

药芯焊丝熔覆焊缝伸长率下降原因分析

吴敏敏¹, 陆传航¹, 程晋宜¹, 王林昌¹, 王曼曼²

1. 海洋石油工程(青岛)有限公司 山东青岛 266520

2. 青岛海西重机有限责任公司 山东青岛 266520

摘要: 针对焊接工艺开发中出现的某药芯焊丝熔覆的焊接接头全尺寸拉伸试验中持续出现的伸长率下降现象, 对断口进行了扫描电子显微镜观察、化学成分分析、微观组织及断口维氏硬度测定。试验结果显示, 断口出现鱼眼白点现象, 推断为非金属介质聚集扩散氢引起的局部氢脆, 后续通过提升预热及层间温度、消氢等措施, 使得伸长率满足了设计要求。

关键词: 药芯焊丝; 伸长率; 下降; 鱼眼白点

1 序言

药芯焊丝对于钢种的焊接适应性强, 可以提供所需要的焊缝化学成分。工艺性能较好, 焊缝成形良好, 施工效率高, 目前在海洋工程行业内的应用较为广泛。

在某外方项目的焊接工艺开发过程中, 按照设计规格书要求需对熔覆的对接接头进行全焊缝拉伸试验。某常用药芯焊丝在单面焊焊接试验中连续出现了试样伸长率不满足设计要求的现象。

本文通过对拉伸试验中失败的断裂试棒进行化学成分、硬度等测试, 分析了导致伸长率失败的原因, 并提出了切实可行的改善措施。

2 试验材料及方法

2.1 试验材料

试验材料来自正常焊接试验件, 母材制造标准为BS EN 10225 S355G7+N, 试块尺寸为1000mm×600mm×40mm, 强度符合标准设计要求。试件坡口为单边45°, 焊接材料选用等级为E7018-G进行打底焊, 填充及盖面焊材等级为E81T1-K2M的某气体保护焊药芯焊丝, 保护气为符合AWS A5.32 SG-AC-20的Ar与CO₂混合气。母材及焊材具体化学成分及力学性能见表1、表2。

焊接过程采取的预热温度为50℃, 控制层间温度为70~80℃, 具体焊接参数见表3。

表1 母材及焊材化学成分(质量分数) (%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	As	B ^①	Bi
母材	0.071	0.243	1.471	0.008	0.002	0.020	0.451	0.006	2	0
E7018-G	0.06	0.28	1.17	0.009	0.005	0.030	0.030	0	2	0
E81T1-K2M	0.06	0.30	1.41	0.007	0.006	0.020	0.920	0	4	0
元素	Ca ^①	Cu	Mo	N ^①	Nb	Pb	Sb	Sn	Ti	V
母材	9	0.143	0.012	32	0.010	0	0	0.001	0.012	0.003
E7018-G	0	0.037	0.020	0	0.002	0	0.030	0	0.006	0.004
E81T1-K2M	0	0	0.010	0	N/A	0	0	0	0.004	0.010

① 该元素单位为体积分数。

表2 母材及焊材力学性能

材料	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	冲击吸收能量(-40℃)/J
母材	453	532	32	300~400
E7018-G	525	598	30	70~80
E81T1-K2M	525	592	29	120~160

表3 焊接参数

焊道	焊材	直径/mm	焊接电流/A	电源极性	气体流量/L·min ⁻¹	电弧电压/V	焊接速度/mm·min ⁻¹	热输入/kJ·mm ⁻¹
打底	E7018-G	3.2	85	DC+	20~25	20	40~60	1.8
填充、盖面	E81T1-K2M	1.2	160	DC+	20~25	25	150~300	1.5~2.1

