

固溶温度对奥氏体不锈钢 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 组织和性能的影响

史咏鑫^{1,2} 李青^{1,2} 钟庆元^{1,2} 冯文静^{1,2} 常松^{1,2} 王敏^{1,2}

(1 中航上大高温合金材料股份有限公司, 邢台 054800; 2 河北省特种合金再生工程技术研究中心, 邢台 054800)

摘要 实验用 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 超级奥氏体不锈钢(/% : 0.028C, 0.33Si, 6.21Mn, 24.93Cr, 17.03Ni, 4.24Mo, 0.45N) 采用 1 t 非真空感应 + 电渣重熔的工艺冶炼, $\Phi 360$ mm 电渣锭经锻造开坯后轧制为 $\Phi 40$ mm 棒材。研究了热轧态(终轧 1 000 °C, 水冷)和经 1 070 ~ 1 180 °C 固溶后钢的组织、点腐蚀性能和力学性能。实验结果表明, 随固溶温度的升高, 该钢晶粒逐渐长大, 强度降低, 塑性增加, 耐点腐蚀性能得到改善。采用 1 120 °C 进行固溶, 该钢可以获得均匀的组织、优异的点腐蚀性能和良好的综合力学性能。

关键词 超级奥氏体不锈钢 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 固溶温度 组织 点腐蚀性能 力学性能

Effect of Solution Temperature on Microstructure and Properties of Super Austenitic Stainless Steel 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN

Shi Yongxin^{1,2}, Li Qing^{1,2}, Zhong Qingyuan^{1,2}, Feng Wenjing^{1,2}, Chang Song^{1,2} and Wang Min^{1,2}

(1 Avic Shangda Superalloys Company Limited, Xingtai 054800;

2 Hebei Engineering Research Center for Special Alloy Regeneration, Xingtai 054800)

Abstract The tested super austenitic stainless steel 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN (/% : 0.028C, 0.33Si, 6.21Mn, 24.93Cr, 17.03Ni, 4.24Mo, 0.45N) is melted by 1 t non vacuum induction furnace and electroslag remelting process, and rolled into $\Phi 40$ mm bar after $\Phi 360$ mm electroslag ingot forging. The microstructure, pitting corrosion resistance and mechanical properties of the steel as hot-rolled (end rolling at 1 000 °C, WC) and after solution at 1 070 ~ 1 180 °C are studied. The tested results show that with the increases of solution temperature, the grain size of steel gradually grows, the strength of steel decrease and the plasticity increases, and the pitting corrosion resistance improves. Uniform structure, better pitting corrosion resistance and good mechanical properties of steel are obtained by solid solution at 1 120 °C.

Material Index Super Austenitic Stainless Steel 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN, Solution Temperature, Microstructure, Mechanical Properties, Pitting Corrosion Resistance

超级奥氏体不锈钢在 600 ~ 1 050 °C 温度停留时, 容易在晶界甚至晶内析出二次相, 恶化材料的塑性、韧性以及耐蚀性能^[1-3]。与 S39042 和 S31254 钢^[4-11] 相比, 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢含有更高的 Mn、Cr、N, 具备更高的强度和更优的耐蚀性, 生产难度更高。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

实验钢采用 1 t 非真空感应炉冶炼, 浇铸 $\Phi 250$ mm 电极坯(锭重 1 t), 再经保护气氛电渣炉重熔成 $\Phi 360$ mm 电渣锭, 将电渣锭锻造为 $\Phi 150$ mm 坯料, 轧制 $\Phi 40$ mm 棒材, 终轧温度 1 000 °C, 水冷, 其成分如表 1。

1.2 实验与检测方法

将 $\Phi 40$ mm 棒材切取试样, 在马弗炉中分别在 1 070、1 100、1 120、1 150、1 180 °C 保温 30 min, 水冷。按照 ASTM G48-2011《使

用三氯化铁溶液做不锈钢及其合金的耐麻点腐蚀和抗裂口耐蚀性试验的标准方法》中的 A 法进行 48 h 和 96 h 腐蚀试验。

2 实验结果与分析

2.1 固溶温度对组织的影响

由图 1(a) 可以看出, 轧态组织为动态回复的等轴晶, 在晶界上存在少量析出相, 晶粒较细, 为 8.5 级。1 070 °C 固溶后, 组织中存在大量的孪晶, 晶界及晶内 σ 相明显增多, 晶粒尺寸略有增加, 为 8.0 级。1 100 °C 固溶后, 组织主要为板状晶粒, 析出相减少, 并出现混晶组织。平均晶粒度为 5.0 级, 存在 8.0 级细晶带, 细晶带周边存在未回溶的 σ 相。当固溶温度调整到 1 120 °C 以上时, 晶粒尺寸继续增

