

固溶温度对 00Cr22Ni5Mo3N 钢组织及力学性能的影响

宋志刚, 陈 斌, 郑文杰, 王汉东, 宗玉生

(钢铁研究总院结构材料研究所, 北京 100081)

摘 要:研究了固溶温度对 00Cr22Ni5Mo3N 钢组织及力学性能的影响。结果表明:在 1 000 ~ 1 150 之间,随着固溶温度的提高,00Cr22Ni5Mo3N 钢组织中的铁素体含量呈直线上升;钢的强度和硬度先下降后上升,在 1 050 达到最低点;钢的塑、韧性变化明显,当固溶温度低于 950 时,钢的塑、韧性急剧下降。经过分析,塑、韧性的下降主要是脆性相的析出所致。

关键词:双相不锈钢;固溶温度;铁素体含量;力学性能;00Cr22Ni5Mo3N

中图分类号: TG142.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0963(2004)06-0047-04

Influence of Solution Temperature on Microstructure and Mechanical Property of 00Cr22Ni5Mo3N

SONG Zhi-gang, CHEN Bin, ZHENG Wen-jie, WANG Han-dong, ZONG Yu-sheng

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China)

Abstract: The effect of solution temperature on the microstructure and properties of 00Cr22Ni5Mo3N was studied. The results are as follows: the content of ferrite is increased with the annealing temperature in the range of 1 000 - 1 150 ; the strength and hardness of the steel annealed at 1 050 are the lowest; the plasticity and toughness of the steel annealed at a temperature lower than 950 decrease sharply. The decline of the plasticity and toughness is mainly caused by the precipitation of brittle phase.

Key words: duplex stainless steel; solution temperature; ferrite content; mechanical property; 00Cr22Ni5Mo3N

双相不锈钢具有奥氏体和铁素体两相组织,使其兼有奥氏体的优良韧性、焊接性和铁素体的较高强度、良好的耐氯化物应力腐蚀性能^[1]。00Cr22Ni5Mo3N 在中性氯化物和 H₂S 中的耐应力腐蚀性能优良,由于含有氮,其耐孔蚀性能也很好,是目前应用最普遍的双相不锈钢材料^[2]。

虽然目前对于钢中相的比例还没有具体的标准要求,但是,双相不锈钢的性能,尤其是耐应力腐蚀破裂的性能与其主要的相组成——铁素体和奥氏体的平衡比例(即相比例)有着密切的关系,而这一比例很大程度上又取决于钢的化学成分和固溶温度。因此,许多订货技术条件都对材料提出了具体的相比例要求。笔者研究了固溶温度对 00Cr22Ni5Mo3N

钢组织和力学性能的影响,期望能对实际生产过程中控制 00Cr22Ni5Mo3N 钢的力学性能和相比例提供一定的帮助。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验材料采用真空感应冶炼,锭型 50 kg,锻造成形,直径为 16 mm,其化学成分的分析结果和标准要求见表 1。由表可知,试验材料的化学成分符合标准要求。

1.2 试验方法

将 $\phi 16$ mm 的 00Cr22Ni5Mo3N 圆钢按 GB/T 228 和 GB/T 229 要求的长度切取试样,在马弗炉

作者简介:宋志刚(1970-),男,硕士,高级工程师; 收稿日期:2004-01-07; 修订日期:2004-03-25

表 1 试验钢的化学成分

Table 1 Composition of tested steel

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Fe
分析结果	0.016	0.54	1.05	0.01	0.005	22.89	5.47	3.32	0.13	余量
标准要求	0.03	1.00	2.00	0.035	0.030	21.0~23.0	4.5~6.5	2.5~3.5	0.08~0.20	余量

中进行不同温度的固溶热处理。选择了 6 个固溶温度:900、950、1 000、1 050、1 100、1 150 ,在每个固溶温度下均保温 40 min ,然后水淬。

