

双相不锈钢论文集

钢铁研究总院

北 京

71-53

双相不锈钢论文集

魏振宇 吴 玖 主编

冶金工业部钢铁研究总院

1992

内 容 提 要

本论文搜集了我国近10年来有关铁素体-奥氏体双相不锈钢的研究报告。内容包括：新材料；成分、组织和性能；工艺；工程失效分析及应用；综合论述等五部分。较详细介绍了生产铁素体-奥氏体双相不锈钢的关键，氮含量对改善铁素体-奥氏体双相不锈钢的耐局部腐蚀性能的机制；以及铁素体-奥氏体双相不锈钢在化工、石油、化肥等工业的应用实例；对铁素体-奥氏体双相不锈钢的国外发展情况也进行了介绍。

本论文可供冶金、化工、石油、化肥等工业部门中不锈钢的生产、使用、设计等单位工程技术人员使用和参考。

双相不锈钢论文集

魏振宇 吴 玖主编

冶金工业部钢铁研究总院出版

冶金工业部冶金出版社印刷厂印刷

前 言

70年代以来国外开发与应用铁素体—奥氏体型双相不锈钢十分迅速。他的价格与304L、316L类似,但使用性能,尤其是耐局部腐蚀性能却远远超过18-8型奥氏体不锈钢,从而引起国内外重视,已发展成为与马氏体、奥氏体、铁素体型不锈钢并列的一个新钢类。冶金部钢铁研究总院自70年代中期即开始从事双相不锈钢材料的研究、选择综合性能好、易于调整两相比例、特殊钢厂又富有生产含氮钢经验的含氮双相不锈钢系列作为开发目标,新开发的钢种主要涉及耐应力腐蚀、耐孔蚀与耐缝隙腐蚀和耐腐蚀疲劳的几种不同用途,对于解决我国炼油、化工、化肥、石油化工等工业的一些关键设备的腐蚀问题、提高其使用寿命以及有关设备用材的更新换代等都有重要意义。

本文集收集了钢铁研究总院、大连钢厂、金陵石油化工公司、上钢五厂等单位。自1981年至1990年有关双相不锈钢研究的32篇论文。包括钢种研究,成分、组织与性能研究,工艺及应用研究以及综述几部分,在成分研究方面的特色是着重研究了氮对双相不锈钢耐局部腐蚀性能的影响及其改善应力腐蚀性能和提高耐孔蚀与耐缝隙腐蚀性能机制,提出了氮在表面膜富集、改变位错组态及奥氏体相阻挡裂纹扩展的协同作用来提高双相不锈钢应力腐蚀临界破裂电位的新论点,有别于氮恶化奥氏体不锈钢应力腐蚀性能的一般论点。双相不锈钢的组织转变复杂,在组织研究方面的特色是发现一种 $\text{Fe}_3\text{Cr}_3\text{Mo}_2\text{Si}_2$ 新的金属间相与其他脆性相并存,这对生产及制造的正确工艺的制订有实用价值。在可焊性研究方面也有创新,补充和修正了双相不锈钢焊接性的特性参数(B)值,指出 $B \leq 7$ 只对多层焊有效,单层焊时 B 值应 ≤ 4 ,这对成分设计及控制亦有参考价值。双相不锈钢的生产有一定的难度,尤其是相比比例的控制及避免脆性相产生的技术关键都作了详细的讨论,文集中还对双相不锈钢新产品——复合板的工艺对性能影响进行了较系统研究。在应用方面对几种双相不锈钢的应用开发进行了综述,对应用较多的炼油工业进行了专述。通过对奥氏体不锈钢设备失效分析与双相不锈钢成功的应用说明双相不锈钢耐中性氯离子应力腐蚀的特长,文集最后收集了国内外双相不锈钢的研究动向与主要进展,着重介绍了国外时效硬化双相不锈钢的研究概况。

参加论文撰述的有冶金部钢铁研究总院吴 玖、姜世振、韩俊媛、张宝林、陈秀英、刘廷材、彭日辉、陈荣仙、张若岩、童德清、尹化格、薛恩臣、胡明锁、田立娟等从事双相不锈钢及其焊接材料研究的中、高级研究人员,还有艾文山、崔教林为吴 玖在北京化工学院的两名硕士研究生,左景伊为北京化工学院教授、多年来从事应力腐蚀裂纹尖端闭塞区的研究;杨兆斌、丛家骅为大连钢厂、朱 诚、陆文秀、陈佩菊为上钢五厂、杨秀倬、赵友宏为金陵石油化工公司的高级工程师。

在钢铁研究总院庆祝成立四十周年之际,出版双相不锈钢论文集,一方面总结了10年来在双相不锈钢科研、生产、应用方面取得的成果,另一方面对今后国内双相不锈钢材料的发展,应用的扩大及科研工作的深入都会有一定促进作用。

