侧向推进器的导管内壁不锈钢层贴覆工艺的改进

武汉川崎船用机械有限公司 （湖北 430084） 郑传雄

【摘要】 分析导管内壁不锈钢层同碳钢表面贴合不紧密、不锈钢局部凸起等缺陷产生的原因，有针对性的对不锈钢贴覆工艺进行改进，最后消除了这些缺陷。

我公司生产的船用侧向推进器，其主要结构件导管由电动机座和直径1000～3000mm、长1000～2500mm的筒体构成（见图1）。筒体靠桨叶一侧，内壁有宽270～690mm的不锈钢防腐层。

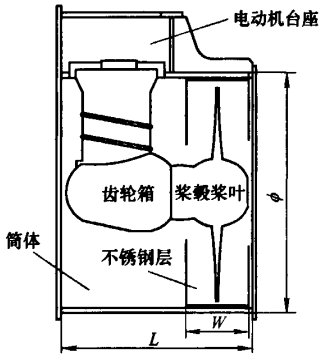


图1 导管结构示意图

近几年来，导管结构逐渐由旧式改为新式，两者主要区别在于筒体的结构（见图2）。旧式筒体由碳钢卷制的筒体与复合板卷制的筒体对接而成；新式筒体则直接在碳钢板上通过焊接贴覆不锈钢板后，卷制而成。两者碳钢层均采用厚16～32mm的船用A级板，不锈钢均采用316L，其中复合钢板不锈钢覆层厚2mm或3mm，不锈钢板厚4mm或6mm。

由于新式导管采用在碳钢基层上贴覆不锈钢板的方法，相对旧式导管容易产生不锈钢与碳钢贴覆不紧密、焊接热变形或其他原因引起不锈钢局部凸起等问题。下面以实际生产中出现问题的一台导管（编号KB42210，

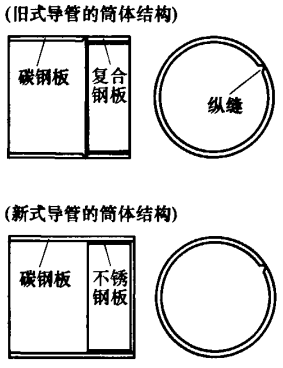


图2 旧式与新式导管筒体结构

ϕ2148mm，L=1631mm，W=520mm，碳钢板厚27mm，不锈钢板厚6mm）为例，分析产生问题的原因，并针对性的改进制造工艺，最后检验效果。

1. 选择焊接工艺

筒体基层为厚27mm船用A级板，其含碳量低（w_C≤0.21%），强度等级不高（σ_s=235MPa，σ_b=400～490MPa），焊接性能良好。贴覆层为厚6mm的316L奥氏体不锈钢（等同于00Cr17Ni14Mo2），有比较优良的焊接性能，但导热系数小，线膨胀系数大，焊接时容易产生焊接变形，同时不锈钢高温时间过长时容易产生晶间渗碳，造成晶界贫铬，使不锈钢抗腐蚀性能大大降低。因此不锈钢焊接时尽量采用小电流，少焊道。其化学成分见表1。

碳钢与不锈钢焊接，不锈钢之间焊接采用CO_2气体保护焊，焊材均采用日本TASETO生产的药芯焊丝

GFW309MoL（对应的 AWS 型号 E309LMoT1—4），焊丝直径 1.2mm，其熔敷金属化学成分见表 2。

表 1 316L 不锈钢的化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	12.00 ~ 15.00	16.00 ~ 18.00	2.00 ~ 3.00

表 2 GFW309MoL 熔敷金属的化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
≤0.04	≤1.00	0.50 ~ 2.50	≤0.04	≤0.03	15.00 ~ 17.00	21.00 ~ 25.00	2.00 ~ 3.00

