

高氮奥氏体不锈钢的氮化物析出及其对焊接性影响

夏明生, 田志凌, 彭 云, 马成勇

(钢铁研究总院 结构材料研究所, 北京 100081)

摘 要: 高氮奥氏体不锈钢是用氮代替合金元素镍以获得优异的力学性能和抗腐蚀性能的合金结构钢, 氮以固溶状态存在是材料性能优越的前提条件。高的固溶氮使钢在热力学上处于不稳定状态, 存在氮化物析出倾向并诱发其它硬脆相的形成, 弱化了材料性能。焊接加工时热影响区氮化物析出是固溶氮的一种主要损失方式。对等温过程中氮化物析出动力学以及胞状析出行为进行阐述, 为材料的开发研制以及热加工过程的控制提供参考。

关键词: 高氮奥氏体不锈钢; $C_{\epsilon}N$; 析出动力学; 焊接性

中图分类号: TG457·11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2005)12-108-05



夏明生

0 序 言

高氮钢和含氮奥氏体不锈钢是工程材料的一个重要分支, 目前关于“高氮”一词还没有严格定义。一般而言, 在铁素体钢中氮含量超过 0.08% (质量分数), 奥氏体钢中加入的氮含量超过 0.4% (质量分数), 就称这类钢为高氮钢^[1]。高氮奥氏体不锈钢 (以下简称高氮钢) 主要是利用氮元素部分甚至完全代替合金元素镍以获得单相奥氏体组织, 利用氮进行合金化具有很多优点: (1) 与碳相比, 氮是更加有效的固溶强化元素, 同时可以促进晶粒细化; (2) 氮是强烈的奥氏体形成化元素, 可以减少合金中的镍含量, 降低铁素体和形变马氏体形成能力; (3) 尽管氮对材料在酸中抗总体腐蚀性能没有明显改善, 但可以极大地提高材料抗点蚀和缝隙腐蚀能力。而冶炼技术的进步, 已能够生产含氮量高达 1% (质量分数) 的高氮钢, 且可以进行商业化生产。

总的来说, 氮在钢中有三种存在形式: (1) 固溶态; (2) 氮化物; (3) 氮气孔。氮化物和碳化物是钢中一种重要的显微组织构成, 对高氮钢而言, 高的氮含量必然影响氮化物的析出行为以及材料的组织和性能。同时在其焊接加工中, 氮化物形成是固溶氮含量损失的一种主要方式。作者将对高氮钢热过程中的氮行为加以阐述, 为高氮钢的开发研制和工程应用提供借鉴。

1 氮化物的等温析出动力学

氮化物析出是一个形核与长大过程, 这一过程

的驱动力在于沉淀前后体积自由能差; 另一方面, $C_{\epsilon}N$ 析出又受 Cr 和 N 原子的扩散所控制, N 是间隙原子, 扩散速度快, Cr 是置换原子, 扩散速度较慢, 两者的差异使氮化物析出过程呈现一定的特殊性。

高氮钢中存在两种较为常见的氮化物形式: $C_{\epsilon}N$ (六方晶体) 和 CN (立方晶体)。而关于前者, Shankar 等^[2] 发现又有两种结构: 间隙无序相 (A 型) 和在间隙亚点阵中 N 以有序态存在 (B 型), 并将 $C_{\epsilon}N$ 在 316LN 钢中的析出过程描述如下: N 均匀分布在奥氏体基体中——偏聚体 (晶格参数变化的奥氏体) —A 型 $C_{\epsilon}N$ 在晶内析出 —B 型 $C_{\epsilon}N$ 在晶内析出 — $C_{\epsilon}N$ 的胞状析出 (100 h 后, 微量), 而关于氮化物的结构由 A 型向 B 型的转变, 是由于后者的自由能较小, 对应氮在基体中的溶解度减少, 所以间隙有序转变过程也伴随着基体中氮进一步贫化, 其中不管是 A 型还是 B 型 $C_{\epsilon}N$, 其与基体的位相关系随着等温时间的变化而变化^[3]。