按 GB/ T228、GB/ T229 和 GB/ T230 进行力学性能测试。试验后在冲击试样的纵剖面上进行金相观察和相比例测量。相比例的测量按 ASTM E562 进行,网格选取 11 ×11。选择放大倍数为 320 ,按标准要求每个试样测量 30 个视场。

2 试验结果及分析讨论

2.1 固溶温度对 相含量的影响

固溶温度对 00Cr22Ni5Mo3N 中 相含量的影响见表 2 ,可见,随着固溶温度的提高,该钢中的 相逐渐增多。当固溶温度在 1 000 ~ 1 150 之间时, 相的含量几乎呈直线变化。

众所周知,在双相不锈钢中两相的比例主要取决于钢的化学成分和固溶温度。当钢的化学成分一定时,固溶温度对相比例起关键作用。图 1 是 Cr-Ni68Fe 的伪二元相图^[2],由图可见,固溶温度超过 1 000 以后, 相与(+)相的边界及(+)相与 相的边界都呈弯曲状,而且前者的弯曲度大于后者,使(+)相区变小。由杠杆定律和图 1 所示相区随固溶温度的变化情况可知,00Cr22Ni5Mo3N 中的 相的含量将随着固溶温度的提高而增加。

2.2 固溶温度对力学性能的影响

固溶温度对 00Cr22Ni5Mo3N 钢力学性能的影响见表 3 和图 2。可见,随固溶温度的提高,该钢的力学性能呈曲线变化;固溶温度在 900 ~ 1 050 之

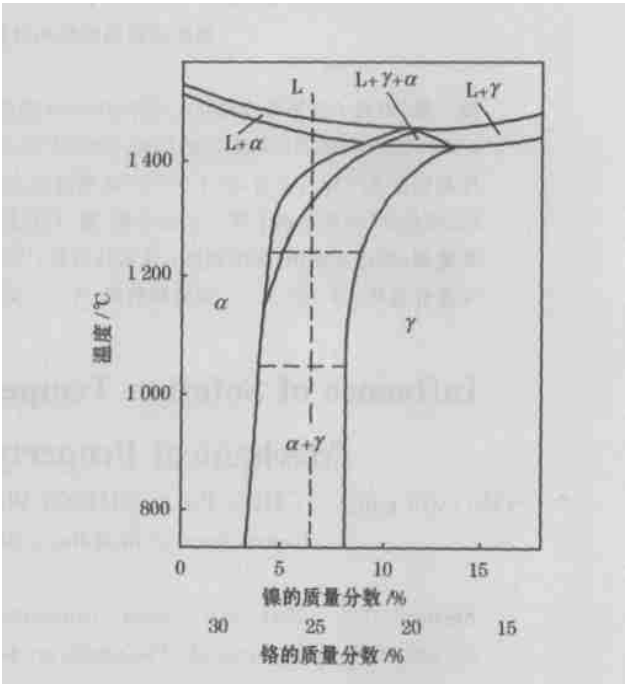


图 1 Cr-Ni68Fe 的伪二元系相图

Fig. 1 Pseudobinary phase diagram of Cr-Ni68Fe

间时,随着固溶温度的提高,钢的强度和硬度(HRC)逐渐下降;而当固溶温度在 1 050 ~ 1 150 之间时,钢的强度和硬度又随固溶温度的提高而增加,使 1 050 固溶处理时钢的强度和硬度出现了最小值。当固溶温度低于 950 时,钢的塑、韧性随温度的降低急剧恶化(尤其是冲击韧性和面缩率)。当固溶温度为 900 时,钢的冲击韧性只相当于固溶温度为 1 000 ~ 1 150 时的 1/20 到 1/30,面缩率只相当于固溶温度为 1 000 ~ 1 150 时的 1/3。总的来讲,当固溶温度在 1 000 ~ 1 100 之间时,钢的力学性能变化较小。