2. 缺陷的分类

新式导管的筒体制作工序按先后顺序依次为：不锈钢的贴覆，卷筒，纵缝和不锈钢对接缝的焊接，筒体校圆。按缺陷出现的先后顺序，可将缺陷分为 3 类，如图 3 所示。

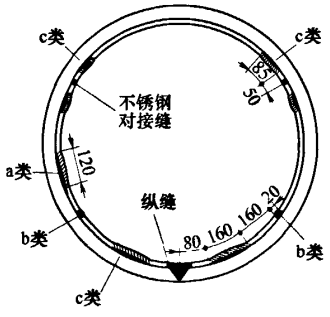


图 3 示例导管的缺陷分布示意图

a 类：不锈钢贴覆不紧密，在贴覆不锈钢过程中产生。

b 类：不锈钢条状凸起，在卷筒或筒体校圆过程中产生。

c 类：不锈钢块状凸起，在纵缝/不锈钢对接缝焊接过程中产生。

这些缺陷沿圆周方向分布情况如图 3 斜线阴影区所示，缺陷长度为不锈钢板的宽度 $W = 520$mm，通过计算，缺陷面积约占不锈钢板总面积的 12%。

3. a 类缺陷产生的原因及消除的措施

这类缺陷随机分布在距纵缝、对接缝较远区域。示例导管不锈钢表面形成一块宽 120mm、长 520mm、与碳钢表面间隙最大可达 1.5mm 的贴覆不紧密区域，用钢尺敲击可清晰听见闷响。

（1）缺陷产生的原因 主要有以下四条：

第一，不锈钢装配方法不正确，不锈钢板与碳钢表面没有贴紧。

第二，定位焊点间距 d 过大（示例导管约为 240mm），在由一个焊点向相邻焊点方向进行焊接时，焊接产生大量的热量。加之随着焊接热源的移动，先前的焊缝开始冷却收缩，促使两焊点之间还未焊接的部分产生变形，这是造成缺陷的一个重要原因。

第三，不合理的焊接顺序。单块较长不锈钢板焊接时，采取了如图 5 所示的不合理焊接顺序。先焊接 1，焊缝和焊道附近的不锈钢板冷却收缩时，靠近焊道 1 侧的不锈钢板收缩变形较大，靠近焊道 2 的变形则很小，变形量呈现不对称，造成不锈钢与碳钢贴合不紧密。再焊接 2 时，此时不锈钢板变形受到的拘束度很大，焊缝 2 及其附近不锈钢板收缩不能消除两焊道附近不锈钢变形量的不对称性。

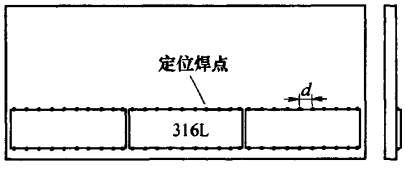


图 4 不锈钢装配示意图

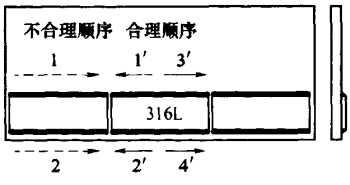


图 5 不锈钢焊接示意图

第四，示例导管不锈钢焊接时采取大电流（220A），焊接热输入大，引起不锈钢变形也大，这也是缺陷产生的一个原因。

（2）消除缺陷的措施 针对 a 类缺陷产生原因，对不锈钢板的贴覆工艺进行了改进。

第一，装配不锈钢前检查不锈钢板的平直度，如在允许的范围内，装配时不锈钢按图 6 所示方向放置，并且先点焊左边 2 ~ 3 点，相邻焊点间距如图 4 所示 d。然后沿宽度 W 方向，从左到右用铁锤（不锈钢专用）和斜铁使不锈钢与碳钢贴合紧密，再点焊右边 2 ~ 3 个定

位点。依次类推，直到一块不锈钢点焊完毕后，再用铁锤锤击各焊点，消除各焊点的应力，并消除焊点附近的变形。

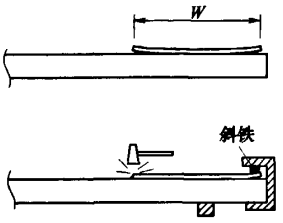


图6 不锈钢装配示意图

第二，定位焊点之间距离 d 取较小的值，控制在50~80mm。

第三，每块不锈钢焊接按图5所示的1′→2′→3′→4′的顺序进行分段和对称焊接。

第四，尽量采取小电流焊接，由于焊缝是单层角焊缝，并且采用焊枪沿轨道移动的半自动焊，因此，还要兼顾焊缝成形问题。通过反复试验，对厚度不同的不锈钢分别采取以下焊接参数（见表3），既保证了焊接电流不过大，又使焊接成形比较美观，