本文集在编、校工作中得到吴 玖、韩俊媛、姜世振、张宝林、童德清等同志支持,同时,也得到与主编共同工作的同志的支持,在此一并表示谢意。

由于水平有限、错误、不当之处在所难免,望批评指正。

主 编 1991.12

KAD70/086

目 录

新 材 料

耐局部腐蚀的00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢的研究.....	吴 玫等 (3)
耐应力腐蚀破裂的00Cr22Ni5Mo3N双相不锈钢的研究	韩俊媛等 (18)
耐尿素介质腐蚀的高铬含钼双相不锈钢的研究.....	张宝林等 (29)
耐高温海水和卤水腐蚀的00Cr25Ni7Mo3WCuN双相不锈钢的研究	姜世振等 (42)

成分、组织与性能

氮对00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢应力腐蚀破裂性能的影响.....	艾文山等 (55)
氮改善00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢应力腐蚀破裂性能的机制.....	艾文山等 (61)
氮对25-6Mo3型双相不锈钢耐孔蚀及缝隙腐蚀性能影响的研究.....	崔教林等 (67)
氮改善25-6Mo3型双相不锈钢耐蚀作用机制的研究.....	崔教林等 (73)
氮和镍对00Cr25Ni6Mo3N型双相不锈钢两相比例关系的研究	姜世振等 (80)
00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢组织稳定性及其对脆性影响的研究	吴 玫等 (89)
中温敏化对00Cr25Ni7Mo3WCuN双相不锈钢脆性及耐蚀性影响的	张若岩等 (98)
00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢晶间腐蚀性能的研究	童德清、吴 玫 (103)
双相不锈钢在尿素生产工艺介质中的抗腐蚀疲劳性能	姜世振等 (109)
00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢中硫化物夹杂对孔蚀性能的影响	陈秀英 (113)
双相不锈钢连续冷却转变曲线的测定	韩俊媛、赵桂琴 (120)
00Cr18Ni5Mo3Si2钢焊接热影响区组织转变及其对性能的影响	刘廷材等 (124)
相比比例对25%Cr型双相不锈钢焊接热影响区的组织和性能的影响	刘廷材 (134)
00Cr25Ni7Mo3WCuN双相不锈钢的焊接性及焊接材料的研究	刘廷材、田立娟 (140)
铁素体-奥氏体型双相不锈钢的焊接性.....	刘廷材 (148)
热处理对双相不锈钢复合板的组织、力学性能及结合层影响的	陈荣仙、吴 玫 (157)
00Cr18Ni5Mo3Si2-A3双相不锈钢复合钢板的焊接	尹化格等 (167)

工 艺

EF-VOD法在冶炼超低碳双相不锈钢中的应用.....	杨兆斌等 (179)
热加工终锻(轧)温度对双相不锈钢钢中 σ 相转变行为的影响	丛家骅 (183)

00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢管相比例的控制	朱 诚、陆文秀 (189)
国产与进口00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢管性能对比及热处理工 艺的研究	张宝林、陆文秀 (195)
00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢生产及成型工艺中的几个问题	吴 玫等 (204)

工程失效分析及应用

双相不锈钢的应用开发	吴 玫等 (215)
00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢在炼油工业中的应用	杨秀伟 (221)
栖霞山化肥厂CO ₂ 压缩机段间冷却器管束的应力腐蚀破裂及 00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢的应用	吴 玫等 (226)
不锈钢空冷器断裂原因分析	吴 玫等 (234)

综合论述

国内外双相不锈钢研究与应用的主要进展	吴 玫 (241)
国外耐磨耐蚀双相不锈钢的概况	童德清 (253)

新 材 料

耐局部腐蚀的00Cr18Ni5Mo3Si2 双相不锈钢的研究

吴 玫 陈荣仙 陈秀英

韩俊媛 张宝林 姜世振

摘要 铁素体-奥氏体型双相不锈钢已发展成为不锈钢的一个新的钢类。00Cr18Ni5Mo3Si2钢是目前所知合金元素含量最低、可焊性良好的双相耐应力腐蚀不锈钢。本文就其组织稳定性、耐局部腐蚀性能、力学性能及成型性能等进行了研究。00Cr18Ni5Mo3Si2钢在氯化物介质中的耐孔蚀性能与00Cr17Ni13Mo2钢相近,耐中性氯化物应力腐蚀性能显著优于18-8型奥氏体不锈钢,并具有较好的强度与韧性综合性能及焊接性能,适用作结构材料。此钢种在炼油、化肥、化工系统已得到推广应用。

一 前 言

统计资料^[1]表明,国外在不锈钢的腐蚀破坏事例中,以应力腐蚀破裂(SCC)为起因的约占50%。通用的18-8型奥氏体不锈钢对氯化物SCC十分敏感,在实际使用当中出现大量断裂事故,因此,近20年来发展耐SCC的材料是国内外重要的一个研究方向,新型铁素体-奥氏体双相不锈钢则是其中之一^[2]。这类材料在以孔蚀、缝隙腐蚀为起源而引起氯化物SCC的介质,如热水、水蒸气、工业用水中应用尤为有效。为解决在这类含微量Cl⁻介质中应用的热交换器等设备的应力腐蚀问题,于1974年开始首先针对炼油厂低温轻油部位HCl-H₂S-H₂O介质条件,参考瑞典的Sandvik 3RE60,结合国内生产条件研制了00Cr18Ni5Mo3Si2钢,已在炼油厂低温轻油部位设备上大量应用,在大化肥厂尿素CO₂车间冷却器以及化工厂制盐蒸发设备等方面推广使用,皆取得较好的使用效果。本文即就00Cr18Ni5Mo3Si2双相不锈钢的组织、性能及应用作一扼要介绍。

