异常长大现象。

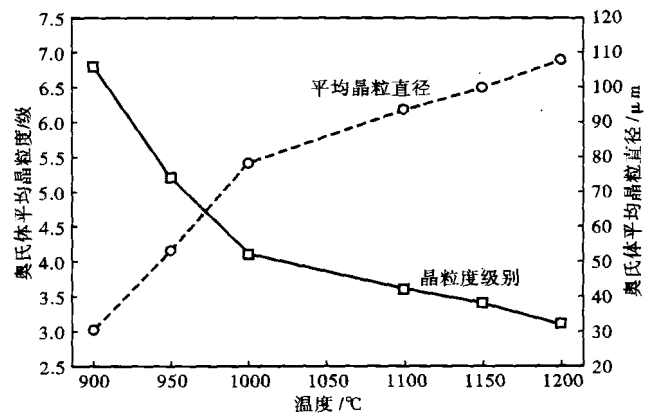


图 2 正火温度对试验钢 508-3 的奥氏体晶粒平均直径和晶粒度级别的影响

Fig. 2 Effect of normalizing temperature on average grain size and rating of austenite grain of test steel 508-3

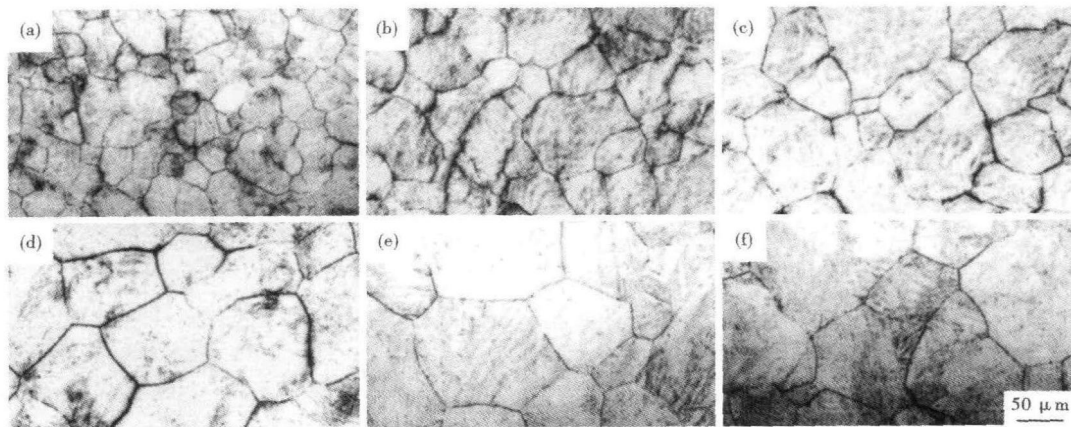


图 3 508-3 钢奥氏体晶粒形貌,正火/°C:(a)900;(b)950;(c)1 000;(d)1 100;(e)1 150;(f)1 200

Fig. 3 Morphology of austenite grains of steel 508-3 normalized at (°C) 900 (a), 950 (b), 1 000 (c), 1 100 (d), 1 150 (e) and 1 200 (f)

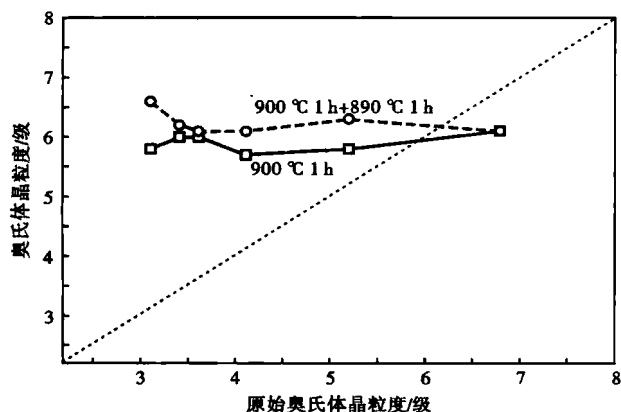


图4 多次正火对 508-3 钢奥氏体晶粒级别的影响

Fig.4 Effect of multi-normalizing process on rating of austenite grain of steel 508-3

