

浅析多晶硅还原炉尾气 Inconel 800H 锻管开裂分析

贺飞雄¹ 杨启超¹ 贺康恺²

1 内蒙古通威硅能源有限公司, 内蒙古包头, 014030;

2 内蒙古长城发电有限公司, 内蒙古鄂尔多斯, 106200;

摘要: 某多晶硅公司还原炉设备, 在运行过程中发生还原炉尾气锻管开裂事故。利用化学成分分析、力学性能检测、显微组织分析等方法对还原炉尾气锻管开裂原因进行了综合分析。结果表明: 还原炉尾气锻管开裂的主要机理为高温疲劳断裂, 即尾气锻管在还原炉内高温环境下, 循环热胀冷缩力作用下形成疲劳裂纹并扩展, 直至开裂。针对本次还原炉尾气锻管开裂原因, 提出应加强还原炉底盘水流量监测及对还原炉尾气管道安装过程和运行状态进行监督等建议。

关键词: 还原炉; 尾气锻管; 800H 锻管; 高温疲劳开裂

DOI: 10.69979/3060-8767.25.09.091

引言

某多晶硅公司还原炉设备在运行了 1953 h 后, 发生还原炉尾气管道漏水现象, 经停炉检查, 发现还原炉尾气管道开裂, 并对其焊缝母材等造成不同程度的机械损伤。该尾气管道的材质为 Incoloy 800H。

Incoloy 800H (UNS N08810, Fe-31Ni-20Cr) 是在 80 合金的基础上发展形成的固溶强化型合金, 相当于我国耐蚀合金 Ni32Cr20 型的高碳型 (NS112), 具有优异的高温蠕变性能和持久性能, 因而在 700 °C 以上温度环境中被大量选用^[1,2]。迄今为止, 国内外学者对于 800H 合金的热变形行为做了大量研究, Wang 等^[3,4]研究了变形温度 900—1050 °C 时, 800H 合金在低应变速率 (0.001—0.1 s⁻¹) 下的动态再结晶形核机制以及孪晶在动态再结晶过程中的作用; Gottstein 等^[5]利用位错加工硬化模型, 研究了 800H 合金动态再结晶临界应变的预测方法; AbdEl-Azim^[6]研究了 850 °C 时 800H 合金拉伸性能和蠕变数据之间的关系; Frommert 和 Gottstein^[7]研究了 800H 合金在稳定动态再结晶过程中的力学行为以及微观组织的变化规律。

800H 具有良好的加工性能, 可通过冷加工、热加工、焊接等多种方式进行加工。其塑性好, 易于加工成各种形状和尺寸。此外, 800H 不锈钢板还具有好的焊接性能, 可与其他材料进行良好的焊接。800H 具有优异的机械性能, 包括高强度、高韧性、高硬度等^[8]。其抗拉强度和屈服强度均较高, 能够承受较大的载荷。同时, 具有良好的耐磨性和耐疲劳性能, 能够在恶劣的工作环境

下长时间保持稳定的性能^[9]。

800H 不锈钢被广泛应用于炼油设备、反应器、热交换器、管道等关键部件的制造。其高温性能和耐腐蚀性能够满足石油化工行业对材料的高要求。

为了查清该还原炉尾气锻管开裂原因, 对开裂锻管进行综合性试验分析。

1 还原炉尾气锻管情况

1.1 还原炉尾气锻管裂纹

还原炉尾气锻管长期在 (还原炉内温度 950 °C—1050 °C) 下运行, 同时每隔 80 小时左右还原炉尾气锻管表面温度就会降到 50 °C (还原炉生产产品需求)。

还原炉设备在运行了 1953 h 后, 发生尾气管道漏水现象, 经停炉检查, 发现还原炉尾气锻管, 靠大法兰外侧 10 点钟方向, 出现纵向裂纹。裂纹长 17.05 mm, 宽度 1 mm。裂纹处出现渗水现象。(见图 1.1 原炉尾气管道开裂图)