随着等温时间的延长, 会析出其它的中间相, 如 χ 和 η 沉淀析出动力学 (图 1), 与 $C_{\epsilon}N$ 相比, 两者析出量少, 对材料性能影响也不大^[4]。但值得注意的是, 随着 $C_{\epsilon}N$ 析出的进行, 紧邻氮化物的基体中会形成 σ 相。文献 [5] 对 18Cr18Mn2Mo0.9N 的等温时效过程中观察到这一脆性相, 在文献 [6-7] 中发现与不连续沉淀的氮化物相邻的 γ 基体中生成了 σ 相。由于这种相对材料的韧性和抗腐蚀性构成不利影响^[8], 关于高氮钢中 σ 相的形成机制认为源于氮化物析出后附近基体中氮贫化区的形成, 在基体中直接形成 σ 相; 最近的研究结果也证实了 σ

相的形成机制,即贫氮区诱导 σ 相形成^[9]。

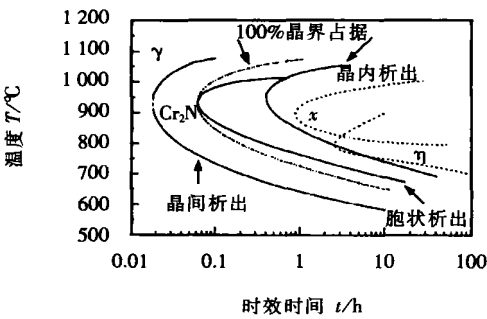


图 1 Cr_2N , χ 和 η 相形成的 TTP 曲线(合金的名义成分为 $\text{Fe}-19\text{Cr}-5\text{Mn}-5\text{Ni}-3\text{Mo}-0.02\text{C}-0.7\text{N}$)

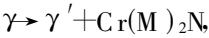
Fig 1 TTP curves of Cr_2N , χ and η phase formation(the nominal composition of alloy: $\text{Fe}-19\text{Cr}-5\text{Mn}-5\text{Ni}-3\text{Mo}-0.02\text{C}-0.7\text{N}$)

就氮化物析出而言,高氮钢也存在一个敏化温度区间,约为 $600\sim1075\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在该温度区间,氮化物析出敏感性较强并可诱发其它第二相粒子的形成,因此合金在热加工和使用过程中应该避免在该区间停留较长的时间,或者进行高温固溶处理以消除氮化物。

2 胞状析出 (cellular precipitation)

胞状析出或不连续沉淀通常是指由沉淀相和溶质原子贫化的基体交替排列形成的晶界元胞,且伴随有晶界向过饱和基体的迁移过程。人们已广泛地研究了二元置换型原子系统不连续沉淀时析出相的形核和长大动力学,发现其不连续脱溶转变不涉及溶质原子的长程扩散,而在含有置换型原子和间隙型原子的多元合金系统中,氮化物的生长特征与二元置换合金体系存在明显差别。相关的研究结果如下。

Bannykh 等^[10]指出:高氮钢中会发生氮的过饱和和不连续分解反应且有类珠光体组织形成,典型形貌如图 2 分解过程可以用下式进行描述,即



式中: γ 表示未发生析出转变的奥氏体; γ' 指析出后的奥氏体组织; M 表示其它合金元素如 Fe , Mn 等。观察发现不连续反应始于奥氏体晶粒的晶界,限制类珠光体域的生长速率是 $[\text{Cr}]$ 沿晶界的扩散,不连续分解的元胞组织的生长速率由在无凝聚性的元胞组织-基体分界面上的基体成分扩散再分配所控制;文献^[11]指出,元胞的迁移主要受下列因素的

影响:未转变基体与元胞组织 γ 之间的氮浓度梯度、 Cr_2N 形核所引起的沉淀相与基体之间的错配应变以及沉淀相与相邻晶粒之间无严格定义的取向关系。氮化物析出导致钢的强度、延性和断裂韧性下降^[10]。