固溶温度对 00Cr22Ni5Mo3N 钢力学性能的影响主要有两个因素:组织再结晶的完全程度和两相组织的转变。首先,随着固溶温度的提高,钢的组织再结晶完全程度逐渐提高,其组成相逐渐长大,并逐渐由纤维状向等轴状过渡。图 3 给出了固溶温度为 1 000 和 1 150 时组织的对比情况。可见,固溶温度为 1 000 时,钢的两相组织呈明显的纤维状;

表 2 固溶温度对 相含量的影响

	固溶温度/			
	1 000	1 050	1 100	1 150
相的含量/ %	57.0	61.3	67.4	72.7
95 %CI 测量精确度/ %	2.0	1.9	1.2	1.9

注:当固溶温度为 900 和 950 时,钢中有析出相析出,无法精确测量 相的含量。

表 3 固溶温度对力学性能的影响

Table 3 Effect of solution temperature on mechanical properties

力学性能	固溶温度/					
	900	950	1 000	1 050	1 100	1 150
抗拉强度/ MPa	845、845、820	765、815、785	765、770、760	745、740、735	770、775、775	780、790、785
屈服强度/ MPa	550、550、525	525、575、550	550、565、550	565、540、525	580、595、585	620、640、635
伸长率/ %	17、17、19	31、24、28	36、33、37	32、33、32	31、32、33	30、30、31
面缩率/ %	25.0、20.5、29.0	57.0、46.0、49.0	76.0、74.0、73.0	76.0、75.0、75.0	76.0、75.0、76.0	76.0、72.0、74.0
A _{kv} /J	6、4、6	28、27、16	166、173、206	194、188、196	202、202、191	182、182
HRC	25.5、24.5、25.0	23.0、23.5、24.0	20.0、20.0、20.5	20.0、19.5、19.5	21.5、22.0、22.0	22.0、22.0、22.5

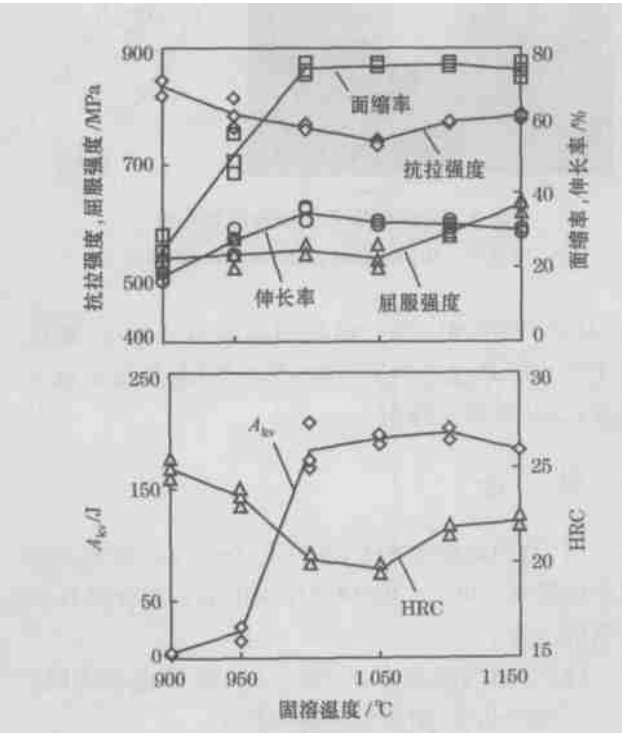
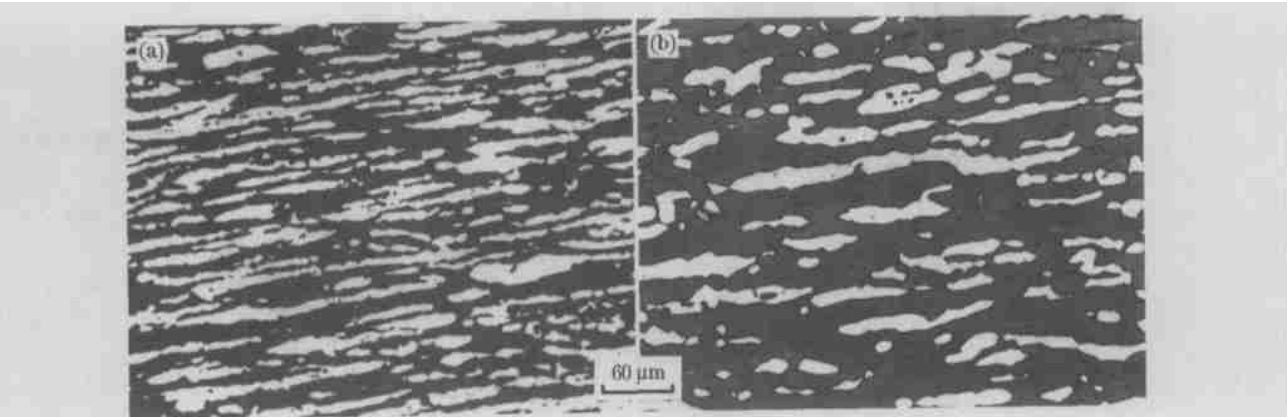