二 钢的化学成分及组织

1. 钢的化学成分

作为以耐孔蚀为起源而引起氯化物SCC的双相不锈钢,在成分设计上首先要考虑合金元素对SCC及对孔蚀的作用,其次要考虑影响SCC的两相比比例及合金元素在两相中的分配及平衡,此外,钢的综合性能,如力学性能,工艺性能,其中包括焊接性能等也都是必须考虑的因素。通过对成分的探索,考虑国内的生产条件并参照3RE60的最佳成分,确定了00Cr18Ni5Mo3Si2钢的合理化学成分范围,见表1。由于要控制两相比比例,对双相钢的

化学成分范围控制极为严格。与3RE60钢化学成分的区别在于氮含量的控制。文献[3~5]表明,氮能提高双相钢的耐孔蚀性能,但在非高浓氯化物介质中却降低SCC性能。试验结果认为钢中加入适量氮可改善钢的耐SCC性能^[6],且有利于相比比例的平衡和改善可焊性^[7]。铝会影响两相比比例,对耐蚀性有害,钢中残余铝控制得越低越好。

表 1 00Cr18Ni5Mo3Si2钢化学成分, %

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N
标准成分	≤0.03	1.3/2.0	1.0/2.0	≤0.03	≤0.03	18.0/19.5	4.50/5.50	2.5/3.0	加N
3RE60的成分 ^①	≤0.03	1.4/2.0	1.2/2.0	≤0.03	≤0.03	18.0/19.0	4.25/5.25	2.5/3.0	—

① 根据ASTM A669的成分。

2. 试料的制备

有关试验室性能的研究取自20kg感应炉的锻、轧料,钢的冷成型性能研究取自18t AOD炉精炼后再开坯及冷加工成2mm厚的薄板料。

3. 钢的组织转变

钢经980℃固溶处理后具有铁素体-奥氏体两相组织,其中铁素体含量为50~60% (图1)。随固溶温度的升高、钢中 α 相数量逐渐增加,1100℃以上 γ 晶粒开始呈等轴状,但直至1300℃,在晶界尚有微量的 γ 相存在。

不同温度固溶处理后 α 相及 γ 相的主要化学成分及变化见表2。

表 2 00Cr18Ni5Mo3Si2钢在不同温度固溶处理后主要合金元素在 α 及 γ 相中的分配

热 处 理 制 度	相	相 的 成 分, %				
℃, min		Cr	Ni	Mo	Si	Fe
锻 态	α	20.24	4.30	3.26	1.70	71.36
	γ	17.12	5.90	2.14	1.48	71.24
980, 10	α	19.70	3.92	3.08	1.70	70.00
	γ	17.66	6.28	2.32	1.44	73.12
1100, 10	α	19.58	4.14	3.04	1.70	70.54
	γ	17.78	6.06	2.36	1.46	72.56
1200, 5	α	19.38	4.46	3.04	1.64	71.44
	γ	17.98	5.74	2.36	1.52	71.68
1290, 5	α	18.84	5.54	3.04	1.62	71.76
	γ	18.52	5.66	2.36	1.54	71.36

注:表中数据系电子探针分析结果。

高温固溶水淬可将高温下的相比比例固定下来,但在两相比比例变化的同时,还产生合金元素在两相间的重新分配,随着固溶温度升高,合金元素在 α 和 γ 两相间的分配渐趋均匀,即 α 相中的铬、钼、硅含量逐渐降低,镍含量逐渐增高。高温下两相中的成分相近可以说明钢的焊接接头近缝区具有均一力学性能以及材料热塑性较好的原因,但是也必然造成 α 相本身的不稳定性,在时效过程中易于分解转变。

经980℃固溶再在450~950℃区间等温时效后 α 铁素体的等温转变动力学曲线(图2)知,高于700℃时 χ 相优先于 σ 相形成,以 $\alpha \rightarrow \gamma' + \chi(\sigma)$ 方式进行转变。在450~750℃间有片状 $\text{Fe}_3\text{Cr}_3\text{Mo}_2\text{Si}_2$ 金属间相自 α 相中脱溶沉淀。在550~750℃间有 $\text{Fe}_{2.4}\text{Cr}_{1.3}\text{MoSi}$ 相

(R相)自 α 相中脱溶沉淀。在650~750℃间 σ 相、 $\text{Fe}_{2.4}\text{Cr}_{1.3}\text{MoSi}$ 及 $\text{Fe}_3\text{Cr}_3\text{Mo}_2\text{Si}_2$ 金属间相同时并存。

