

超塑性奥氏体-铁素体双相不锈钢 00Cr25Ni7Mo3N 的研制

张 兰 王立新

(太原钢铁(集团)公司,太原 030003)

任学平

(北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083)

摘 要 通过电弧炉-电渣重熔工艺开发研制了成分为(%) : 0.021C, 24.16Cr, 7.21Ni, 2.87Mo, 0.17N, 0.48Cu 超塑性双相不锈钢 00Cr25Ni7Mo3N。试验结果表明,00Cr25Ni7Mo3N 超塑性双相不锈钢的耐孔蚀性和耐缝隙腐蚀性远高于传统的 304L 和 316L 奥氏体不锈钢。在变形温度 960 °C、应变速率 2×10^{-3} /s 时,00Cr25Ni7Mo3N 超塑性双相不锈钢的最高延伸率为 960%,该钢超塑性变形的均匀性优于 TC4 钛合金,可显著减轻构件的重量。

关键词 超塑性 双相不锈钢 耐腐蚀性

Development of Superplastic Duplex Austenitic-Ferritic Stainless Steel 00Cr25Ni7Mo3N

Zhang Lan and Wang Lixin

(Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003)

Ren Xueping

(Material Science and Technology School, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The superplastic duplex austenitic-ferritic stainless steel - 0.021C, 24.16Cr, 7.21Ni, 2.87Mo, 0.17N, 0.48Cu has been developed by arc furnace + electroslag remelting process. The test results showed that the pitting erosion resistance and the crevice corrosion resistance of superplastic duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo3N were much more higher than that of traditional austenite stainless steel 304L and 316L. The maximum elongation of superplastic duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo3N at 960 °C with strain rate 2×10^{-3} /s was 960%, and the uniformity during superplastic deformation of the duplex steel was higher than that of titanium alloy TC4 to obviously decrease the weight of component.

Material Index Superplasticity, Duplex Stainless Steel, Corrosion Resistance

与 304L、316L 等奥氏体不锈钢相比,双相不锈钢具有优良的耐应力腐蚀、耐缝隙腐蚀、耐 Cl⁻ 点蚀、耐晶界腐蚀以及高强度、高耐磨性等一系列优点。近年来,随着海洋开发、船舶以及沿海城市建设的发展,双相不锈钢引起了世界各国的广泛重视。

双相不锈钢具有奥氏体和铁素体混合组织结构,因此,其成形性能较差,使其应用受到一定限制。自从 Hayden 开发出了 Fe-Cr-Ni 系双相不锈钢超塑性材料,并使其延伸率达到 1 000% 以上以后^[1],美国、日本、韩国以及巴西等国对双相不锈钢的超塑性进行了一系列基础性研究工作,取得了许多重要的研究成果^[2-4]。

1997 年,日本 NAS-Murdock 公司采用双相不锈钢超塑性材料成功地制造出了波音 737 客机用盥洗盆。该产品长 1 100 mm,宽 350 mm,深 270 mm^[5]。目前我国在生产中得到应用的超塑性材

料多限于锌-铝合金、铝合金以及钛合金等有色金属。由于 304L、316L 等奥氏体不锈钢室温成形性能比较好,且应用范围也比较广,但对不锈钢超塑性材料的研究较少,因此进行了超塑性双相不锈钢的研制。

1 双相不锈钢超塑性材料的制备

00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢材料制备工艺流程为:电弧炉冶炼→电渣重熔→热轧→固溶处理(1 250 °C)→冷轧(60%)。00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢和对照钢种的化学成分见表 1。

2 双相不锈钢的性能

2.1 双相不锈钢的耐腐蚀性能

(1) 双相不锈钢的耐孔蚀性能

采用 EPMA 试验对两相中的合金元素进行波谱(WDX)分析,获得铁素体和奥氏体的 PRE 值 = 44/51。最理想的是两相的 PRE 比值为 1:1,因为

表 1 实验用不锈钢的化学成分和耐缝隙腐蚀性
Table 1 Chemical compositions and crevice corrosion resistance of test stainless steels

材料	化学成分/%											海水侵蚀 缝隙数 n/40
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	N	Cu	
00Cr25Ni7Mo3N	0.021	0.47	0.83	0.023	0.002	24.16	7.21	2.87	0.34	0.17	0.48	2
316L	0.021	0.50	1.17	0.029	0.003	17.01	10.04	2.02	-	-	-	16
304L	0.023	0.52	1.04	0.026	0.001	18.47	9.19	-	-	-	-	-