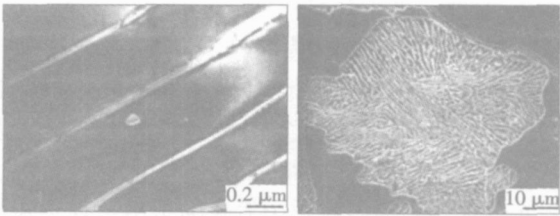


图 2 固溶退火状态下 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时效的胞状析出相形貌

Fig 2 Morphology of cellular precipitation formed after solution annealing and aging at $900\text{ }^{\circ}\text{C}$

Kikuchi 等^[12]对胞状沉淀行为进行了系统研究,并揭示其所表现出的异于“典型”二元置换合金系统 ($\text{Fe}-\text{Zn}$, $\text{Al}-\text{Mg}$) 中胞状沉淀的生长特征,即: (1)元胞界的迁移速率随着反应进行而减小,沉淀相的体积百分数无法达到 100% 表明在基体完成转变之前元胞就已经停止了生长(图 3)。不连续分解动力学研究结果表明,奥氏体分解的体积百分数随时间变化的关系较好地遵循 Kolmogorov-Avrami 方程^[10]。Kikuchi 认为分解不完全性是由于 Cr 的体扩散在元胞与基体界面前沿形成的扩散区宽度增大导致胞状沉淀反应化学驱动力降低所致;在对 $\text{Fe}-\text{Cr}-\text{Mn}-\text{N}$ 多元组分的高氮钢研究认为未转变基体与胞中基体的化学平衡即氮浓度相等造成了不完全的胞状转变^[13]。(2)元胞内的平均氮浓度比过饱和的基体中要高,在转变过程中伴随 N 的长程扩

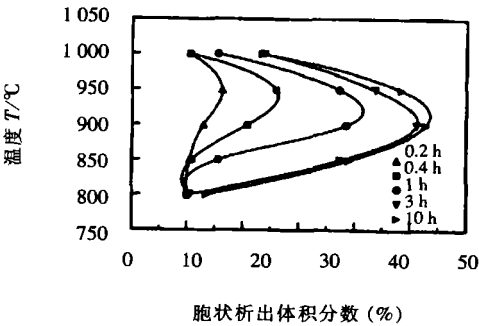


图 3 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温时效过程胞状沉淀相体积百分比

Fig 3 Volume fraction of cellular precipitation formed in high nitrogen stainless steel during isothermal aging at $900\text{ }^{\circ}\text{C}$

散。(3)未转变基体的氮浓度随着反应时间增加而降低,直至反应结束,未转变基体的氮仍处于过饱和状态,文献[14]建立了溶质元素与奥氏体基体晶格常数之间的关系式。形成上述特征可能是氮原子长程扩散所引起,与Cr原子相比,如在1073 K温度时,氮在高氮的Cr-N奥氏体不锈钢基体中体扩散系数比Cr高出五个数量级。

与二元置换合金体系不同,高氮钢胞状沉淀相的析出过程涉及到CrN两种溶质原子的体扩散和晶间扩散,这是一种非稳定态的反应过程,Cr扩散是胞状转变速率的控制因素;胞状沉淀是高氮钢这一多元合金体系等温过程中氮化物析出一种主要形式,针对氮化物胞状析出所引起的材料性能弱化^[13],文献[10]提出了控制这种相沉淀析出的几点措施。

对高氮钢来说,时效过程中会形成不同形态的CrN晶界沉淀颗粒随着时效时间的增加而变得粗大;网状沉淀的体积百分数随着时效时间的增加而增加。经过预变形的奥氏体不锈钢中会形成穿晶的CrN沉淀,晶粒内部的缺陷结构,如形变孪晶和滑移带,为沉淀析出提供了合适的场所。