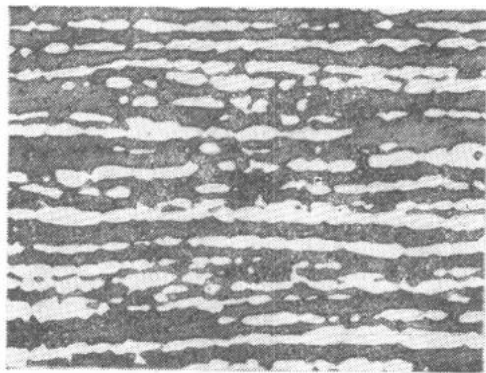


图 1 钢的组织
碱性赤血盐溶液浸蚀

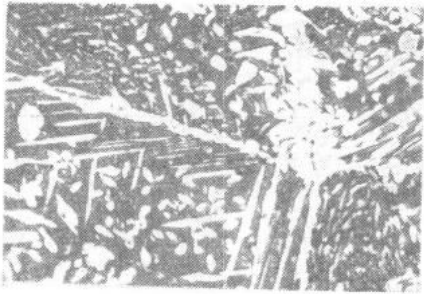


图 3 1300×5min+850℃×1h水冷
 $\alpha+\gamma'+\chi(\sigma)$ ×500

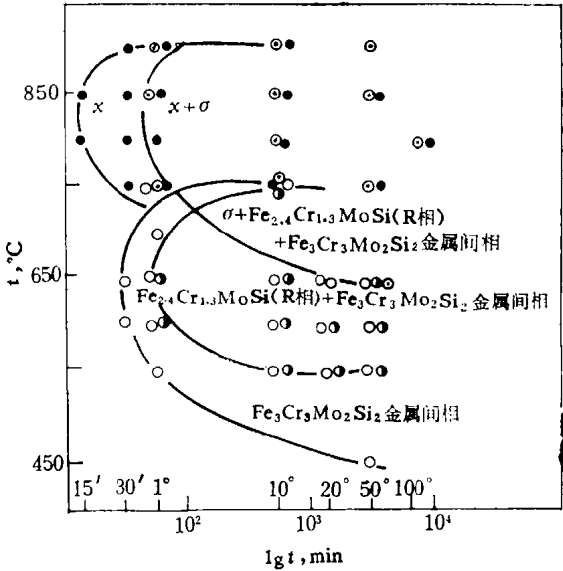


图 2 α 铁素体等温转变动力学曲线
980℃×1h水淬
●— χ 相; ○— σ 相; ●— $\text{Fe}_{2.4}\text{Cr}_{1.3}\text{MoSi}$ (R相); ○— $\text{Fe}_3\text{Cr}_3\text{Mo}_2\text{Si}_2$ 金属间相

1300℃固溶成基本单相组织与980℃固溶成双相组织，二者时效区的组织转变不同处仅在于：前者750℃以上时效时发生 $\alpha\rightarrow\gamma'$ 二次奥氏体的快速转变，呈魏氏组织特征（图3），此与高温下两相成分较接近，不稳定的 α 铁素体无需经过长程扩散，即易以 $\alpha\rightarrow\gamma'$ 形式进行转变有关。此外， $\alpha\rightarrow\gamma'+\chi(\sigma)$ 时， $\chi(\sigma)$ 形成时间

较原始态为双相组织加热分解时长，此亦与 α 相中相对贫铬富镍，因此富铬的 $\chi(\sigma)$ 相成核需要较长的元素扩散时间有关。

三 钢的耐腐蚀性能

00Cr18Ni5Mo3Si2钢具有良好的耐腐蚀性能，尤其在耐应力腐蚀和耐孔蚀等局部腐蚀方面与18-8型不锈钢相比更显示出独特的优越性。

1. 耐孔蚀性能

采用电化学及化学方法比较00Cr18Ni5Mo3Si2钢及其他对比材料的孔蚀倾向性。

1.1 电化学方法

采用动电位极化装置在3% NaCl(35℃) 和5% H_2SO_4 + 3% NaCl(35℃) 溶液中分别

以20mV/min扫描速度测定其击穿电位值 (E_b)。

1.2 化学方法

在1.5%FeCl₃·6H₂O+3%NaCl+20mL/L HAC, 40℃, pH=2的溶液中 经 24h 试验, 测定其腐蚀率。

试验结果见表 3、图4~6。

表 3 00Cr18Ni5Mo3Si2钢与其他材料的击穿电位值

介 质 条 件	击 穿 电 位 值(SCE), mV				
	00Cr18Ni5Mo3Si2	0Cr18Ni9Ti	0Cr18Ni12Mo2Ti	00Cr17Ni14Mo2	00Cr17Ni14Mo3
3%NaCl, 35℃	220	185~230	330	—	345
5%H ₂ SO ₄ +3%NaCl, 35℃	640	225	525	500	500~550