表 1 实验钢 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of tested steel 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN / %											
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	N	O	
0.028	0.33	6.21	0.016	0.001	24.93	17.03	4.24	0.02	0.45	0.001 6	

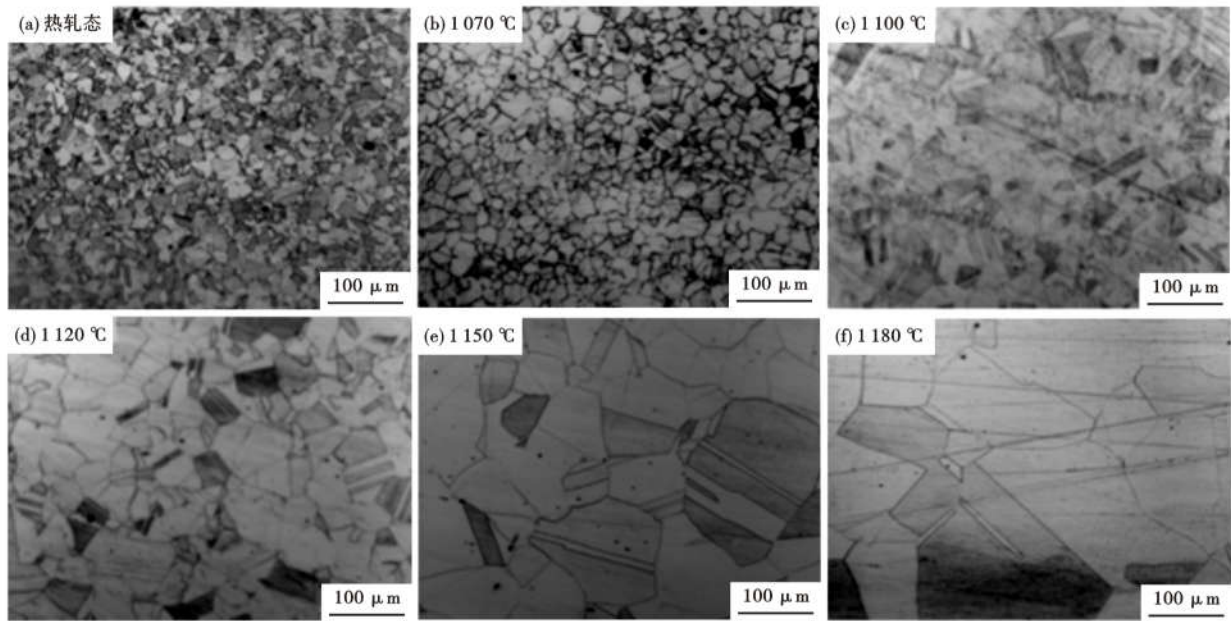


图 1 热轧态(a)和1 070 ~ 1 180 °C 固溶(b) ~ (f)的 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢组织形貌

Fig. 1 Structure morphology of 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN steel as hot rolled (a) and after solution at 1 070 ~ 1 180 °C (b) ~ (f)

大,晶界无 σ 相,也无混晶组织。1 120、1 150、1 180 °C 晶粒度分别为 3.5 级、1.5 级和 0.5 级。

该钢在 1 070 °C 固溶时,晶界迁移的驱动力较小,而且晶界上的第二相无法溶入奥氏体中,可有效阻止晶界迁移,晶粒度变化不大。1 100 °C 固溶时,晶界迁移的驱动力提高,且晶界上的 σ 相开始溶入奥氏体中,对晶界的钉扎作用大为减弱,所以 σ 相少的位置晶粒快速长大, σ 相多的位置晶粒大小基本不变,出现混晶组织。当固溶温度升高至 1 120 °C 以上时, σ 相完全溶入奥氏体晶粒中,晶界迁移不再受到 σ 相的影响,晶粒尺寸急速增大。

2.2 固溶温度对材料耐腐蚀性能的影响

按照 ASTM G48-2011 的 A 法进行点腐蚀试验,

试验温度 50 °C,试验时间 48 h 和 96 h,腐蚀后试样表面较光滑,无点蚀坑。由表 2 可以看出,1 070 °C 固溶态试样的耐点腐蚀性能最差,热轧态次之,1 100 °C