3 等温析出动力学的影响因素

氮化物析出是高氮钢在高温环境中服役存在的一个普遍问题。所以为了控制材料热加工时在位于敏化温度区间的氮化物析出,应该了解氮化物等温析出动力学的影响因素。

3.1 温 度

对成分一定的高氮钢,氮化物析出存在一个敏感温度区间,在这个温度区间,温度过高,氮过饱和度变小,析出反应驱动力小;温度太低,合金元素的扩散速率降低,这两种影响因素竞争的结果便会产生一个沉淀动力学最快的温度,即“鼻尖”温度,在该温度时,氮化物析出所需的孕育期最短。

3.2 合金组分

针对合金元素对高氮钢的氮化物等温析出行为的影响国内外都进行过较多的研究,获得了大量试验数据。DAI^[16]对这些数据加以整理,运用热力学、动力学和相转理论推导出经过高温固溶处理后Fe-Cr-Mn-N系高氮钢等温时效时的CrN析出时孕育时间的数学模型,以说明合金组分对氮化物析出的影响。在所有元素中,氮的影响最强。文献[17]对两种不同氮含量合金在1173 K-1373 K温度区间的等温析出行为比较也证明了氮的作用。氮含量不仅影响氮化物析出的“C”曲线位置,也影响

析出反应速率。在等温时间相同的情况下,氮含量越高,析出相体积分数越高^[14]。

通过对含有多种溶质元素的高氮钢的氮化物析出研究表明,氮的影响最强烈,一方面氮是氮化物形成元素;另一方面,氮间隙固溶在奥氏体基体中,且扩散速度较快。氮化物析出方式也与基体中氮含量有关,含氮量较高时,CrN由晶间析出转变到晶粒内部的胞状析出,含氮量较低时,CrN不会沿晶析出。

3.3 材料的原始状态

一般情况下,高氮钢有固溶和轧制两种使用状态,材料原始形态不同,氮化物析出行为也不相同。文献[17]对几种初始状态不同合金的氮化物等温析出动力学的研究发现,冷轧后经过退火处理的氮化物形核孕育期推迟了5 s,且冷轧次数越多,敏感温度区间就越窄,认为与退火孪晶形成有关。

Simmons^[18]对经过20%冷轧变形后不经过退火处理合金的等温析出动力学研究发现(名义成份为Fe-19Cr-5Mn-5Ni-3Mo-0.02C-0.7N),冷变形加速晶间氮化物析出,诱导晶内氮化物析出,延迟胞状氮化物析出(图4)。冷轧变形后,材料中保存大量缺陷,晶界缺陷组织(主要是凸缘)以及加快原子扩散的位错通道都降低了形核热力学壁垒;周期性缺陷组织(主要是变形孪晶和密集滑移带)有助于氮化物的晶内析出;晶内析出一方面降低了胞状沉淀物生长的化学驱动力,另一方面成为晶界迁移障碍,抑制了胞状氮化物析出。退火态合金则不利于氮化物的晶内析出,对冷作态合金,随着时效温度的提高,形变孪晶会彻底消失,在很多地方形成了亚晶界^[15]。

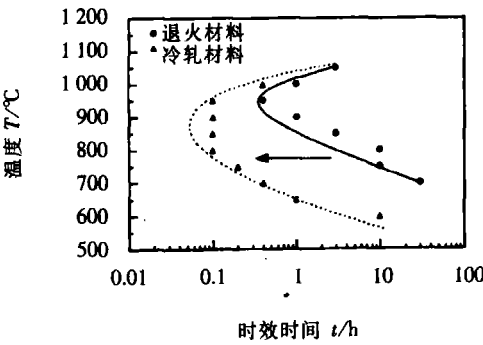


图 4 事先变形(20%冷轧)对合金CrN晶内析出动力学的影响
Fig 4 Effect of prior deformation (20% cold rolling) on intragranular CrN precipitation kinetics