焊接完成后对焊接试件进行了外观、内外壁的磁粉检测以及RT检测。

无损检测并未在焊缝中发现超标缺陷，因此试件合格。同时，按照规格书要求，针对试件制作了宏观检测试样（见图1），宏观检测也未发现任何肉眼可见的缺陷。

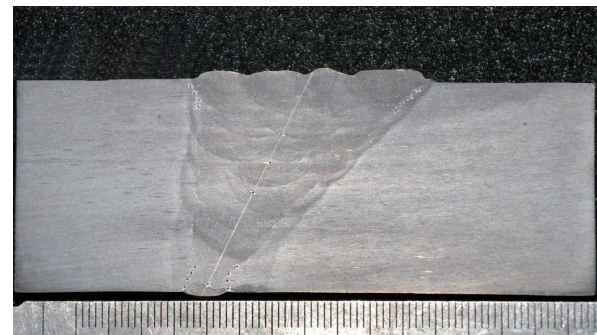


图1 宏观检测试样

按照表1的参数焊接完成后，加工出符合ASTM A370标准的圆棒试样（见图2）。拉伸试件取自靠近上表面的区域，同时对焊缝中心加工夏比冲击试样，两组试件中心位置基本一致，拉伸试验结果见表4。

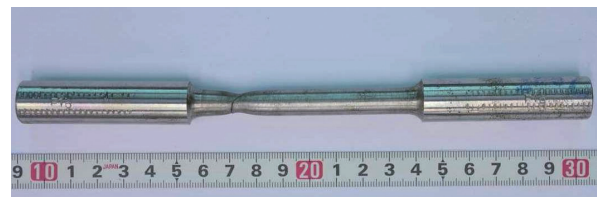


图2 标准拉伸试样

表4 拉伸试验结果

焊接区域	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	冲击吸收能量(-40℃)/J
标准	≥470	550~690	≥21	≥40
测试	617	660	15	128、142、122

从测试结果可以发现，焊缝强度及低温冲击吸收能量均满足标准要求，但焊缝的伸长率较低，完全不满足技术要求。以往拉伸测试失败更多的表现为抗拉强度不符合要求，而出现强度符合要求但伸

长率不符合技术要求的情况较为少见。

2.2 试验方法

为分析伸长率不合格的原因，针对拉伸试样开展了扫描电子显微镜观察，同时对断口区域进行了成分分析，判断是否有成分偏析等原因。同时对断口进行了维氏硬度检测，对断口取样后进行微观组织观察，确认有无异常组织。

3 检测结果

3.1 扫描电子显微镜观察

通过扫描可以发现断口区域出现两处较为明显的、发亮的瓷白色椭圆或近似圆形的凹坑，周围呈灰暗色纤维状，白色区域心部有个明显的小黑点，此区域是典型的鱼眼白点。

从鱼眼白点的全貌可以看出，鱼眼周围区域呈现准解理段断裂形貌。

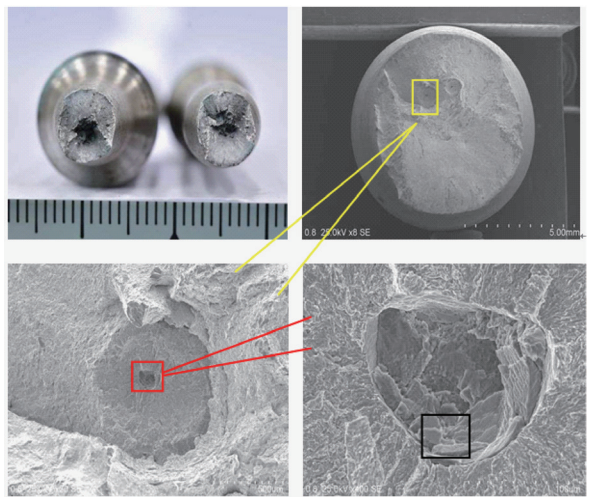


图3 扫描电子显微镜扫描结果

为分析鱼眼内部白点核颗粒状的组织成分是否为夹杂物，对图中标记区域进行了EDX半定量分析，根据测试结果（见表5）可以推断，夹杂物为粗大的非金属Ti-Mn系氧化物。

根据以往研究，鱼眼白点是在拉伸试样颈缩至断裂之间出现的，对于测试试样的抗拉强度和屈服强度并没有多大的影响，但降低了材料的伸长率。

这可以解释表4中出现的仅伸长率不合格而其他抗拉性能并未受到影响的现象。

表5 半定量分析结果 (质量分数) (%)