此时能使双相不锈钢的临界孔蚀温度 CPT 值提高到 80 °C 以上。图 1 给出了 Cl⁻ 浓度对几种不锈钢耐孔蚀性能的影响,可见 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢的耐孔蚀性能明显优于 304L 和 316L 不锈钢。

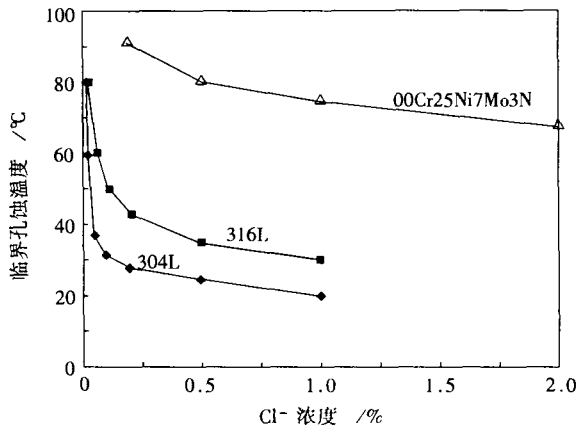


图 1 Cl⁻ 浓度对试验不锈钢的耐孔蚀性能的影响
Fig.1 Effect of Cl⁻ concentration on pitting erosion of test stainless steels

(2) 双相不锈钢的耐缝隙腐蚀性

双相不锈钢的耐缝隙腐蚀性除了受缝隙几何形状、尺寸、缝隙内外面积比影响外,环境因素的影响也很重要,通常采用耐海水环境的缝隙腐蚀试验评价不锈钢的耐缝隙腐蚀性能。从表 1 看出,00Cr25Ni7Mo3N 超级双相不锈钢的耐缝隙腐蚀性能远高于 316L。

2.2 双相不锈钢的力学性能

对超级双相不锈钢和超级奥氏体不锈钢的 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b 、 δ 和 A_k 值进行了对比,其结果如表 2 所示。从表中可以看出双相不锈钢的强度指标优于奥氏体不锈钢,韧性指标虽低于奥氏体不锈钢,但高于一般铁素体不锈钢。可见,其综合机械性能在 3 类不锈钢中最优。

3 超塑性拉伸实验结果及分析

3.1 变形温度对延伸率的影响

表 2 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢和 304 不锈钢力学性能的对比如

Table 2 Comparison of mechanical properties of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo3N and stainless steel 304

材料	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	ψ /%	横向冲击功 /J
00Cr25Ni7Mo3N	631	838	28	41	120
304	315	540	48	-	198

图 2(a)给出了 00Cr25Ni7Mo3N(应变速率 $2 \times 10^{-3}/s$)的延伸率随变形温度的变化规律。从图 2(a)中可以看出,在 850 ~ 1 050 °C 的温度范围内,00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢材料的延伸率大于 350%。并且均在变形温度为 960 °C 时达到最大值,其最高延伸率为 960%。在 930 ~ 980 °C 附近是 00Cr25Ni7Mo3N 材料的最高延伸率温度区域。当变形温度大于 1 000 °C 时,双相不锈钢材料的延伸率明显下降,这可能与该类材料在此温度区域的组织转变有直接关系。

3.2 应变速率对延伸率的影响

图 2(b)为 960 °C 形变时 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢的应变速率-延伸率曲线,从图 2(b)中的曲线可以看出,在应变速率为 $2 \times 10^{-3}/s$ (对数应变速率为 -2.7)时,00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢延伸率出现峰值。这说明该双相钢可在较高应变速率下超塑性成形。

4 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢超塑成形性能

根据 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢与 TC4 钛合金超塑性拉伸件的试验结果可得,与 TC4 钛合金相比,00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢超塑性变形的均匀性非常好。虽然双相不锈钢的比重高于钛合金,但其超塑性变形的均匀性远高于钛合金。在相同的条件下,所使用的材料数量仅为 TC4 钛合金的 50% ~ 60%,由此可以达到减轻构件重量的目的。同时,双相不锈钢的价格远低于钛合金,为在更广泛的领域中得到应用奠定了良好的基础。