除了上述因素外,还存在其它影响氮化物析出动力学的因素,如时效条件、固溶处理温度、晶粒尺寸、合金元素的晶界偏析以及元素之间的交互作用,需要对这些因素进一步进行研究。

4 焊接加工时氮化物的析出

在高氮钢的热加工中,如热轧、焊接,可能会析出氮化物,从而削弱材料的加工性能、力学性能和抗腐蚀性能。与热轧不同,高氮钢的焊接件一般难以通过焊后热处理来消除焊接时形成的组织缺陷,如氮化物。因此为了研究高氮钢的焊接性,必须理解连续冷却条件下焊接热影响区的氮化物析出行为。

文献[19]中对两种高氮钢的焊接性进行研究,热影响区无明显的氮化物析出。18Cr18Mn0.6~1.2N^[20]、18Cr18Mn2Mo0.9N^[21]、19Cr15Mn0.7N^[18]和21Cr25Mo0.9N^[22]的TTP曲线表明,在鼻尖温度,氮化物开始析出的孕育期为10s。因此在传统的弧焊热循环作用下,不会发生氮化物沉淀。焊接时的焊接工艺参数尤其是焊接热输入会影响

HAZ的氮化物析出行为,而母材的合金系统则决定了氮化物的热敏感性。例如,在焊接Cr-Ni-Mo-N系高氮钢时,需要解决的问题就包括如何抑制热影响区氮化物的快速沉淀。而Cr-Mo-N系合金的氮化物形成倾向则远远地低于前者,这与合金组分的差异导致了单相奥氏体组织不稳定的温度区间不同有关。在含氮量相同的条件下,前者的要明显比后者要窄的多。图5为采用Thermo-calc热力学软件对两种合金系统的计算结果。文献[17]中对几种成分各异的Cr-Ni-Mo-N系高氮钢的热影响区氮化物析出行为进行了研究。发现母材的氮含量越高,氮化物的析出倾向越强烈。

除了熔化焊,压力焊也用于高氮钢的连接加工,但有关这方面的研究不多^[23-24]。就焊缝氮含量、氮气孔以及氮的逸出而言,采用闪光对焊和摩擦焊时不会出现,摩擦焊试验发现^[23],接头由于经历了热作用,在连接线附近的晶粒晶界上发现了Cr₂N和CrN氮化物析出相,接头的硬度和抗拉强度都有不同程度的降,这是因为氮化物的析出,降低了基体中的固溶氮含量,也降低了接头的性能^[23]。