图 1.1 原炉尾气管道开裂

1.2 底盘水管道流量

对还原尾气锻管开裂前冷却水流量进行检查, 实际流量 $45 \sim 65 \text{ m}^3/\text{H}$, 实际流量平均值为 $37.981 \text{ m}^3/\text{H}$, 绿色曲线为实际流量值。调节阀实际开度值 $79\% \sim 92\%$, 调节

阀实际开度平均值 39.269% , 蓝色曲线调节阀实际开度值 (如图 1.2 尾气锻管冷却水管道流量图), 黄色曲线设定流量值, 设定平均值 $40 \sim 63 \text{ m}^3/\text{H}$, 设定平均值 $25.470 \text{ m}^3/\text{H}$ 。

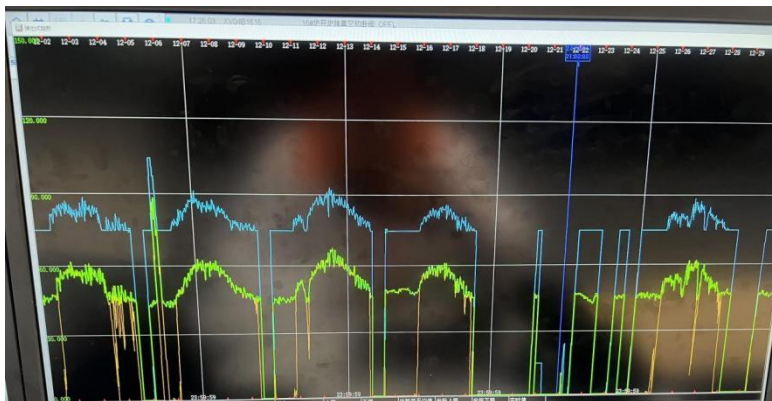


图 1.2 还原炉尾气锻管冷却水管道流量

2 试验结果

2.1 化学成分分析

在还原炉尾气锻管端口截面位置处进行取样, 采用 VANTA-VEL 型式直读光谱仪对其化学成分进行分析。

表 2.1 为尾气锻管的化学成分分析结果。可以看出, 尾气锻管化学成分中各元素含量符合 ASTM 规定的范围内要求 (表 2.1 尾气锻管各元素质量分数化学分析结果)。

对 Inconel 800H 的元素控制要求。

表 2.1 尾气锻管各元素质量分数化学分析结果 %

-	铬	镍	锰	硅	铝	钛	碳	铜	磷	硫	铁
检测值	19.41	30.76	1.17	0.37	0.4	0.45	0.08	0.451	0.035	0.014	46.86
标准值	19.0-23.0	30.0-35.0	1.5	1.0	0.6	0.15-0.6	0.06-0.1	0.75	0.045	0.015	余量

2.2 金相检验

金相检验包括显微组织奥氏体分布及面积含量等。试样截取位置位于端口位置处, 检测仪器采用现场金相显微镜显微镜 2112XW04。尾气锻管近端口截面的显微组

织见图 2.1, 组织为奥氏体加沿晶碳化物。按照 GB/T 13298-2015 标准要求, Incoloy 800H 用作尾气锻管材料时, 实测结果显示奥氏体加沿晶碳化物, 评定老化级别为 3.5 级^[10] (如图 2.1 开裂锻管基体显微组织图)。