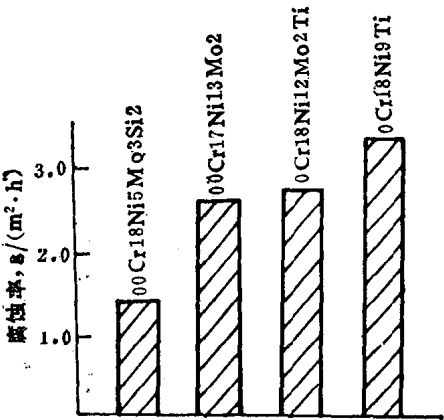


图 4 几种材料的腐蚀率对比
1.5%FeCl₃·6H₂O+3%NaCl+20mL/L HAC

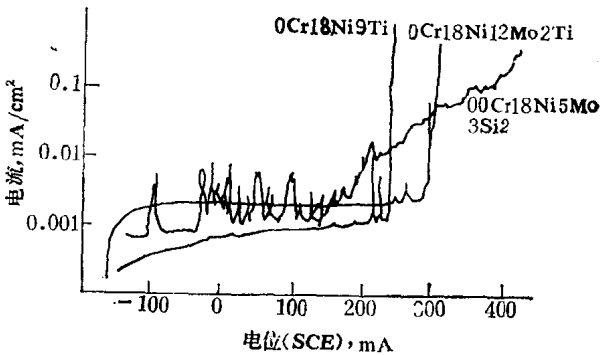


图 5 几种材料在3%NaCl中的动电位极化曲线

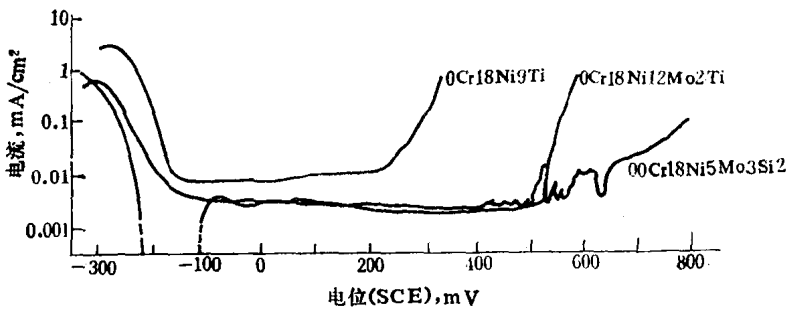


图 6 几种材料在5%H₂SO₄+3%NaCl中的动电位极化曲线
虚线系负电流

可以看出, 双相不锈钢具有较好的耐孔蚀性能, 其腐蚀率较18-8型不锈钢低, 在 3% NaCl介质中的 E_b 值与不锈钢0Cr18Ni9Ti相近, 但在5%H₂SO₄+3% NaCl介质中由于SO₄²⁻的缓蚀作用, 延长了孔蚀的诱导期, 减少了蚀点数目, 使其 E_b 值提高很多, 钢中含钼、硅等元素具有良好作用〔8〕。

2. 耐应力腐蚀性能

采用 25% NaCl+1% K₂Cr₂O₇+74% H₂O，沸腾 (108℃)，pH=5 及 40% CaCl₂，100℃，pH=6 的试验溶液。恒变形的 U 形试样(弯曲半径为12.5mm)，以初始产生 SCC 的时间来评定材料的 SCC 敏感性。

2.1 钢的耐应力腐蚀性能

从980℃固溶处理后的耐应力腐蚀性能 (表 4) 可以看出，在NaCl介质中双相不锈钢具有较18-8型 (含钼或不含钼) 奥氏体不锈钢较高得多的耐SCC性能。

表 4 00Cr18Ni5Mo3Si2钢与其他对比材料的应力腐蚀试验结果

材 料	试 验 溶 液	出现应力腐蚀裂纹时间	断 裂 时 间
00Cr18Ni5Mo3Si2 ^①	25%NaCl+1% K ₂ Cr ₂ O ₇	65 h 出现 锈点 及局部溃 瘍, 245h未发现SCC,	3929h未断裂
0Cr18Ni9Ti	+ 74% H ₂ O, 沸腾 (108℃),	12h	1057~1387h
00Cr17Ni13Mo2	pH = 5	12h	2814~3516h

① 固溶组织含43%γ。

2.2 两相比例对钢的耐SCC性能的影响

双相不锈钢的耐SCC性能与其两相的平衡比例^[9,10]、分布状态以及晶粒大小密切相关，而两相比例在很大程度上又取决于钢的成分和加热温度。

在化学成分一定的前提下，固溶加热温度对相比比例的影响有着不容忽视的作用，以980℃固溶处理为最好，α相含量为57%，试验超过500h才产生SCC，而1250℃固溶后，α相达90%，仅十余小时即破裂；粗大的晶粒在外加应力作用下可形成粗大的滑移阶梯，易使钝化膜破裂，加速SCC的产生，使钢的SCC敏感性增大 (图 7)。