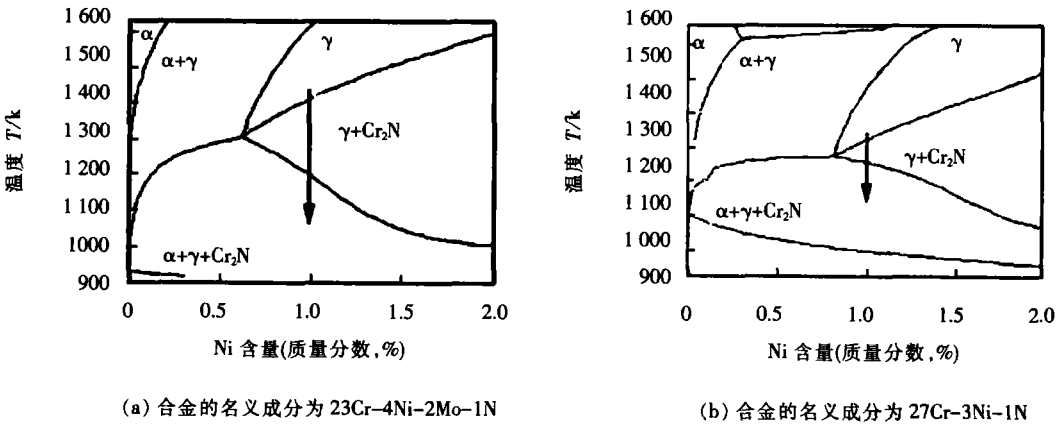


图 5 thermo-calc 计算的高氮钢相图

Fig 5 Phase diagram of high nitrogen stainless steel cabulated by thermo cab

在焊接热循环作用下,母材中的固溶氮存在不同的析出倾向,这与母材的合金系统以及焊接工艺参数有关。一方面氮化物的析出降低了接头性能。另一方面,氮化物的析出降低了基体中固溶的氮含量,奥氏体的稳定性变差。在随后的冷却中,可能会发生不同的转变。与氮化物的等温析出相比,焊接时氮化物析出行为更加复杂,而能否应用TTP图,并结合热循环曲线对焊接热影响区的氮化物析出进行预测,还需进一步研究。

5 结束语

- (1)由于较高的固溶氮含量,在经历热作用时,高氮钢可能会析出氮化物,对于成分和原始状态一定的高氮钢,氮化物析出的敏感温度区间一定。
- (2)影响氮化物析出动力学的因素很多,如温度、合金成分、合金的原始状态等,氮化物等温析出动力学曲线为“C”形。
- (3)氮化物析出诱导附近基体中硬脆σ相的形

成,进一步降低了材料性能。

(4)胞状析出是最常见的等温析出形式,非稳定态特征使得析出分解不能进行完全,析出相的显微组织类似于珠光体,析出行为与二元置换合金体系的不同。

(5)进行焊接热加工时,应该严格控制焊接热输入以及多道焊时的焊缝层间温度,减少高温停留时间,以降低热影响区和前道焊缝的氮化物析出。

参考文献:

[1] Speidel M O. Properties and application of high nitrogen steels [M], In J Foct and A. Hendy eds HNS -88. London: Institute of Metals 1989.

[2] V anderschaeve F, Taillard R, Foct I. Discontinuous precipitation of $C_{12}N$ in a high nitrogen chromium-manganese austenitic stainless steel[J]. Journal of Materials Science 1995 30: 6035 - 6046

[3] Sundararaman D, Shankar P, Raghunathan VS. Electron microscopic study of $C_{12}N$ formation in thermally aged 316LN austenitic stainless steels[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1996 27A (5): 1175 - 1186.

[4] Simmons JW, Convino BS. Effect of nitride ($C_{12}N$) precipitation on the mechanical corrosion and wear properties of austenitic stainless steel[J]. ISIJ International 1996 36 (7): 846 - 854

[5] Tae H O, Lee Chang Seok O, Sung Joon K. Precipitation of σ -phase in high nitrogen austenitic 18Cr - 18Mn - 2Mo - 0.9N stainless steel during isothermal aging[J]. Scripta Materialia 2004 50: 1325 - 1328.

[6] V anderschaeve F, Taillard R, Foct I. Discontinuous precipitation of $C_{12}N$ in a high nitrogen chromium-manganese austenitic stainless steel[J]. Journal of Materials Science 1995 30: 6035 - 6046

[7] Machado IF, Padilha AF. Aging behavior of 25Cr - 17Mn high nitrogen duplex stainless steel[J]. ISIJ International 2000 40 (2): 719 - 724

[8] Lee TH, Kim S J. The σ -phase formation on the mechanical and corrosion resistant properties[J]. Scripta Material 1998 39: 951 - 958.

[9] Lee TH, Oh C S, Tae H O. On the crystal structure of $C_{12}N$ precipitates in high nitrogen austenitic stainless steel[J]. Acta Crystallographica Section B 2005 61 (2): 137 - 144

[10] Oleg Alexandrovich Bannykn. On the effect of discontinuous decomposition on the structure and properties of high nitrogen steels and on methods for suppression thereof[J]. Steel Research 1991 62: 38 - 45

[11] Santhi N C, Srinivas Kutumbarasv. Initial stages of discontinuous precipitation in high nitrogen austenitic stainless steels[J]. Trans Indian Inst Met 2002 55 (4): 247 - 253.