检出元素	半定量分析结果
Ti	48
Mn	8
O	28
其他	16

鱼眼白点并非是材料的固有缺陷^[1],而是拉伸试样中局部的脆断区域,通常认为白点是氢脆的表现形式之一。白点内存在的夹杂物对于氢的富集有显著作用,因此解决白点的问题可以从降低氢的产生和聚集方面考虑改善措施。

3.2 微观组织观察

焊接过程形成的不平衡组织对于氢脆较为敏感,因此需对断口区域采集试样进行微观组织观察。图4中微观组织显示,焊缝断口组织无论是再热区域的细晶或者粗晶区域均以针尖状的铁素体为主,并未出现魏氏体组织。

由于白点范围极小,在贴近此区域进行金相磨面难度较高,因此图4中区域仅反应的是焊缝内非白点区域的组织。而根据以往研究,贴近白点的区域极容易出现魏氏体组织^[1]。

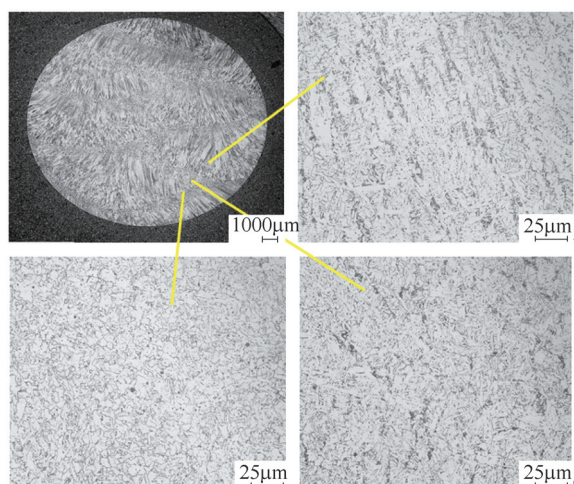


图4 断口微观组织

3.3 维氏硬度分析

针对断口取样进行维氏硬度检测,结果见表6。由表6可知,断口的硬度分布较为均匀,并未出现任何硬度超标数值。

表6 硬度检测结果 (HV10)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	均值
228	209	209	206	210	206	202	219	222	224	214

3.4 熔覆化学成分分析

化学成分的改变将影响接头的各项性能,特别是当保护效果不良时,将造成有益元素的烧损,不利于保证接头的力学性能。表7为对断口取样进行的化学成分分析结果,从中可以看出断裂接头并不存在异常,并且N含量极低,因此可以推断焊接过程中药芯焊丝的保护气对于熔池的保护效果较好。

表7 断口处化学成分 (质量分数) (%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Ni
标准	≤0.10	0.3~0.9	1.0~1.6	0.02	0.02	0.3~0.7
测试	0.07	0.32	1.16	0.006	0.005	1.32

元素	Cr	Mo	Ti ^①	V	B ^①	N ^①
标准	N/A	N/A	50~350	N/A	N/A	N/A
测试	0.03	0.01	70	0.02	35	30

① 该元素单位为体积分数。

3.5 小结

通过上述的所有测试可以推断,拉伸试样断口存在鱼眼白点现象,且熔敷金属组织及化学成分未见异常。由此判断,以粗大的非金属夹杂物为中心,聚集了扩散氢,并且由此引发局部氢脆从而导致伸长率降低。

4 解决措施

焊缝熔敷金属中的氢主要来源于焊接原材料中的水和其他含氢物质。原材料中的水在高温以及电弧作用下很容易分解生成氢原子或氢离子等进入熔敷金属。

同时,焊接施工过程中周围环境的水分、油脂、油漆等含氢化合物、基体表面的锈层等构成焊缝中扩散氢的另一类来源。这部分物质生成的氢会被液相金属表面吸附后溶入金属,或经过熔渣层以扩散形式溶入液态金属中^[2]。