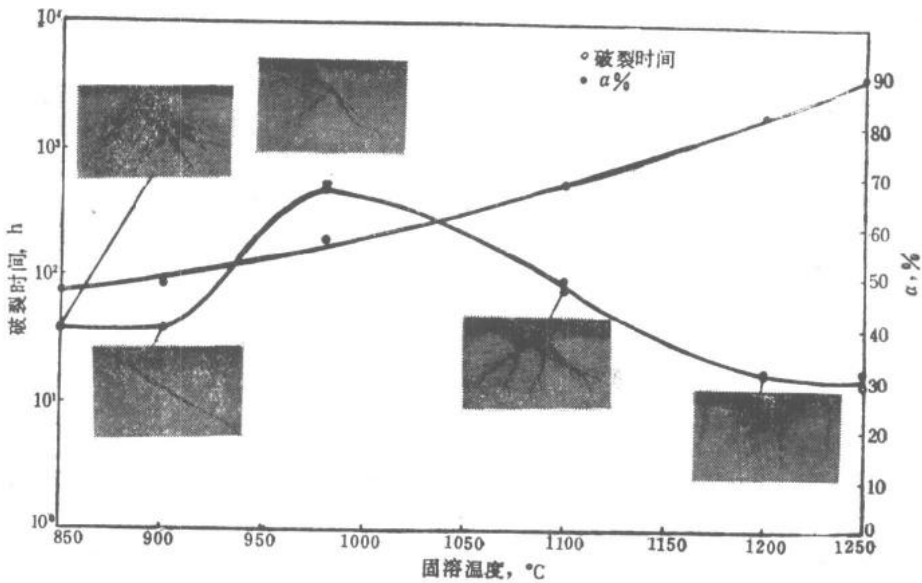


图 7 固溶温度对00Cr18Ni5Mo3Si2钢的相比比例及耐 SCC 性能的影响
40%CaCl₂, 100℃ U形弯曲样

值得指出的是当加热温度高于1300℃时，在冷却过程中产生 $\alpha \rightarrow \gamma'$ 的相变，沿 α 相的一定结晶平面产生片状 γ' ，这种粗大组织即使在随后的980℃固溶后仍保留，与原始细晶粒组织相比具有较低的耐SCC性能。

2.3 冷加工对钢的耐SCC性能的影响

研究了不同冷变形量（10~50%）对双相不锈钢SCC破裂时间的影响。试验表明，当变形量达30~40%，由于形变马氏体的作用使钢的耐SCC性能恶化^[10]。与文献[11]的结果是一致的。

2.4 00Cr18Ni5Mo3Si2钢的耐SCC特点

在NaCl、CaCl₂试验溶液中，双相不锈钢的SCC一般是由孔蚀起导的，且其SCC的裂纹形貌与奥氏体不锈钢不同，其SCC裂纹一般细且直，分支少，扩展速度快；而双相不锈钢的SCC裂纹往往分支多，扩展无一定方向，走向弯曲，扩展速度缓慢，这与第二相在裂纹尖端阻挡与扩展有关。此外，用扫描电镜（SEM）对SCC断口进行观察可见到 α 相的阳极溶解痕迹（图8），这一现象说明在SCC裂纹扩展过程中伴随着 α 相的阳极溶解， γ 相从而得到了阴极保护，因此， γ 相亦抑制了裂纹的扩展。

值得指出的是，此钢铬、钼含量高，耐孔蚀性能好，孔蚀的诱导期长，SCC裂纹往往出现在点坑底部，由于分散度大，避免了应力集中于少数裂纹，从而亦减缓了SCC的扩展速度，改善了钢的耐SCC性能。

3. 耐晶间腐蚀性能

采用电化学动电位再活化法（EPR法）、GB1223—75中的T法（硫酸铜加铜屑法）和F法（硝酸加氟化钠法）研究及检验钢的晶间腐蚀倾向性。

选用中温650℃和850℃及高温1200~1400℃两种敏化加热制度，中温加热处理后采用T法和F法进行检验，高温加热后试样水淬及空冷，在PARC350A电化学综合测试仪上进行动电位扫描，介质为0.5molH₂SO₄+0.01molKSCN，扫描速度为1mV/s，从动电位曲上得出活化电流密度峰值（ I_a ）和再活化电流密度峰值（ I_r ）， I_r/I_a 再活化率表达试线样的敏化程度，试验结果分别见表5及图9。

表 5 中温敏化处理后钢的晶间腐蚀试验结果

编 号	敏 化 处 理 制 度 ℃, min	T 法	F 法
Π50-1	650 30 空冷	无晶间腐蚀裂纹	无晶间腐蚀裂纹
Π50-2	650 60 空冷	同 上	同 上
Π50-3	850 30 空冷	同 上	同 上

试验结果表明，钢经中温敏化加热后未发现晶间腐蚀倾向；高温敏化加热后水冷样经EPR法试验后，晶间腐蚀敏感的再活化率均高于1%^[12]，各敏化加热温度下开始出现晶间腐蚀的敏化加热时间随加热温度的升高而缩短（图9），空冷样则无晶间腐蚀倾向。高温水冷的晶间腐蚀仅发生在 α 相晶界，遇 γ 相而中断（图10），用TEM观察金相复型萃取样，发现 α 相晶界有析出物，电子衍射斑点计算结果为M₂₃C₆（图11），认为钢经高温敏化加热并水冷后， α 晶界有富铬的M₂₃C₆析出，造成局部贫铬，从而使钢的耐晶间腐蚀性

能变差，而 γ 相的存在有助于减缓阻碍晶间腐蚀向纵深方向发展，空冷样即因为在冷却过程沿晶界有大量的 α 相转变为羽毛状的二次奥氏体（ γ' ），从而无晶间腐蚀产生。