图 2 固溶温度对力学性能的影响

Fig. 2 Effect of solution temperature on mechanical properties

而固溶温度为 1 150 时,钢的组织发生了明显的再结晶长大,奥氏体的长宽比明显减小。这种随着固溶温度提高而发生的组织再结晶将使钢的强度逐渐下降。由于固溶温度达到 1 150 后晶粒明显长大,所以,为了保证钢具有细小的晶粒,当通过调整固溶温度来改变相比例时,最好将固溶温度控制在 1 100 以下。其次,随着固溶温度的提高,钢中还发生两相组织的转变,即随着固溶温度的提高,钢中的铁素体逐渐增多,而奥氏体逐渐减少。众所周知,晶体结构为体心立方的铁素体组织的强度在室温下高于晶体结构为面心立方的奥氏体组织。因而,随着固溶温度的提高而发生的两相组织转变将使钢的强度逐渐增加^[2,3]。

正是以上两种因素的共同作用才使钢的强度随固溶温度的提高呈现出曲线变化。即,当固溶温度在 900~1 050 时,随着固溶温度的提高,组织的再结晶起主导作用,因而钢的强度逐渐下降;当固溶温度在 1 050~1 150 时,随着固溶温度的提高,两相组织的转变起主导作用,因而钢的强度逐渐增加。