表3 不锈钢焊接参数

不锈钢厚度/mm	焊丝直径/mm	电流/A	焊接速度/m·min^{-1}	气流量/L·min^{-1}
4	1.2	130~160	0.3~0.4	15~25
6	1.2	150~180	0.3~0.4	15~25

4. b类缺陷产生的原因及消除的措施

这类缺陷一般分布在纵缝两侧距纵缝中心约400mm处（见图3），呈宽20mm、长520mm（不锈钢宽度 W）、最大间隙可达5mm的条状凸起。

（1）缺陷产生的原因 卷筒主要通过三辊式卷板机完成，而卷筒时钢板与下面两辊子接触点间距约350~400mm，钢板的 AB 段无法由卷板机弯曲，因此卷筒之前需要在液压机上将 AB 段的弧度压出，见图7。

AB 段一般取400mm，在压头的巨大压力下，AB 段不锈钢板与碳钢板紧密贴合，同时在圆弧与直线交界处 B 产生急弯，该处容易造成应力集中。

在转入卷筒工序或者纵缝焊接完后的校圆工序中，如果按图7所示的弯曲方向进行卷筒或校圆，不锈钢板在辊子的挤压下，由 C 向 B 延展，由于 B 处有急弯且贴合紧密，这些变形无法逾越 B 处，造成变形在 B 处积累，应力高度集中，到一定程度时，B 处右边 BP 段（沿圆周约20mm宽）就会突然凸起，形状呈条状。该分析可以从在弯曲过程操作者的“突然听到很大的金属炸裂声，并迅速出现凸起”的描述中得到证实。

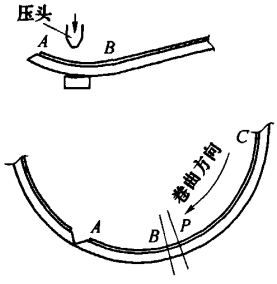


图7 b类缺陷产生原理图

（2）消除缺陷的措施 主要有以下两条：

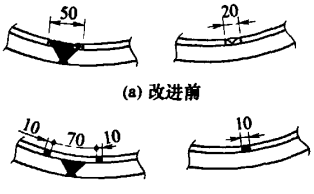
措施一：卷筒时或校圆时，改变辊子的挤压方向，尽量由 B 到 C 方向进行挤压。目前我们采用的是这种措施，效果比较好，没有再发生这类缺陷了。

措施二：为了“消化”掉由 C 到 B 方向挤压过来的变形，可在造成凸起的 B 处右边设计一道不锈钢对接缝 BP'（约10mm宽），使变形不能到达 B 处，在 P' 处就被“消化”掉了。

5. c类缺陷产生的原因及消除的措施

这类缺陷主要对称分布在纵缝或不锈钢对接缝两侧。如图3所示，距纵缝约80mm的位置对称分布着宽约160mm，长约520mm，最大间隙达2.5mm的块状凸起；距不锈钢对接缝约50mm的位置对称分布着宽约85mm，长约520mm，最大间隙达2mm的块状凸起。用钢尺敲击可清晰听见很沉闷的响声。

（1）缺陷产生的原因 主要因为焊缝的形式不合理，如图8所示。改进前，纵缝形式沿用旧式导管的纵缝形式，直接在碳钢表面堆焊不锈钢，焊缝宽约50mm，长520mm，深6mm；不锈钢对接缝宽约20mm，长



