



堆焊工艺对15CrMoR堆焊层组织和性能的影响

谢江黎

【摘要】 15CrMoR是压力容器常用钢种，以15CrMoR作为基材堆焊奥氏体不锈钢在实际生产中有时会出现晶间腐蚀试验不合格现象。本文以焊接电流为变量，通过堆焊试验研究焊接工艺参数对15CrMoR堆焊层组织和性能的影响，最后得出符合标准要求的最佳焊接参数。

关键词： 15CrMoR；奥氏体不锈钢；手工电弧堆焊；组织；性能

Cr-Mo钢属于低合金耐热钢，是目前使用最为广泛的热强钢和中温抗氢钢，奥氏体不锈钢作为高合金钢则具有良好的高温性能和耐腐蚀性能。15CrMoR+奥氏体不锈钢复合钢板由于兼具上述两者性能，因而被广泛用于石油化工、煤化工等领域。

在实际生产中，15CrMoR基层钢板堆焊奥氏体不锈钢的焊接评定试样有时出现晶间腐蚀试验不合格现象，这影响了产品制造质量及生产进度。造成试样不合格的原因较多，如焊材问题、焊接参数过大或者焊工违规操作等。本文以堆焊面层焊接工艺参数作为变量，对15CrMoR+06Cr19Ni10复合钢板的焊条电弧焊堆焊进行分析，以期找出一组合理、有效和符合实际生产要求的堆焊工艺参数。

1. 焊接试验

(1) 试验材料 以

15CrMoR+06Cr19Ni10复合板容器为例进行堆焊试验，堆焊基材选用20mm厚15CrMoR钢板，试板尺寸为250mm×200mm×20mm，4件。堆焊过渡层焊材为A302焊条，面层焊材为A102焊条，过渡层及面层焊条直径均为4mm。

(2) 焊接参数 过渡层堆焊工艺参数如表1所示，面层按表2所示参数进行堆焊。

在堆焊试验过程中，过渡层堆焊须预热 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ，过渡层堆焊一层，面层堆焊两层，每层堆10道。堆焊层宽度 $\geq 100\text{mm}$ ，堆焊厚度 $\geq 6\text{mm}$ 。堆焊过程如图1所示。

堆焊完毕后对试板堆焊层进行100%PT检测，符合NB/T47013—2005 I级要求。

检测合格后对试板进行 $(580 \pm 20)^{\circ}\text{C}$ 保温2h的消除应

表1 过渡层焊条A302堆焊参数

焊接电流/A	电弧电压/V	堆焊速度/ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	预热温度/ $^{\circ}\text{C}$
120~160	22~26	130~150	≥ 150

表2 面层焊条A102堆焊参数

编号	堆焊电流/A	电弧电压/V	堆焊速度/ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$
1	130	22~26	130~150
2	130 ± 10		
3	140		
4	150		
5	160		
6	170		
7	180		
8	190		
	200		

力热处理。试板热处理后每件取堆焊层晶间腐蚀试样4件，金相试样1件。

2. 试验结果

(1) 晶间腐蚀试验 本试验采用硫酸-硫酸铜-铜屑法，试样经16h的硫酸-硫酸铜溶液腐蚀后，进行弯曲试验，试验结果如表3、图2、图3所示。

图2为不同堆焊电流下堆焊层晶间腐蚀后弯曲的外观形貌，由图可知在堆焊电流200A时，堆焊层晶间腐蚀后弯曲产生裂纹。其余7组工艺条件下的试样弯曲至180°后均未出现裂纹，堆焊层耐晶间腐蚀性良好。图3为堆焊电流200A时堆焊层晶间腐蚀断裂的宏观断口形貌，弯曲试样断口呈暗灰色无金属色泽的沿晶断裂，在腐蚀后试样敲击没有金属质感。

