MIG焊在大型船舶柴油机耐热层堆焊中的应用

卢忠华

【摘要】主要介绍了以MIG焊为主，TIG焊为辅的焊接方法，在大型船舶柴油机气缸盖耐热层堆焊中的应用。目前这种焊接方法已经应用于实际生产中，并取得了良好效果。

关键词：MIG焊；S17MoS；镍基合金；堆焊

1. 概述

大型船用柴油机气缸盖喷油孔在柴油机运行时温度能达到500℃，为了提高喷油孔的耐高温和耐腐蚀性，需要在喷油孔部位预先堆焊耐高温的镍基合金（ER NiCrMo—3）焊材，产品堆焊后通过机加工成形。气缸盖如图1所示。

依据MIG焊的特点，本着提高效率，改善产品质量的原则，我们用MIG焊替代了之前效率很低的焊条电弧焊，并进行了工艺评定试验。下面将从准备开始，至气缸盖堆焊完成，逐步探讨整个过程中的工艺措施。

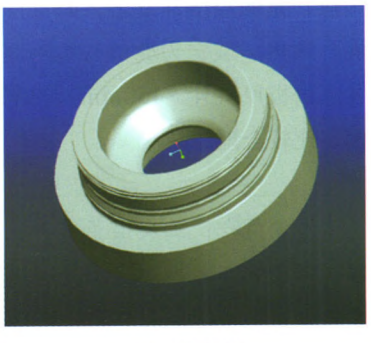

图1　气缸盖

2. S17MoS钢性能分析

母材S17MoS为低合金耐热钢，在500~550℃下有较高的持久强度，具有良好的工艺性和焊接性，化学成分和力学性能如表1和表2所示。

我们公司采用的是锻钢件，调质状态供货，毛坯件需完成粗加工，表面粗糙度R_a12.5μm，进行UT+MT探伤合格，并带有无损检测报告书。锻件需要有材质证明，包括化学成分、力学性能，材质单上须有船级社验船师签字。

3. 焊前准备

（1）堆焊槽准备　按照图样，在工件内侧圆弧表面加工2个梯形沉槽的轮廓，槽的深度为5～6mm，表面粗糙度R_a3.2μm（见图2）。由质检员对槽进行PT检测，检测范围为槽内及槽四周各25mm，PT检测合格后需用溶剂彻底清理，溶剂内不能有导致焊缝变脆的元素。

（2）气体的选择　MIG焊采用的保护气体是三

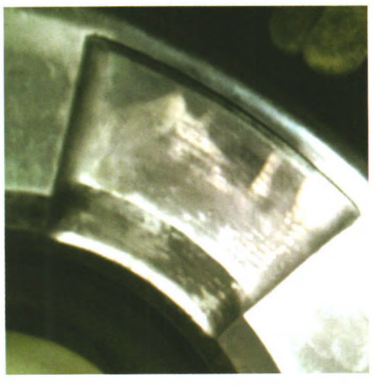

图2　焊接槽准备

表1　化学成分（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0.13~0.20	≤0.25	0.65~1.00	≤0.035	≤0.035	0.90~1.20	≤0.4	0.30~0.50

表2　力学性能

R_p0.2 /MPa	R_m/MPa	*KV*/J	*A*（%）	HBW
≥450	≥640	32	≥18	190~220

元混合气，主要配比为69.5%Ar+30%He+0.5%CO_2。TIG焊采用的保护气体是纯度≥99.98%的氩气。

（3）焊接材料选择　MIG焊焊材选用ER NiCrMo—3、ϕ1.2mm，TIG焊焊材选用ER NiCrMo—3、ϕ2.4mm。

焊材入厂必须要有质保书，并有相关船级社对于该焊材的认可证书。焊材化学成分和力学性能如表3和表4所示。

（4）焊接电极选择　TIG焊电极选用铈钨极，ϕ2.5mm，铈钨极是在钨中加入2%氧化铈（Ce），使其放射性更小。

（5）堆焊前准备　焊接前，应把准备焊接的区域及堆焊槽外四周25mm范围内清理干净，确保无切割和加工的切削液、油、铁锈、水垢或其他有害物质，以免焊接过程中产生气孔等缺陷。