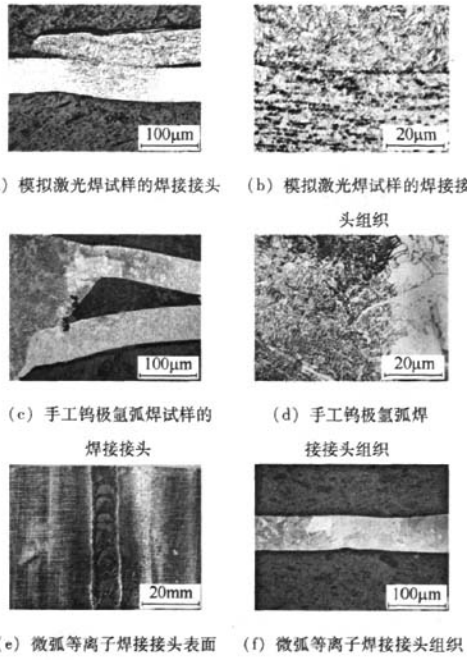
(a) 改进前

(b) 改进后

图8 纵缝和不锈钢对接缝形式

（下转第39页）

总宽度约 1.5～2mm，焊缝晶粒较粗，但未出现魏氏组织，焊接接头韧塑性、反复弯曲性能优于前两种接头。



(a) 模拟激光焊试样的焊接接头　(b) 模拟激光焊试样的焊接接头组织

(c) 手工钨极氩弧焊试样的焊接接头　(d) 手工钨极氩弧焊接接头组织

(e) 微弧等离子焊接接头表面　(f) 微弧等离子焊接接头组织

图3　焊接接头组织形貌

4. 三种焊接方法的比较

从前述拉伸、反复弯曲、金相组织的试验对比，初步可以看出，微弧等离子焊手工焊接接头质量最好，模拟激光焊最差。微弧等离子焊设备较复杂，投资较高，在生产现场复杂多变的环境下，设备搬运不太方便，移动不如氩弧焊设备轻巧，目前还没有冷轧厂应用该焊接方法用于手工焊接超薄带钢，从提高焊接质量角度看，该技术有应用价值。模拟激光焊设备焊接效率低，焊接质量不稳定，一般用于零部件的尺寸恢复，根据试验情况和结果，该技术不适合冷轧厂薄带钢异常断带的焊接。手工钨极氩弧焊超薄板形成较大波浪变形，焊缝余高约 1.5～2mm，对焊后穿带不利，搭接处局部贴合不良，仅依靠填充焊丝连接，局部穿孔、焊穿。但手工钨极氩弧焊操作灵活，设备价格低廉，而且 0.3mm 以上厚度的薄带钢的焊接质量比较理想。因此，该方法在生产中仍有较好的使用价值，但用于 0.3mm 以下厚度的薄带钢的焊接，其质量还不稳定。从现场焊接需求看，配置钨极氩弧、微弧等离子焊分别用于一般薄带钢和超薄带钢的手工焊接，对提高焊接质量和焊接效率都是有益的。

四、结语

(1) 手工焊接超薄带钢生产中的异常断带时，模拟激光焊、微弧等离子焊成形比钨极氩弧焊好，三种焊接接头的抗拉强度都能满足生产现场的要求，但微弧等离子焊的焊接接头的反复弯曲性能、综合性能最好。

(2) 手工钨极氩弧焊比较适合焊接厚度 0.3mm 以上的薄带钢，手工微弧等离子焊更适合焊接 0.3mm 厚度以下超薄带钢，模拟激光焊无论焊接质量还是焊接效率都不适合带钢生产需求。**MW**

(20100207)

(上接第 36 页)

520mm，深 6mm，两者都属于多层多道焊，焊接金属填充量大，热输入很大，焊缝冷却时横向收缩也大，焊缝两侧的不锈钢被收缩力拉离碳钢表面，造成凸起。

(2) 消除缺陷的措施　主要有以下三条：

第一，改变焊缝的形式，如图 8 所示改进后的纵缝，在碳钢表面贴覆一块 6mm×70mm×520mm 的不锈钢板，使堆焊焊缝转变为两个分散的单道焊缝，焊接金属填充量减少了 60%，同时不锈钢的对接缝也由多层多道变为单层单道焊缝，焊接金属填充量减少了 50%。这就大大减少了焊接收缩变形。

第二，尽量减少不锈钢板对接缝数量，每台导管不锈钢层，原来由 3～4 块不锈钢板对接而成，现在减少为两块，减少了不锈钢对接缝数量，就减少了凸起的可能。

第三，尽可能采用小的焊接电流，可参照表 3 来选取焊接参数，焊接完后及时用铁锤（不锈钢专用）敲击紧挨着焊缝的不锈钢板，以便消除应力和使不锈钢延展。

6. 效果的检验

主要采用钢尺敲击不锈钢表面，听其响声的方法进行检验，同时结合在不锈钢板打 ϕ3～ϕ5mm 的小孔直接测量的方法进行抽检。

改进后，对大量的导管进行了跟踪检验，检验结果表明：纵缝及不锈钢对接缝附近的间隙最大值控制在 0.5mm 以下，其他位置的间隙控制在 0.3mm 以下，符合产品要求。**MW**　(20100305)