对上述晶间腐蚀试验进行分析：在堆焊试验过程中，先堆焊过渡层一层、再堆焊面堆两层，每层堆10道，当堆焊电流为200A时，堆焊热输入过大造成堆焊层金属在450~850℃敏化温度区间停留时间过长， $Cr_{23}C_6$ 容易在奥氏体晶界处析出。根据贫铬理论可知在敏化温度范围内，C元素迅速扩散到晶界与Cr形成富含铬元素的碳化物 $Cr_{23}C_6$ 并在奥氏体晶界析出，靠近晶界的Cr元素被消耗，且形成的铬的碳化物在敏化温度内很难分解。由于Cr元素相对C元素更难扩散，所以晶界被消耗的Cr元素得不到有效的补充使得晶界处Cr含量低于12%形成贫铬区，从而最终降低了堆焊层金属的耐蚀性。当金属材料处在腐蚀介质环境中，贫铬区相

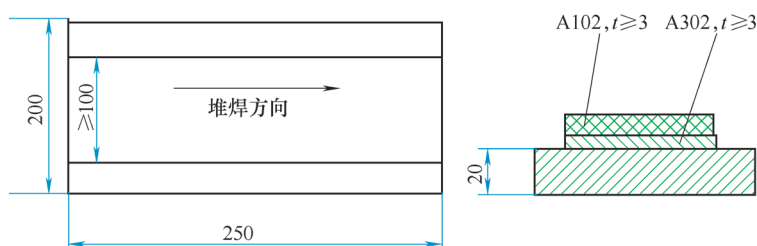
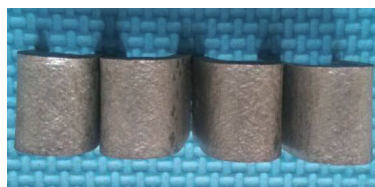


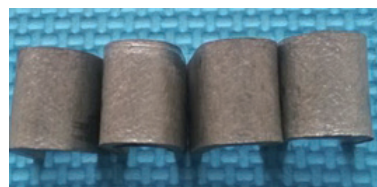
图1 堆焊过程

表3 试样晶间腐蚀弯曲试验

试样编号	工艺参数/A	弯曲类型	弯曲角度 (°)	试验结果
1	130 130±10	面弯	180	无裂纹
2	140	面弯	180	无裂纹
3	150	面弯	180	无裂纹
4	160	面弯	180	无裂纹
5	170	面弯	180	无裂纹
6	180	面弯	180	无裂纹
7	190	面弯	180	无裂纹
8	200	面弯	≤180	有裂纹



(a) 堆焊电流130A



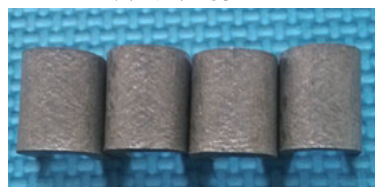
(b) 堆焊电流140A



(c) 堆焊电流150A



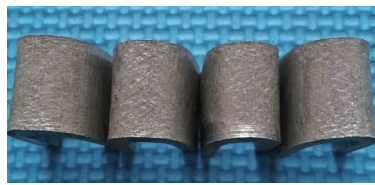
(d) 堆焊电流160A



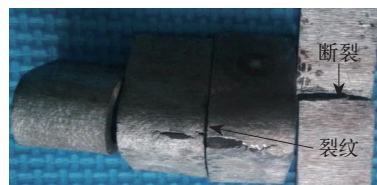
(e) 堆焊电流170A



(f) 堆焊电流180A



(g) 堆焊电流190A



(h) 堆焊电流200A

图2 不同堆焊电流堆焊层晶间腐蚀



图3 晶间腐蚀弯曲断面形貌

对晶粒其他部分在腐蚀过程中作为阳极，导致晶间腐蚀。故得出在大电流作用下不锈钢的抗腐蚀性能力下降，在腐蚀后弯曲出现断裂。通常热输入越大，则敏化区越宽，堆焊层金属在敏化区停留的时间也越久，就更容易出现晶间腐蚀。由于前7组热输入未达到使堆焊层产生晶间腐蚀的条件，因而在腐蚀后弯曲没有出现裂纹现象。