2.2 多次正火对奥氏体晶粒尺寸的影响

以上述 900 ~ 1 200 °C 6 个正火温度得到的奥氏体晶粒级别作为模拟研究大型锻件热加工过程中不同部位混晶和粗晶现象的原始奥氏体晶粒尺寸,分别进行 900 °C 保温 1 h 正火处理和 900 °C 保温 1 h + 890 °C 保温 1 h 正火处理,奥氏体晶粒尺寸变化如图 4 所示。

从图 4 可以看出,不同的原始奥氏体晶粒尺寸经过 900 °C 1 h 正火处理后,奥氏体晶粒尺寸可以得到显著细化,即使是原始奥氏体晶粒度为 3 级左右也可以细化到 5 级以上。但是对于原始晶粒度为 6.8 级的试样再经过一次 900 °C 1 h 正火后,奥氏体晶粒尺寸未能得到进一步细化。

对经过 900 °C 正火细化的试样再进行 890 °C 1 h 正火处理,奥氏体晶粒尺寸能够得到进一步细化,但细化效果不明显。另外,原始粗大奥氏体晶粒(3.1 级)经 900 °C 正火后,奥氏体晶粒细化到 6 级左右,但是奥氏体晶界弯曲。随后再经过 890 °C 1 h 正火处理,晶粒得到进一步细化,并且奥氏体晶界

出现平直化。在经过 900 °C 1 h 正火处理时,原始粗大奥氏体晶粒的试样发生奥氏体化重结晶,在原始粗大奥氏体的晶界和晶内均可以形核,打破原有粗大奥氏体晶界,形成新的细小奥氏体晶粒,未出现典型的组织遗传现象。

3 结论

(1) 在 900 ~ 1 200 °C,随着正火温度升高,508-3 钢的奥氏体晶粒尺寸发生明显粗化,奥氏体晶粒度级别由 6.5 级粗化为 3 级。

(2) 原始奥氏体晶粒度 3 ~ 6 级时,经过 900 °C 正火可以明显细化粗大的奥氏体晶粒,使 3 级晶粒度细化为 6 级,再经过一次 890 °C 正火可以进一步细化奥氏体晶粒尺寸,但是效果不明显。在同一正火温度下选择增加正火次数不能使奥氏体晶粒尺寸进一步细化。

国家科技重大专项基金项目资助(2010ZX06004-016)

参考文献

- [1] 康大韬,叶国斌.大型锻件材料及热处理[M].北京:龙门书局,1998.
- [2] 东北重型机械学院.大锻件热处理[M].北京:机械工业出版社,1974.
- [3] ASME SA508/SA508-M.压力容器用经真空处理的淬火加回火碳钢和合金钢锻件[S].2010.
- [4] Okada Atumasa,Kuwano Kahichi. Effect of Heating Temperature on the Austenite Grain Size of Steel[J]. Testu-to-Hagané, 1967, 53(4):61-63.
- [5] ASTM Standard E112-10. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size[S]. 2010.

何西扣(1985-),男,博士研究生,2007 年成都理工大学毕业,压力容器用钢和大锻件研究。E-mail: xikouhe@sohu.com

收稿日期:2013-02-28

下 期 要 目

- | | |
|--|------|
| 热轧 U 型钢板桩精轧过程金属流动行为的有限元分析 | 刘 升等 |
| 二流 T 型 23 t 中间包控流装置的数值模拟和结构优化 | 刘艳贺等 |
| H 型钢连铸质量缺陷和浸入式水口结构优化的数值模拟 | 李小明等 |
| 150 t 钢包底吹氩卷渣行为的物理模拟 | 孙丽媛等 |
| SCM822H 钢 3 t 铸锭缩孔缺陷优化的数值模拟 | 杨万良等 |
| 取向硅钢生产工艺技术分析和发展趋势 | 董爱锋等 |
| 50 t EAF-LF(VD)-CC 流程开发 4130 钢 Φ350 mm 连铸圆坯的生产实践 | 李法兴 |
| 热轧辊冷却对冷轧无取向电工钢卷纵向磁性的影响及工艺优化 | 叶 铁等 |