浅谈EH36船板堆焊Inconel625

张家港长力机械有限公司 （江苏 215621） 茅裕芳

2010年我公司承接APL公司一批船用拉伸主液压缸，其缸体如图1所示，材质为EH36锻件。因该液压缸用于海上油轮，且该液压缸的$SR300mm^2$球面与拉伸主液压缸支座之间有相对支撑运动。故需在$SR300mm^2$球面上堆焊5mm厚的Inconel625耐腐蚀、耐磨层，以增强其耐腐蚀、耐磨性。

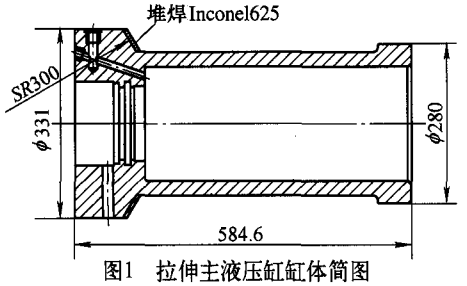


图1 拉伸主液压缸缸体简图

1. 焊接性分析

在EH36锻件上堆焊Inconel625耐腐蚀、耐磨层属我公司首次碰到，无任何经验可以借鉴。EH36属于船用高强度钢板，具有优良的低温冲击韧性，较高的强度、良好的耐腐蚀性能及较好的焊接性。堆焊时若堆焊焊材不变，其堆焊层的化学成分及性能主要取决于堆焊层材料的稀释率。而焊条电弧焊堆焊稀释率主要由焊接电源极性、焊接电流、焊条直径、焊道间距、焊接位置及焊条摆动等因素决定。

（1）电源极性 使用直流弧焊机时，采用直流反接极性（焊条接正极），焊接时电子从负极（工件）发射到正极（焊条），这样工件上所得到的热量小于焊条上所得到的热量，焊缝熔深较浅，稀释率也较小；反之，直流正接焊缝稀释率则较大。

（2）焊接电流 焊接电流增大，则电弧电弧增粗增强，熔深加大，从而导致熔化更多的母材，因此稀释率增大；反之，稀释率则减小。

（3）焊条直径 焊条直径越小，所需的焊接电流越小，则熔化的母材越少，稀释率也越小；反之，稀释率则增大。

（4）焊道间距 焊道间距减少，则焊道间搭接量增大，焊接时熔化的母材就减少，稀释率减小；反之，稀释率则增大。

（5）焊接位置 下坡焊熔池受重力作用流动方向与焊接方向一致，熔深较浅，稀释率较小；反之，上坡焊熔池受重力作用流动方向与焊接方向相反，熔深较深，稀释率较大。

（6）焊条摆动 堆焊时，单道较窄的线状焊道稀释率最大，焊条进行适当的摆动有利于减小稀

完的辊子来看，辊子外圆尺寸有锥度，外圆和内孔的同轴度也未达到图样要求。

对于以上问题，我们选用多种推荐用不锈钢加工新牌号硬质合金刀片如813、758、767、YM051、YM052、YM10、YS2T等，发现大多数车刀加工高硬度不锈钢时刀尖磨损严重，前刀面产生月牙洼，切削刃有微小的剥落和缺口、发红，易崩碎，且需反复磨刀，不能很好地满足加工要求。通过反复试验，最后粗车选用YG8刀片，精车选用726刀片，并微调加工工艺，落料时留工艺夹头，外圆、内孔一刀落。