图 8 α 相的阳极溶解 ×1250

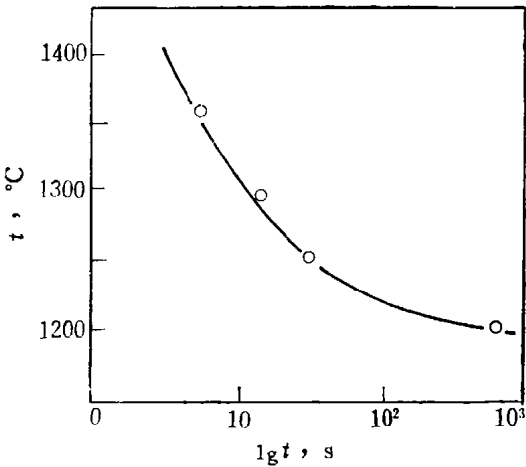


图 9 钢的敏化加热温度及加热时间曲线

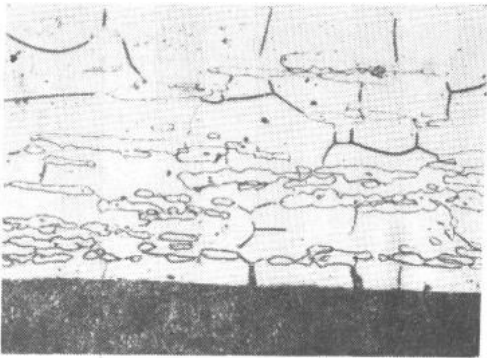


图 10 钢在1250°C10s水冷后的晶间腐蚀(T法) ×200

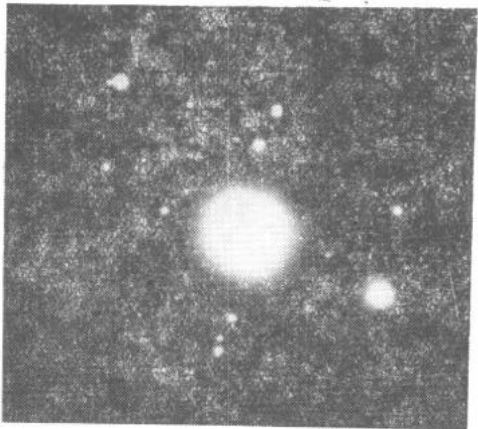
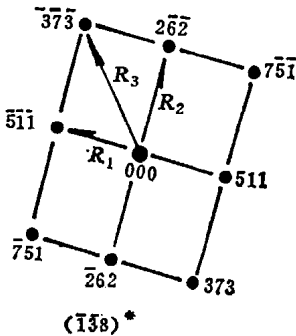


图 11 $M_{23}C_6$ 的电子衍射花样



四 钢的力学性能

00Cr18Ni5Mo3Si2双相钢兼有铁素体和奥氏体不锈钢力学性能的特征,既有较高的强度(约为1Cr18Ni9Ti钢的2倍),又有良好的韧性。然而以铁素体为基(α 占50~65%)的双相不锈钢而言,铁素体不锈钢所固有的各种脆化倾向,如475℃脆性、 σ 相脆性、高温晶粒长大脆性等都会有所反映,当然,由于 γ 相的存在,这种脆化倾向比铁素体不锈钢小。

双相不锈钢的力学性能受多种因素的影响,如:钢的成分、两相比例、热处理条件及铁素体基体晶粒的尺寸因素等。

1. 铁素体的晶粒度对力学性能的影响

从不同固溶温度对粗晶钢与细晶钢力学性能的影响(图12、13)可以看出,粗晶钢强度略低、塑性较细晶钢下降很多,此与铁素体基体组织粗化必然伴随 γ 相数量减少、随后的热处理导致片状 γ' 析出有关。但950℃处理后却相反,粗晶钢的延伸率反而高,这是由于1300℃预先处理使相成分改变, $\chi(\sigma)$ 相成核较迟,在相同固溶处理时间内与细晶钢相比, $\chi(\sigma)$ 相数量较少之故。