在施工中,可以通过以下措施减少氢的来源和脱氢:①在试件两侧25mm内进行打磨处理,吹扫飞溅。②提高预热温度至65℃以上,层间温度维持在110~200℃,并持续进行监控。③焊丝开封后应在8h内使用完毕。④采取后热消氢处理。

(下转第62页)

验过程、试验条件与第一次相同。试验后，对④和⑤试验材料进行切检，试验结果见表5，金相组织如图6、图7所示。

表5 试验结果

序号	无损检测结果	由心部至表面硬度及组织比例
④	无裂纹	55~60HRC，心部为马氏体和少量屈氏体，表面为全马氏体
⑤	无裂纹	48~56HRC，心部为马氏体和少量屈氏体，表面为全马氏体

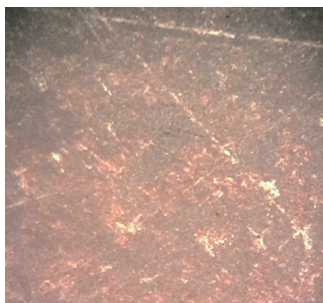


图6 55Si2Mn钢心部组织：马氏体+少量屈氏体（500×）



图7 45钢拨叉心部组织：马氏体+少量屈氏体（500×）

第二次试验的主要目的是验证55Si2Mn钢和45钢两种材料，用“和兴HX-2000无机水基淬火剂

（上接第59页）

按照上述措施处理后，重新采用相同的焊接参数完成相应的焊评试件焊接，并再次进行拉伸试验测试。测试结果显示，圆棒试样伸长率提升至标准规定的21%以上，未再出现任何低于标准的测试数据，改善效果显著。

5 结束语

本文通过对拉伸试验失败试样进行扫描电子显微镜扫描，对化学成分、微观组织等进行观察分析，得出了拉伸试验伸长率大幅降低的原因。同时，针对产生原因，提出了改进措施，结论如下。

1) 药芯焊丝熔覆金属拉伸试验中出现的强度符

质”淬火后是否会出现裂纹，结果显示无裂纹。

试验小结：通过两次试验表明，“和兴HX-2000无机水基淬火介质”可以满足直径60mm以下的40Cr钢和42CrMo钢对硬度及金相组织要求，也可用于55Si2Mn钢和45钢的调质处理。在整个试验过程中，无油烟产生，淬火后淬火介质呈透明色，无明显宏观变化，无异味，满足环保要求。

4 实际应用

基于试验结果，我公司于2018年6月将“和兴HX-2000无机水基淬火介质”投入实际生产，至今，已使用此淬火剂生产大量零件，生产材料包含45钢、40Cr、42CrMo、35CrMo等中碳钢，也有55Si2Mn、60Si2Mn等弹簧钢，其中最大尺寸为直径65mm的42CrMo钢棒料，经切检，硬度以及金相组织均满足工艺要求。在使用过程中，几乎无油烟产生，且在日常维护方面，只向淬火液中添加过5次纯净水，达到规定比例（原料：水=1：2）即可。

5 结束语

“和兴HX-2000无机水基淬火介质”相比传统有机淬火剂，配比单一，易保存和维护，不易变质，同一种浓度适用于多种材料，且淬火质量高；在长期的使用过程中，产生的油烟量极少，符合可持续发展的要求，对企业的发展具有重要意义。

参考文献：

- [1] 中国机械工程学会热处理分会.热处理手册[M].3版.北京：机械工业出版社，2012：122-127.

MW 20201107

合要求，但伸长率大幅下降的原因在于拉伸过程中出现的鱼眼白点。

2) 鱼眼白点本质上是局部的氢脆，白点区域存在Ti-Mn系氧化物。

3) 通过减少氢的来源和脱氢措施，可以有效避免此类问题的产生。

参考文献：

- [1] 吴文炳，王国琦，沈忠兴.鱼眼白点的形成机制[C].北京：中国机械工程学会材料学会，1986.
- [2] 孔祥峰，邹妍，张婧，等.焊缝金属中扩散氢的形成及控制研究进展[J].钢铁，2015，50（10）：77-84.

MW 20201116