通过以上方法，很好地解决了高硬度堆焊辊的堆焊、加工问题。交付钢厂使用后，明显提高了过钢量。MW （20111101）

释率。采用恒速直线摆动堆焊，电弧仅作水平轨迹的直线运动，且摆动至两侧不作停留，因而稀释率较小。

综上所述，焊条电弧焊堆焊时应尽量采用直流反接、小焊接电流、小焊条直径、小焊道间距、5°～10°下坡焊、两侧不作停留的恒速直线摆动进行焊接，以取得较好的堆焊层化学成分及性能。我公司在实际堆焊生产中取得满意的堆焊效果，对EH36的Inconel625耐腐蚀、耐磨层堆焊进行了焊接性试验和焊接工艺评定。用于焊接性试验和焊接工艺评定的材料是我公司采购舞阳钢铁有限责任公司30mm厚的EH36船板，其化学成分如表1所示，力学性能如表2所示。碳当量Ceq=0.506%＞0.4%，由此可见该材料具有较大的淬硬倾向。

表1 EH36船板化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
0.17	0.43	1.47	0.014	0.004	0.18	0.019
Mo	Ti	Cu	Nb	Ni	V	–
0.006	0.013	0.27	0.04	0.34	0.067	–

表2 EH36船板力学性能

屈服强度R_{eL} /MPa	抗拉强度R_m /MPa	伸长率A (%)	冲击吸收能量A_{KV} (－40℃)
365	550	27	317、283、310

2. 焊材的选择

拉伸主液压缸图样要求在缸体$SR300mm^2$球面上堆焊5mm厚的Inconel625耐腐蚀、耐磨层，经反复考虑产品质量及生产成本（美国林肯、瑞典伊萨的进口焊条太贵），公司最终决定采用符合AWS A5.11标准安泰科技股份有限公司生产的AT－Ni625，即ENiCrMo－3，ϕ3.2mm的焊条，其化学成分如表3所示。

表3 ENiCrMo－3焊条化学成分（质量分数） (%)

项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb+Ta	Cu	其他
实测值	0.045	0.57	0.51	0.003	0.009	61.54	21.1	8.12	4.27	3.66	0.08	0.09
标准值	≤0.10	≤1.0	≤0.75	≤0.02	≤0.03	≥55.0	20.0～23.0	8.0～10.0	≤7.0	3.15～4.15	≤0.50	≤0.50

3. 焊接工艺

（1）焊前准备 ①工艺评定焊接接头如图2所示。②焊材采用ENiCrMo－3，ϕ3.2mm的焊条，且经过300℃烘烤1h后于150℃保温，并用保温筒领用，随用随取，且一次领用不超过4h焊接用量。③焊接设备ZX5－630直流焊机，采用直流反接（焊条接正极）。④焊前打磨堆焊处两侧20mm范围内至金色光泽，并用丙酮将堆焊面擦拭干净。⑤共堆焊三层，堆焊层高度约为7.5mm。

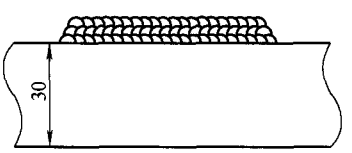


图2 工艺评定焊接接头简图

（2）焊接 ①焊前用氧乙炔焰均匀加热堆焊处两侧50mm范围至100～150℃，整个施焊过程应始终保持100～150℃的预热温度，控制层间温度≤250℃，并连续施焊（使用红外线测温仪测温）。②焊接时采用小热输入、多层多道、短弧焊，层间清理彻底，并严格控制层间温度（电流过大、电弧过长会增加合金元素的烧损）。③堆焊时严格控制焊道间距，焊接下一焊道应压住前一焊道的一半，特别是堆焊第一层，最大限度地降低堆焊层稀释率。④如图2所示，堆焊第一层时从左往右逐道堆焊，而堆焊第二层时则从右往左逐道堆焊，堆焊第三层时再从左往右逐道堆焊，减小焊接应力。⑤收弧时弧坑必须填满，防止产生弧坑裂纹。⑥焊缝接头处采用回焊法，防止产生密集性气孔。⑦焊后采用保温棉保温缓冷。堆焊焊接参数如表4所示。