可以看出,钢的原始组织十分重要,如果由于热作工艺制度不合理,造成材料的铁素体晶粒粗大,则随后的热处理也无法使晶粒细化,无法获得强度与塑性兼优的综合力学性能。

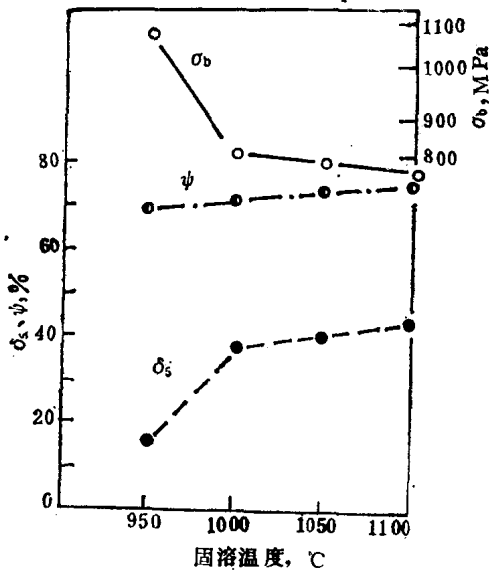


图 12 不同固溶温度对钢力学性能的影响
原始状态为退态

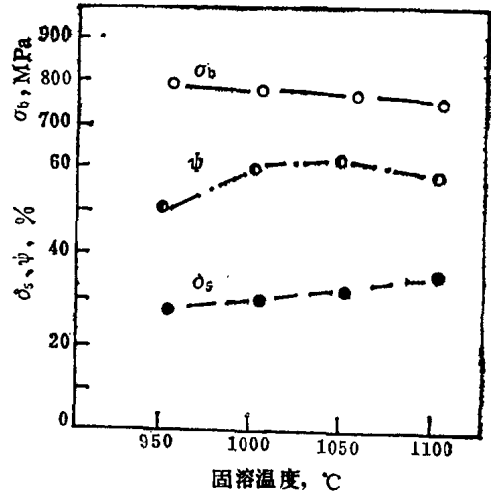


图 13 不同固溶温度对粗晶钢(先经1300℃处理)力学性能的影响

2. 固溶处理温度对力学性能的影响

1000℃固溶处理可得到较好的综合力学性能(图14)。为获得适宜的两相比例,以950~1000℃固溶水淬处理为宜。950℃以下固溶,由于 χ 、 σ 相析出导致 a_K 值急剧下降。

3. 等温时效对钢脆性的影响

在钢的脆性温度区间550~900℃时效时间越长, a_K 值下降越多(图15),以850℃下

降速度最大，保温10min后 a_K 值即由固溶态的314J/cm²降至104J/cm²，但在此较宽的温度区即使保温30min后 a_K 值一般仍保持在90J/Cm²左右，比25-5Mo型双相不锈钢脆性敏感低很多，后者往往降到10J/cm²以下[13]。

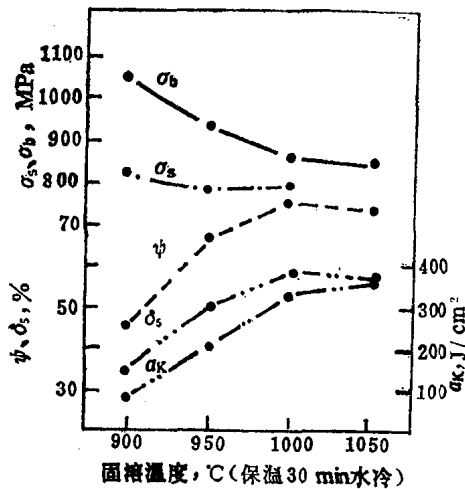


图 14 不同固溶温度对室温力学性能的影响
棒材

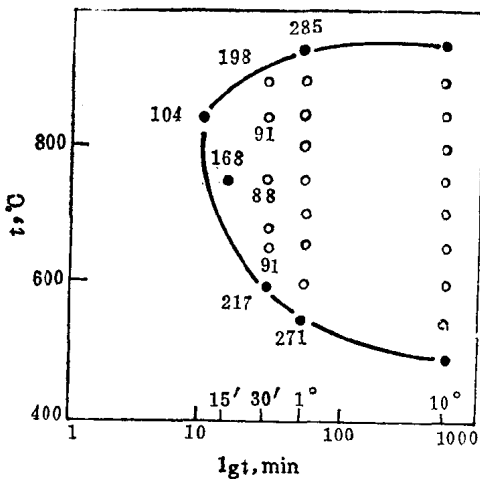


图 15 钢的脆性温度区间 (γ 为 42%)
曲线之左 $a_K > 100\text{J/cm}^2$ ，曲线之右 $a_K < 100\text{J/cm}^2$

4. 钢的高温及低温性能

钢的高温力学性能（表 6）。此钢具有较好的低温韧性（图16），从室温直到-80℃都

表 6 钢的高温力学性能

温 度, °C	σ_b , MPa	$\sigma_{0.2}$, MPa	δ_5 , %	ψ , %
100	678	500	40.8	81.5
200	635	395	35.4	78.0
300	640	375	30.6	74.5
400	648	355	29.5	76.0
500	548	325	32.0	77.0

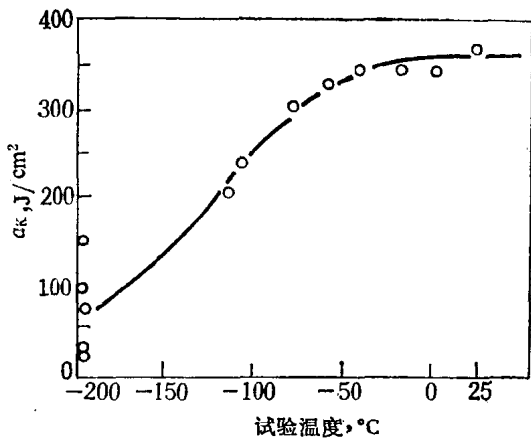


图 16 钢的脆性转变温度曲线