表 2 热轧态和经 1 070 ~ 1 180 °C 固溶后的 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢的点腐蚀性能

Table 2 Pitting corrosion performance as hot rolled and after solution at 1 070 ~ 1 180 °C of 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN steel

固溶工艺	腐蚀速率/(g · m ⁻²)	
	腐蚀 48 h	腐蚀 96 h
热轧态	0	0.05
1 070 °C 保温 30 min	0	0.23
1 100 °C 保温 30 min	0	0.03
1 120 °C 保温 30 min	0	0
1 150 °C 保温 30 min	0	0
1 180 °C 保温 30 min	0	0

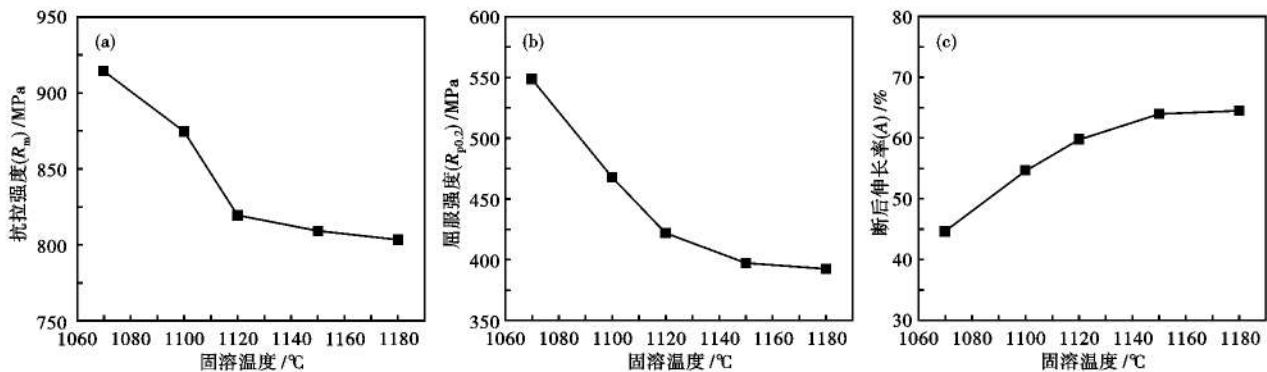


图 2 固溶温度对 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢(a)抗拉强度 R_m ; (b)屈服强度 $R_{p0.2}$; (c)断后伸长率 A 的影响

Fig. 2 Effect of solution temperature on (a) tensile strength R_m ; (b) yield strength $R_{p0.2}$; (c) elongation at rupture A of 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN steel

存在少量的失重,其他状态的试样基本不被腐蚀。

1 070 °C 固溶态材料组织中还有较多的 σ 相, σ 相不仅可以弱化晶界结构,还会大量消耗材料中的 Cr、Mo 等合金元素,因而极大的降低材料的抗腐蚀能力^[12]。而 1 120 °C 以上固溶的试样, σ 相已经全部回溶至基体中,故试样的耐点腐蚀性能较好。

2.3 固溶温度对力学性能的影响

由图 2 和表 3 可知,材料在热轧态的强度高于固溶态,随着固溶温度的升高,材料的强度、硬度下降,但塑性、韧性上升。

该钢在 1 120 °C 以下温度固溶时,析出相对强度影响较大,故钢的强度变化也较大;钢在 1 120 °C 以上温度固溶时,析出相已基本回溶到基体中,此时强度主要受晶粒度影响,故强度变化较小。

而 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢热轧水冷态的晶粒度与 1 070 °C 固溶态的晶粒度相差不大,且析出相数量明显少于 1 070 °C 固溶态,但其强度却相对较高。主要原因为:钢经轧制后产生塑性变形,而只要有塑性变形,就会产生加工硬化,得到的组织为动态回复组织,其位错密度较大,钢的强度也比再结晶组织高得多,轧后立即水冷,动态回复组织保留下来,未发生静态再结晶;而经 1 070 °C 固溶钢的组织为静态再结晶组织,虽然其析出相比例较大,但强度依旧不如动态回复组织。

2.4 结果讨论

从检验结果来看,热轧水冷态钢的强度最高;1 070 ~ 1 100 °C 固溶态钢的晶粒度相对比较细小,强度较高,但组织中还有残留的二次相,冲击性能和

表 3 热轧态和经 1 070 ~ 1 180 °C 固溶后的 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢的力学性能