表4 堆焊焊接参数

焊道	电源极性	焊材规格 ϕ/mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /cm·min^{-1}
第1层	直流反接	3.2	110～120	21～23	16～18
第2层	直流反接	3.2	115～125	21～23	15～17
第3层	直流反接	3.2	115～125	21～23	15～17

4. 焊接质量检查

堆焊完毕后按JB/T4730.5－2005标准对焊缝及近缝区进行了100%PT检测，均达到Ⅰ级合格。并

按JB4708－2000要求对堆焊焊接工艺评定试件横向切取侧弯试样4件（见图3）、距熔合线5mm处化学成分分析试样1件（堆焊光谱化学分析试样如图4所示）、4组（母材、堆焊焊缝、熔合线、距熔合线3mm）硬度检测试件1件，试验结果如表5～表7所示。

表5　堆焊工艺评定侧弯试验结果

试样编号	试样类型	试样厚度/mm	弯心直径/mm	弯曲角度（°）	试验结果
W1	侧弯	10.0	40	180	无裂（合格）
W2	侧弯	9.8	40	180	无裂（合格）
W3	侧弯	10.0	40	180	无裂（合格）
W4	侧弯	9.9	40	180	无裂（合格）

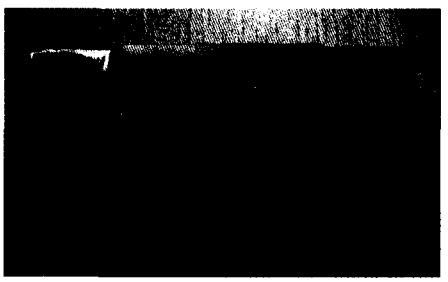
表6　堆焊层化学成分分析结果（质量分数）　（%）

项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb+Ta	Cu	其他
测试值	0.078	0.63	0.63	0.003	0.007	59.08	20.8	8.16	6.70	3.403	0.07	0.44
标准值	≤0.10	≤1.0	≤0.75	≤0.02	≤0.03	≥55.0	20.0～23.0	8.0～10.0	≤7.0	3.15～4.15	≤0.50	≤0.50

表7　堆焊工艺评定硬度试验结果

项目	硬度测试值HBW								试验结果
母材	108	109	106	119	120	116	122	110	合格
堆焊焊缝	182	173	179	181	178	184	175	169	合格
熔合线	168	165	170	171	170	169	166	164	合格
距熔合线3mm母材	142	138	145	159	142	147	144	140	合格

图3　堆焊横向侧弯试样



(a)

(b)

图4　堆焊光谱化学分析试样

5. 结语

经过对EH36船板堆焊Inconel625耐腐蚀、耐磨层的焊接性试验和焊接工艺评定，堆焊层质量均取得了满意结果，并且按照上述焊接工艺对该批EH36拉伸主液压缸*SR*300mm^{2}球面进行堆焊，获得了满意的堆焊层质量，满足船用拉伸主液压缸的使用要求。**MW**　（20111227）

《金属加工（冷加工）》2012年第8期要目

不锈钢复合组件的车削加工
在立式车床上利用靠模加工大型弧形工件
特殊情况下单柱立车保证平面度的措施
异形薄片零件加工工艺研究
改装Y3150/Y3180型滚齿机加工同步带压紧板
巧用废卡盘爪
三支脚并联运动机床的特点及典型应用
简便的划线调节架
可调偏心距工装设计
数控车床刀具对刀原理及其误差研究
深孔车削加工刀具的设计
镗削加工用刀具的设计与应用
美孚工业润滑油助中国钢铁企业优化收益水平
现场总线NCUC-Bus的技术特点与应用
数控车铣中的螺纹宏程序应用
谈桥壳调头保证同轴度的方法
锥度尺寸测量专用检具
圆柱齿轮跨齿数n的简便计算
Equator比对仪在Eponsa的应用
Pro/E 5.0的NC三轴模块应用体会之电极加工
Pro/E在设计与加工编程中的高效应用