(2) 金相结果与分析 图4、图5分别为堆焊电流为200A时，堆焊层母材和热影响区部分在500倍显微镜下观察到的微观组织。从图4、图5可以看出，母材热影响区组织为粒状贝氏体+粒状铁素体，相对母材晶粒有明显的长大趋势。母材原始组织为细珠光体+铁素体。图6是不同堆焊电流条件下，堆焊层组织碳化物析出程度。从图中可以看出，

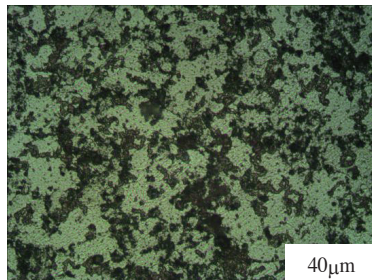


图4 母材组织



图5 母材HAZ区组织

随着电流的增大，碳化物析出的量也越多，碳不断向堆焊层迁移与强碳化物Cr形成 $Cr_{23}C_6$ 。在大的热输入条件下堆焊层金属长时间处在敏化温度区间，碳化物在这一温度区间析出的量也越多，且碳化物在这个温度区间很难分解，使得堆焊层部分区域Cr含量低于12%，进而使其晶间腐蚀性能下降。

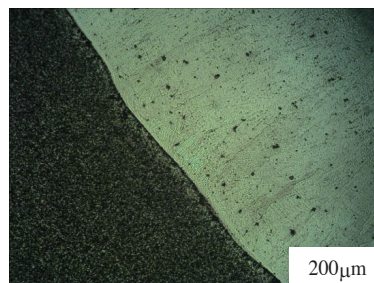
3. 结语

15CrMoR堆焊06Cr19Ni10奥氏体不锈钢耐蚀层，通过晶间腐蚀试验及金相分析，得出以下结论。

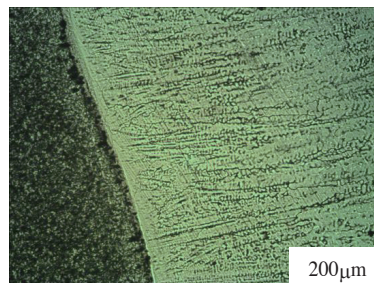
(1) 堆焊电流越大，堆焊层Cr的碳化物越多，贫Cr越严重，从而导致晶间腐蚀性能下降。本试验中，当堆焊电流达到为200A时，堆焊层金属出现晶间腐蚀现象。

(2) 综合堆焊生产效率及

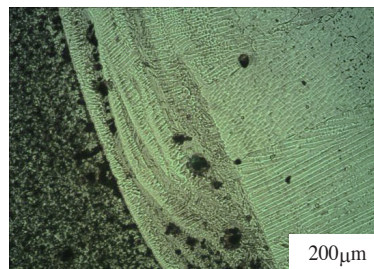
堆焊质量，对于 $\phi 4mm$ 不锈钢焊条，本试验确定最佳的堆焊工艺参数为母材预热 $150^{\circ}C$ ，堆焊电流190A，堆焊电压22~26V，堆焊速度每分钟130~150 mm。



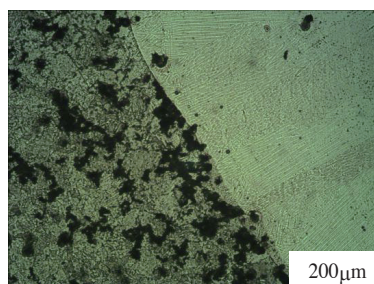
(a) 堆焊电流130A



(b) 堆焊电流150A



(c) 堆焊电流170A



(d) 堆焊电流200A

图6 不同堆焊电流条件下碳化物析出

作者简介：谢江葵，江联重工集团股份有限公司。

MW 20170818