[12] Makoto K ichi, Makoto Ogawa, Kazuo H iraoka. Cellular precipitation involving both substantial and interstitial solutes: cell precipitation of $C_{12}N$ in Cr - Ni austenitic steels[J]. Materials Science and Engineering A, 1991, 146: 131 - 150.

[13] Santhi N C, Srinivas Kutumbarao V V. Growth mechanism for discontinuous precipitation in a multi component (FeCrMnN) system[J]. Scripta Materialia 2004 51 (3): 1105 - 1109.

[14] Santhi N C, Srinivas Kutumbarao V V. On the discontinuous precipitation of $C_{12}N$ in CrMnN austenitic stainless steels[J]. Scripta Materialia 1997 37 (3): 285 - 291

[15] John W, Simmons. Mechanical Properties of isothermally aged high nitrogen stainless steel[J]. Metallurgical and Materials Transaction A, 1995 26A: 2579 - 2595

[16] Dai Q X, Yuan Z Z, Luo X M, *et al*. Numerical simulation of $C_{12}N$ age precipitation in high nitrogen stainless steel[J]. Materials Science and Engineering A, 2004 385: 445 - 448

[17] Makoto OGAWA, Kazuo H iraoka, Yasuyuki Katad. Chromium nitride precipitation behavior in weld heat affected zone of high nitrogen stainless steel[J]. ISIJ International 2002 42 (12): 1391 - 1398

[18] Simmons JW, Convino BS, *et al*. Effect of nitride ($C_{12}N$) precipitation on the mechanical corrosion and wear properties of austenitic stainless steel[J]. ISIJ International 1996 36 (7): 846 - 854.

[19] A dlt N, Chr G illessen, Heimann W. High nitrogen steels HSN90 [C]. Stahleisen, Dusseldorf 1990 150.

[20] Menzel J, Kirschner W, Stein G. Microstructure and deformation behavior of high nitrogen duplex stainless steels[J]. ISIJ International 1996 36 (7): 893 - 910.

[21] Uggowitzer R J, Magdowski R, Speidel M O. Nickel free high nitrogen austenitic steels [J]. ISIJ International 1996 36 (7): 901 - 908.

[22] Bernauer J, Huber R, Schneider R, *et al*. Salfer Proc 6th Int conf on high nitrogen steels (HNS2001)[M]. Indian Institute of Metals, Karpakkam 2002 111.

[23] Insu W oo, Masatoshi A nioishi, Kikuichi. Metallurgical and mechanical properties of high nitrogen austenitic stainless steel friction weld[J]. ISIJ International 2002 42 (4): 401 - 406

[24] Stein G, Tresken F. Arc welding steels nitrogen alloyed beyond the solubility limit[A]. In High Nitrogen Steels HSN90[C]. Stein G, Witulski H., Eds. Stah&Eisen, Dusseldorf 1990 303 - 308

作者简介: 夏明生,男,1978年9月出生,博士研究生。主要从事金属材料焊接性研究及焊接材料的研究开发工作。

Email xms1688@yahoo.com.cn

Ti alloy welded joint WU Hua zhi GUO Hai ding GAO De ping
XU kai wang (Changzhou Institute of Technology Changzhou Jiangsu
213002 China). p93-95 107

Abstract The relationship of the maximum loading strain range with fatigue life was established. Selection of electrons microscope magnifying multiple and measuring size in fatigue fracture fractal measure were studied and secondary electron lines scanning fractal dimension was successfully applied to measuring of Ti alloy welded joint fracture fractal dimension. The relationship is approximate direct ratio between fatigue fracture fractal dimension and fatigue life. According to established model of fatigue damage fractal evolution on welded joint. The fatigue damage fractal evolution equation of TC11 Ti alloy welded joint was analyzed.