焊接场地采取防风、防寒等措施，确保施焊环境≥5℃。气体保护焊时，风速＞2m/s、相对湿度＞90%，禁止施焊。

（6）气缸盖预热　将气缸盖整体放入加热炉（见图3）内进行整体预热，预热温度设定为120~150℃，升温速率设定为≤50℃/h，保温2~3h，温度达到120～150℃即可将气缸盖取出。

4. 气缸盖堆焊

将预热完的气缸盖取出后吊到变位器上，旋转变位器，保证其中一个堆焊槽处于平焊（PA）位置，并马上用耐高温纤维布将四周包裹，尽量只露出施焊位置及附近区域。然后用测温仪对气缸盖进行温度测量，如果温度降到低于120℃时，立即用氧乙炔烘炬对气缸盖堆焊槽内及附近大范围进行加热，直至堆焊槽内及附近75mm处达到120~150℃后方可停止加热。

（1）槽内堆焊　槽内用MIG焊进行堆焊，采用多层多道焊、窄道焊及小幅摆动的焊接方法。共需焊接3层，分为过渡层、填充层、盖面层，盖面焊焊缝需高出母材表面1~2mm以上（见图4）。

焊接顺序应从槽中心开始焊接第一道，然后交替向两边进行往复焊接，焊接顺序及方向如图5所示。

为了降低母材与焊缝金属的稀释及减小热影响区（HAZ），焊接时热输入量应≤1kJ/mm。每道焊完，采用TIG焊对焊脚位置进行重熔，以保证与母材完全熔合。每层焊接完，要进行外观检查，发现缺陷立即打磨清除。层间温度控制在120~150℃，注意测量每一层的层间温度，一旦温度降低，立即用氧乙炔火焰加热升温至120℃，方可再进行焊接。如果上一层外凸或每道焊道之间过渡不圆滑，应当进行修磨及清理。层间清理必须用不锈钢钢丝刷，修磨用的砂轮片不能含有硫、氯、铁元素。

由于镍基合金具有火口裂纹倾向，因此要求焊道开始、结束时进行打磨。

MIG焊的焊接参数如表5所示。

MIG焊操作要领：①采用左向焊法进行焊接，这种焊接方法

表3　焊材的化学成分（质量分数）　（%）

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
ER NiCrMo—3	0.1	0.75	1.0	0.03	0.02	20~23	≥55	8.0~10.0	0.50

表4　焊材的力学性能

牌号	$R_{p0.2}$/MPa	R_m/MPa	A（%）	KV/J
ER NiCrMo—3	≥420	≥690	≥30	≥100

图3　加热炉

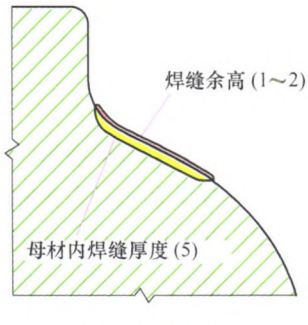

图4　堆焊厚度

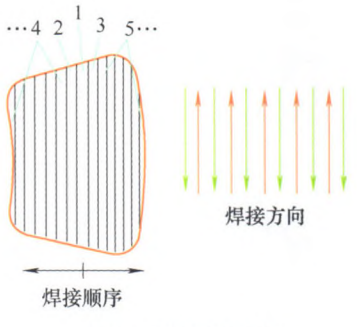

图5　焊接顺序及方向

焊缝成形好，飞溅小，便于观察熔池，焊接过程稳定。②焊丝的干伸长10~15mm。③焊接时将喷嘴后倾10°~15°，既可保证焊缝成形良好，也会保证焊接过程中电弧稳定。④焊接过程中，仔细观察熔池，不断调整焊丝到焊接线的中心，以防止熔合不良。⑤焊接结束时，应向回轻微回收一下填满弧坑，然后再熄弧。