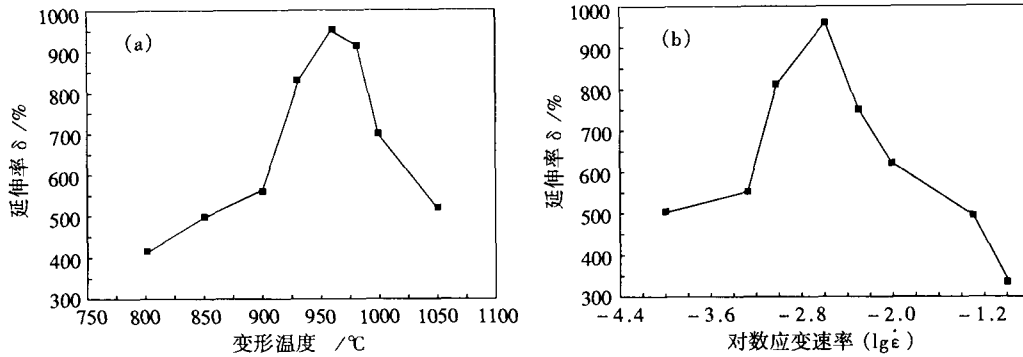


图 2 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢的延伸率随变形温度(a)和对数应变速率(b)的变化
Fig.2 Change of elongation of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo3N with deformation temperature (a) and strain rate (b)

图 3 为 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢超塑性成形试验件及沿容器边缘到底部壁厚变化情况。材料的初始晶粒尺寸为 3 ~ 5 μm;超塑性气胀成形温度为 960 °C;流变应力 35 ~ 45 MPa;超塑性成形的最佳应变速率确定为 2 × 10⁻³/s,所用材料厚度是 1.0 mm,气胀成形的气体选择 Ar。由于材料的厚度较薄,为了保证成形件的边部质量,压力曲线的选取要合适,所以在超塑气胀成形时采用的压力曲线开始阶段选为每 10 min 增加 0.15 MPa,最后阶段增大为每 10 min 增加 0.2 MPa,最终成形压力为 1.7 MPa。

从图 3 中可以看出试验件高度为 30 mm,而壁厚变化仅为 0.2 mm,即试验件的厚度沿容器边缘到底部壁厚没有出现因局部变形大而产生显著壁厚不均的现象。

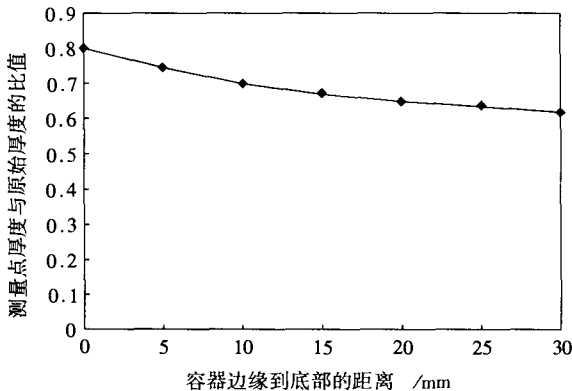


图 3 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢超塑性成形产品及壁厚变化
Fig.3 Wall thickness change of superplastic forming product of duplex stainless steel 00Cr25Ni7Mo3N

5 结论

(1) 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢的耐孔蚀性能明显优于 304L 和 316L 超低碳奥氏体不锈钢。00Cr25Ni7Mo3N 超级双相不锈钢的耐缝隙腐蚀性能与高钼奥氏体不锈钢相当。

(2) 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢的强度指标优于铁素体和奥氏体不锈钢,韧性指标虽低于奥氏体不锈钢,但高于铁素体不锈钢。

(3) 在 850 ~ 1 050 °C 的温度范围内,00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢的延伸率大于 350%。在变形温度为 960 °C、应变速率 2 × 10⁻³/s 时,该双相钢最高延伸率为 960%。

(4) 00Cr25Ni7Mo3N 双相不锈钢超塑性变形的均匀性好。在相同的条件下,所使用的材料数量仅为 TC4 钛合金的 50% ~ 60%,可以达到减轻构件重量的目的。

参考文献

- 1 Hayden H W, Brophy J H. Superplasticity in the Fe-Cr-Ni System. Trans. ASM, 1967, 60(1): 3
- 2 Kuniaki Osada, Setsuo Uekoh, Kazuo Ebato. Superplasticity of as Rolled Duplex Stainless Steel. Transactions ISIJ, 1987, 27(8): 713
- 3 Young S H, Soon H H. Microstructural Changes during Superplastic Deformation of Fe-24Cr-7Ni-3Mo-0.14N Duplex Stainless Steel. Material Science and Engineering, 1999, A266(2): 276
- 4 Sagradi D P, Medrano R E, Nazar A M. Superplastic Deformation of a Duplex Stainless Steel. Materials Science Forum, 2001, 357: 199
- 5 Kuniaki Osada. Commercial Applications of Superplastic Forming. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 68(3): 241

张 兰(1963-),女,硕士,高级工程师,北京科技大学毕业,从事冶金和材料研究。

收稿日期:2005-07-07