Key word welded joint fatigue damage experiment fractal evolution equation; fractal dimension measuring

High toughness submerged arc welding wire of ship steel LI Hongwei^{1,2}, HE Chang hong², PENG Yun², TIAN Zhi ling², LIU Rong pei¹, CHEN Yan qing³ (1. Kunming University of Science & Technology Kunming 650093 China; 2. Central Iron & Steel Research Institute Beijing 100081 China; 3. Shougang Technical Research Institute Beijing 100041 China). p96-100

Abstract The designing principle of chemical compositions of Mn-Ni-Cr-Mo-Ti-B-Ce and Mn-Mo-Ti-B-Ce-Zr alloys high toughness submerged arc welding wires was introduced. Submerged arc welding with matched agglomerated flux was carried out to get the deposited metal. The chemical compositions and microstructure of deposited metal were analyzed. Impact toughness and tensile strength were tested. Thermophology of fracture appearance were observed by SEM and the inclusions were also analyzed. Experiment results indicated that the developed welding wire matched two kinds of flux can produce deposited metals of good mechanical properties. Matched flux of higher basicity the deposited metals have better mechanical properties ($\sigma_s > 500 \text{ MPa}$, $\sigma_b > 600 \text{ MPa}$, $A_{kv} / J (-20^\circ \text{C}) > 150$). Microstructure is composed of acicular ferrite and a little proeutectoid ferrite.

Key words submerged arc welding deposited metal strength toughness

Acquisition and control of welding quality signals in laser welding of Mg alloy plate WANG Hongying¹, LIU Shouyi, LIANG Xuefeng^{1,2}, LI Zhi jun (1. Industry center Shenzhen Polytechnic Shenzhen 518055 China; 2. Harbin Institute of Technology Harbin 150001 China). p101-103

Abstract Based on the multi sensor data fusion technique and D-S theory the method to control and monitor welding quality was designed and experiment system was established. Results proved that this system is

suitable for obtaining welding quality information. Once welding defects occurs the welding system will be stopped and welding parameters will be revised to obtain good welding quality.

Key words magnesium laser welding multi sensor data fusion welding quality

Preparation and properties of thermal barrier ceramics gradient coating by flame spraying CHEN Wen hua GU Dong dong QIN Zhan yan (College of Materials Science and Technology Nanjing University of Aeronautics and Astronautics Nanjing 210016 China). p104-107

Abstract With optimizing the chemical compositions of the coating layer and the transition layer a dense $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ thermal barrier gradient coating with a sound metallurgical bonding was prepared using an oxyacetylene flame spraying. The results show that the Al_2O_3 distributes uniformly in the coating. An excellent metallurgical bonding between the steel base and the coating as well as a graded distribution of the chemical compositions from the base to the coating surface is obtained. As compared with the conventional Al_2O_3 thermal barrier coating and the thermal barrier coating using the Ni as bottom layer and the Cu as transition layer the bonding strength flexural strength and heat shock resistance improve significantly. The efficiency of the thermal barrier is found to increase with the amounts of the coating layers and the content of the Al_2O_3 .

Key words Al_2O_3 thermal barrier coating gradient coating flame spraying

Nitride precipitation kinetics in high nitrogen austenitic stainless steel and its effect on weldability XIA Ming sheng TIAN Zhi ling PENG Yun MA Cheng yong (Central Iron & Steel Research Institute Beijing 100081 China). p108-112

Abstract High nitrogen austenitic stainless steel is a kind of alloyed structural steel substituted nitrogen for nickel showing good mechanical and corrosion resistant properties. Nitrogen in the solid solution state is the prerequisite for the austenitic stainless steel to have excellent properties. The steel is thermally unstable due to high content of nitrogen in solid solution and has a tendency for nitride precipitation that will induce the formation of other hard and brittle phases resulting in the degradation of properties. Nitride precipitation is the primary type of nitrogen loss in the heated affected zone during welding process. The nitride precipitation kinetics and cellular precipitation behavior were illuminated which can provide some reference on the research and development of the steel and the regulation of heat treatment processes.

Key words high nitrogen austenitic stainless steel dichromium nitride precipitation kinetics weldability