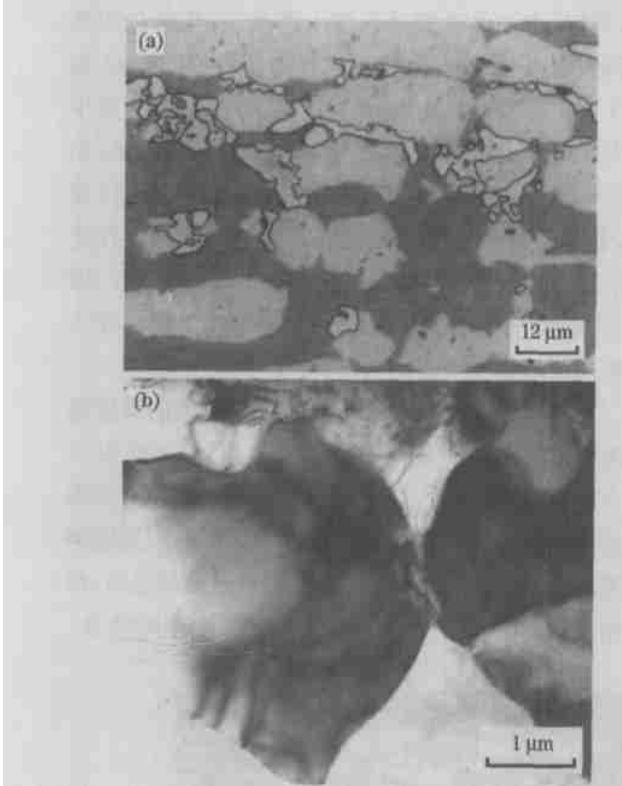
(a) 1 000 ; (b) 1 150

图 3 固溶温度不同的 00Cr22Ni5Mo3N 钢的组织

Fig. 3 Microstructure of 00Cr22Ni5Mo3N treated at different solution temperatures

至于固溶温度为 900 ~ 950 ℃ 时钢的塑、韧性随温度的降低而急剧下降,主要是因为在该温度段进行固溶时,钢中析出大量的脆性相,其形貌见图 4。由图可见,析出相主要在 α 相与(α + γ)相的界面上形成并长大。在扫描电镜下对析出相及铁素体和奥氏体相进行能谱分析,结果见表 4。由能谱分析结果可见,铬、钼(铁素体形成元素)在铁素体中富集,而镍(奥氏体形成元素)则在奥氏体中富集,析出相中富含铬、钼。在透射电镜下对析出相进行观察和电子衍射分析,其形貌和衍射花样见图 4(b)和图 5。根据分析可知,析出相为四方结构的金属间相——σ 相。

因此,现场对 00Cr22Ni5Mo3N 钢的工件进行固溶处理时,必须保证固溶温度高于 1 000 ℃。而



(a) 金相照片; (b) 透射电镜照片
图 4 析出相的形貌
Fig. 4 Morphology of precipitated phase

表 4 各相的元素含量

Table 4 Element content of various phases						%
相别	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
奥氏体	0.32	22.99	0.40	65.79	8.71	1.79
铁素体	0.37	26.04	0.51	65.84	4.10	3.14
析出相	0.67	29.23	1.01	57.41	4.11	7.57

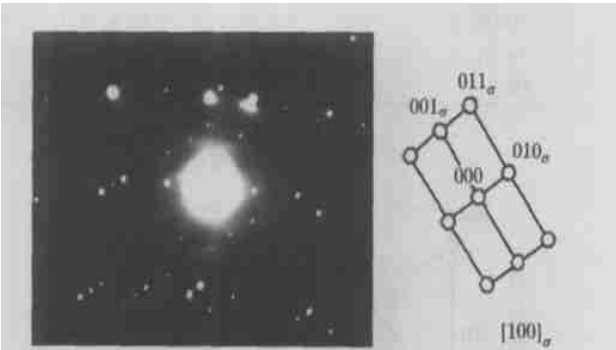


图 5 透射电镜下析出相的衍射花样
Fig. 5 Diffraction pattern of precipitated phase

且,对于大型工件,要严格控制固溶后的快冷,避免使工件在冷却过程中于 800 ~ 950 ℃ (易析出 σ 相的温度区间)长时间停留。

3 结 论

- (1) 当固溶温度在 1 000 ~ 1 150 ℃ 时,随着固溶温度的提高,00Cr22Ni5Mo3N 钢中的 σ 相含量几乎呈直线上升。
- (2) 当固溶温度在 1 000 ~ 1 100 ℃ 范围内时,00Cr22Ni5Mo3N 钢的力学性能稳定。
- (3) 当固溶温度在 900 ~ 950 ℃ 范围内时,00Cr22Ni5Mo3N 钢中析出 σ 相,使钢的塑、韧性急剧下降。

参考文献:

[1] 刘廷材. 相比对 25 %Cr 型双相不锈钢焊接热影响区的组织和性能的影响[J]. 钢铁研究学报,1990,2(2):43-48.
[2] 吴 玖. 双相不锈钢[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.
[3] 宋维锡. 金属学[M]. 北京:冶金工业出版社,1980.