（2）槽边缘重熔　完成3层MIG焊后，采用TIG焊对堆焊层四周边缘与母材结合处进行重熔（见图6）。TIG焊焊接参数如表6所示。

TIG焊操作要领：①钨级氩弧焊采用左焊法进行，这种焊接方法便于观察熔池，气体保护好。②焊枪应尽可能垂直于工件，采用直进焊技术。焊枪做直线移动，如果为了处理熔融金属需要进行摆动焊时，焊枪应保持高度不变，平稳的做小幅度的横向摆动。③钨极伸出长度为5~10mm。钨极端部要磨光，端部形状随电源变化，交流用圆珠形，直流用锥台形，锥度取决于电流，电流越小，锥度越大。④为避免焊丝过热氧化，填充材料的尖端在焊接时必须一直处于气体保护下。

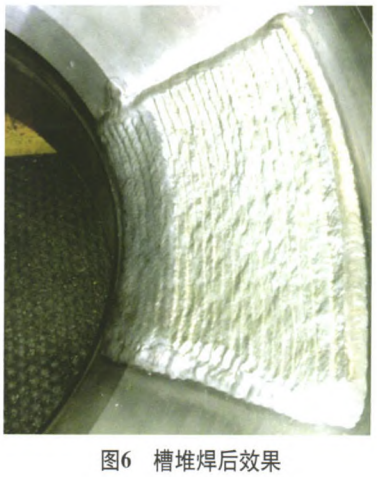

图6　槽堆焊后效果

表5　焊接参数

焊层	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	电流种类/极性	焊接速度/cm·min^{-1}	热输入/kJ·mm^{-1}
1	1.2	132~136	27~30	DC（直流反接）	57~76	0.29~0.43
2~n	1.2	157~165	29~30	DC（直流反接）	55~75	0.36~0.54

表6　TIG焊焊接参数

焊接方法	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	电流种类/极性	焊接速度/cm·min^{-1}	热输入/kJ·mm^{-1}
TIG	2.4	145~175	14~16.5	DC-（直流正接）	10~16.5	0.74~1.73

（3）其他槽堆焊　完成一个槽的堆焊，外观检测合格后，旋转变位器，把另外一个堆焊槽旋转至平焊（PA）位置，按照相同的焊接方法进行堆焊。焊接过程中只要严格执行工艺规范的要求，就一定能够焊出优良的堆焊层。气缸盖堆焊后效果如图7所示。

（4）焊后缓冷处理　焊后立即将气缸盖堆焊区域及附近大范围加热到120~150℃，用耐高温纤维布整体包裹进行缓慢冷却处理，使其温度缓慢冷却至室温，要求降温速率≤50℃/h。

5. 无损检测

按照表7中的气缸盖规范，对堆焊层进行无损检测，无损检测应在气缸盖完全冷却16h后进行。

对于无损检测不合格的返修部位，必须按照以上的工艺步骤进行，预热后进行清除缺陷、补焊，补焊完成后，进行后热处理和无损检测。

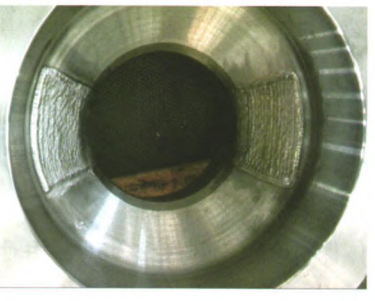

图7　气缸盖堆焊后效果

表7　检测要求

检测件	检测项	检测范围（%）	试验标准
气缸盖	VT	100	0742894—1.3Man机气缸盖规范
	UT	100	
	PT	100	

6. 结语

目前，大型船舶柴油机气缸盖耐热层堆焊工艺已经在实际生产中应用一年多的时间，结果证明该工艺性能良好，堆焊焊缝的质量得到了很大提升，一次性合格率明显提高，从而减少了因返修造成的重复劳动。

作者简介：卢忠华，青岛海西船舶柴油机有限公司。

MW 20170421