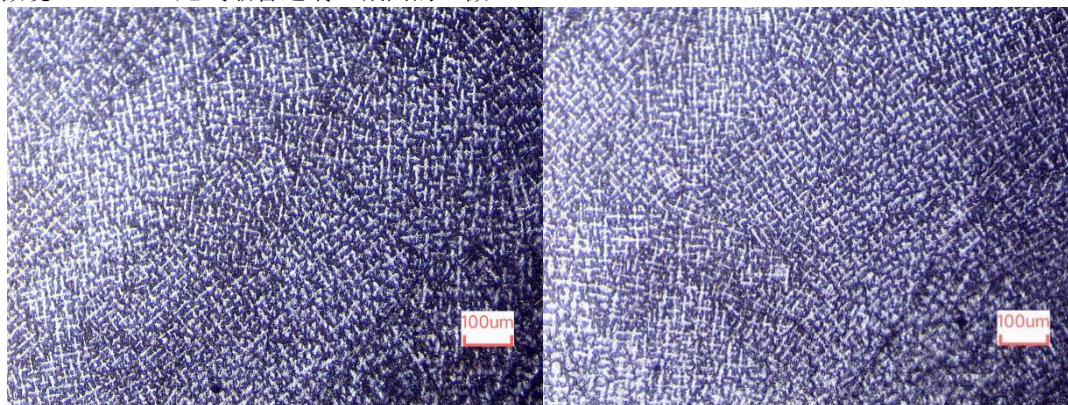


图 2.1 开裂锻管基体显微组织

2.3 力学性能检测

力学性能试验主要为室温硬度检测试验, 在便携式笔式里氏硬度 (计仪器型号-LKHL-01) 上进行, 试验温

度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对开裂尾气管道端口上进行硬度检测试验。尾气锻管端口整个截面的硬度为 $140 \sim 142\text{ HB}$, 而标准要求 Incoloy 800H 合金钢 $1120 \sim 1220\text{ }^{\circ}\text{C}$ 固溶处理、 980

~1038℃退火缓冷及以优化晶粒尺寸和力学性能后的硬度应为 192HB，现场硬度检测平均里氏硬度值为 400.6 HL。换算布氏硬度值 142 HB^[11]（见表 2.3 里氏硬度检验

检测）。显然，尾气锻管端口的硬度过低于标准值-50HB。

表 2.3 里氏硬度检验检测

序号 冲击方向	实测值（里氏硬度）					平均值	换算布氏硬度值
	1	2	3	4	5		HBW
垂直向下	406	403	398	396	400	400.6	142

2.4 还原尾气锻管冷却水分析

还原尾气锻管冷却水质标准值为：氯离子 0mg/L、PH 值 7—9、电导<10.00us/cm、浊度 <20.00NTU、铁离子≤0.15mg/L。对还原尾气锻管冷却水质进行 15 次

分析化验平均值为，氯离子 0mg/L、PH 值 7.91、电导<3.03us/cm、浊度 <6.82NTU、铁离子≤0.05mg/L。符合还原尾气锻管冷却水质标准值（见表 2.4 还原尾气锻管冷却水质报告）。

表 2.4 还原尾气锻管冷却水质报告

标准值 序号	氯离子 mg/L	PH 值 7—9	电导 us/cm<10.00	浊度 NTU<20.00	铁离子 mg/L≤0.15
1	0	7.42	2.72	6.14	0.06
2	0	8.21	2.84	8.87	0.05
3	0	7.6	2.04	16.5	0.04
4	0	7.92	3.31	14	0.12
5	0	8.14	6.62	12.25	0.07
6	0	8.66	2.63	5.87	0.08
7	0	7.68	1.34	7.16	0.04
8	0	8.32	3.96	1.87	0.01
9	0	8.1	3.15	1.91	0.03
10	0	7.26	1.21	8.06	0.06
11	0	7.26	1.21	8.06	0.06
12	0	8.56	1.66	2.8	0.02
13	0	8.21	0.77	2.32	0.02
14	0	7.58	4.8	3.43	0.02
15	0	7.78	7.21	3.19	0.04
平均值	0	7.91	3.03	6.82	0.05

3 讨论分析

3.1 材质及力学性能分析

从化学成分分析结果看，尾气锻管化学成分中各元素质量分数均在标准要求范围内，不存在材质异常的情况。据金相检验分析，尾气锻管的组织为奥氏体加沿晶碳化物，组织老化级别为 3.5 级；由硬度检测试验可知，还原炉尾气锻管硬度偏低，可能是长期高温导致的。从力学性能角度分析，还原炉尾气锻管硬度偏低组织老化势必会造成其冲击韧性变差，进而造成还原炉尾气锻管运行过程中抵裂的能力降低。