Table 3 Mechanical properties of 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN steel as hot rolled and after solution at 1 070 ~ 1 180 °C

固溶工艺	抗拉强度 (R_m)/MPa	屈服强度 ($R_{p0.2}$)/MPa	断后伸 长率/%	断面收 缩率/%	冲击功/ J
热轧态	921	583	48.5	76.0	152
1 070 °C 保温 30 min	915	549	44.5	60.0	66
1 100 °C 保温 30 min	875	468	55.0	78.0	>299
1 120 °C 保温 30 min	820	426	60.0	82.0	>299
1 150 °C 保温 30 min	810	396	64.0	80.0	>299
1 180 °C 保温 30 min	804	392	64.5	82.1	>299

点腐蚀性能还可继续提高;1 150 °C 和 1 180 °C 固溶态钢有较优异的冲击性能和耐点腐蚀性能,但晶粒粗大,强度较低;而 1 120 °C 固溶态钢的组织均匀,二次相完全融入基体中,耐点腐蚀性能和综合力学性能优异。综合考虑各项指标,若对点腐蚀等性能要求宽松,热轧水冷态的钢已经满足一般使用要求;若对钢的耐腐蚀性能和冲击性能要求严格,建议 1 120 °C 为 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 材料的最佳固溶温度。

3 结论

(1) 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢的固溶温度低于 1 100 °C 时,由于 σ 相延晶界分布,对晶界起钉扎作用,可有效抑制晶粒长大;当固溶温度高于 1 120 °C 时,晶界上的 σ 相回溶,晶粒长大明显。

(2) 当固溶温度高于 1 120 °C 时,022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢的耐点腐蚀性能优异。

(3) 固溶温度升高,022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢的强度下降,塑性提升。

(4) 综合钢的组织、耐腐蚀性能和力学性能考虑,1 120 °C 为 022Cr24Ni17Mo5Mn6NbN 钢的最佳固溶温度。

参考文献

- [1] 任建斌,宋志刚,郑文杰,等. 固溶温度对 254SMO 组织和力学性能的影响[J]. 材料热处理技术, 2012, 41(12): 173-176.
- [2] 马丽娜,李建春,范光伟,等. 时效处理对 254SMO 不锈钢电化学腐蚀性能的影响[J]. 材料热处理学报, 2014, 35(5): 92-96.
- [3] 王 箭,张晶辉,马丽娜,等. 固溶处理对 254SMO 奥氏体不锈钢腐蚀性能的影响[J]. 热加工工艺, 2014, 43(20): 170-172.
- [4] 潘 坤,陈海涛,郎宇平,等. 中温时效对超级奥氏体不锈钢 S31254 析出相的影响[J]. 金属热处理, 2014, 39(11): 72-77.
- [5] 曾 莉,张 威,王 岩. 超级奥氏体不锈钢偏析行为及元素再分配规律[J]. 材料热处理学报, 2015, 36(4): 232-238.
- [6] 曾 莉,张 威,王 琦,等. 超级奥氏体不锈钢的高温变形行为[J]. 钢铁, 2017, 52(10): 72-77.
- [7] 来 东,程 宝,马 莹,等. 1 020 °C 时效条件下超级奥氏体不锈钢 254SMO 中析出相研究[J]. 铸造技术, 2017, 38(4): 832-836.
- [8] 高建兵,范思鹏,张树才,等. 新型超级奥氏体 654SMO 偏析行为及均匀化工艺[J]. 钢铁, 2018, 53(8): 83-89.
- [9] 张树才,姜周华,李花兵,等. 超级奥氏体不锈钢 654SMO 的研究进展[J]. 钢铁研究学报, 2019, 31(2): 132-144.
- [10] 仝中伟. 硼对 S31254 不锈钢固溶处理过程第二相溶解行为的影响[J]. 特殊钢, 2020, 41(4): 71-74.
- [11] 王 坤,陈爱英. 超级奥氏体不锈钢的高温析出行为[J]. 热加工工艺, 2020, 49(12): 1-5.
- [12] 沈文兴,陈海涛,郎宇平,等. 固溶温度对 00Cr20Ni25Mo6Cu3 不锈钢点腐蚀性能的影响[J]. 钢铁研究学报, 2018, 30(9): 741-746.

史咏鑫(1989-),男,硕士(2014 年长安大学),工程师,2011 年长安大学(本科)毕业,特殊钢产品开发。

E-mail: shiyongxin198902@126.com

收稿日期:2021-07-23