3.2 尾气锻管开裂原因分析

还原炉尾气锻管材料长期在高温、腐蚀性或氧化性环境中服役，可能造成软化或表面劣化，导致硬度降低。在循环载荷和腐蚀介质的长期作用下，还原炉尾气锻管没有有效的冷却，在还原炉尾气锻管口应力集中的位置，产生热裂纹，在循环应力和腐蚀介质的共同作用下逐渐发展成线性裂纹源，裂纹源在还原炉多次启停 的循环载荷作用下在原炉尾气锻管口扩展，最终导致原炉尾气锻管口发生开裂。

4 结论及建议

综合以上分析，还原炉尾气锻管开裂主要机理为源自锻管口周围高温产生热裂纹，硬度值偏低在一定程度上降低了锻管材料强度，影响锻管抵抗频繁起停炉高温

热循环引起应力的能力,降低了材料的疲劳寿命,加速了锻管的断裂过程。

为了解决这一问题,把原冷却水管道进水口改为出水口。把原冷却水管道出水口改为进水口。

同时进行水流量调整大冷却水流量,绿色曲线为实际流量值(如图 4.1),实际流量 $65\sim 105\text{m}^3/\text{H}$,实际流量平均值为 $75.264\text{m}^3/\text{H}$ 。蓝色曲线为调节阀实际开度值

(如图 4.1),调节阀实际开度值 $40\%\sim 100\%$,调节阀实际开度平均值 49.713% 。黄色曲线为设定流量值,设定平均值 $60\sim 118\text{m}^3/\text{H}$,设定平均值 $62.696\text{m}^3/\text{H}$ (如图 4.1 还原炉尾气锻管冷却水管道调整后流量图)。保证还原炉尾气锻管内部冷却水充足,达到充分冷却的效果。从而解决了还原炉尾气锻管开裂的问题。



图 4.1 还原炉尾气锻管冷却水管道调整后流量

参考文献

- [1]Tan L, Rakotojaona L, Allen T R, Nanstad R K, Busby J T. Mater Sci Eng,2011; A528:2755
- [2]Br ünger E,Wang X, Gottstein G. Scr Mater,1998; 38: 1843 .
- [3]Wang X, Br ünger E, Gottstein G. Mater Sci Eng, 2000; A290:180 .
- [4]Wang X,Bringer E, Gottstein G. ScrMater,2002;46: 875.
- [5]Gottstein G, Frommert M, Goerdeler M,Schäfer N.Mater Sci Eng, 2004; A387-389:604 .
- [6]Abd El-Azim M E. J Nucl Mater,1996; 231:146.
- [7]Frommert M, Gottstein G. Mater Sci Eng, 2009; A506: 101 .
- [8]Sun C Y,Liu J R,Li R,Zhang Q D. Acta Metall Sin, 2011;47:191(孙朝阳, 刘金榕, 李瑞, 张清东. 金属学报, 2011;47:191).

[9]张忠政, 巩建鸣, 涂善东服役炉管材料 Incoloy 800H 高温断裂韧性研究[J].《炼油技术与工程》2006 年第 10 期 34-36 共 3 页.

[10]全国钢标准化技术委员会.GB/T 13298-2015 金属显微组织检验方法[S].北京:中国标准出版社, 2015.

[11]全国钢标准化技术委员会.GB/T 17394.1-2014 金属材料里氏硬度试验第 1 部分:试验方法[S].北京:中国标准出版社, 2014.

作者简介:贺飞雄(1974.10-),男,单位:内蒙古通威硅能源有限公司,长春工程学院,本科,高级工程师,高级技师。

内蒙古通威硅能源有限公司设备部资深工程师,内蒙古包头市高技能人才,内蒙古电力行业协会专家,主要从事热力管道支吊架优化调整、管道振动分析与控制、管道状态监测、金属材料与焊接、特大型设备安装等研究。