

FCB 法单面埋弧自动焊反面成型及终端裂纹控制

船体车间 陈建国

1 选题理由

船体平面分段生产流水线是我公司为缩短与先进造船国家的差距,促进造船技术进步和提高企业竞争能力,从国外成套引进的设备。在整个生产线上,FCB 法三丝埋弧自动单面焊接站是最为关键的工位,因为其焊接质量及效率将直接影响整个生产线的流程。FCB 法埋弧自动单面焊能省去两面焊的钢板翻身、碳刨以及反面焊接的时间,还能减轻劳动强度,提高施工安全性,是一种效率极高的焊接方法。该生产流水线还具有自动化程度高、质量稳定的特点,适应世界造船自动化的发展趋势。平面分段生产流水线的引进,给公司带来的经济效益将是巨大的。

但自从公司 1995 年 TTS 平面分段流水线建成运行后,FCB 法单面埋弧自动焊拼板的焊缝反面成型宽窄不一、高低不一、直线度不好,甚至有溢出、未熔透等,反面修补的工作量很大。而且,对拼板缝用超声波检查后,常常发现在焊缝终端有纵向裂纹,这种终端裂纹发生率一般在 90% 左右。为避免终端裂纹的发生,施工中采用了拘束焊的方法,即:拼板缝的终端部分保留约 400~600mm 单面成型,翻身碳刨后再用 CO₂ 半自动焊焊接结束。这样就增加了翻身、碳刨、反面焊接等大量的工作量,极大的浪费了人力物力,设备利用率极差。

为了充分利用现有的先进设备,提高劳动生产率和经济效益,尽快解决反面成型及终端裂纹问题显得非常必要,此即选题之理由。

2 试验过程及技术总结

试验过程大体上分为三个阶段,第一阶段主要是

提 要 针对 FCB 法单面埋弧自动焊反面成型不稳定、修补率高等问题,提出通过严格控制坡口留根和坡口角度、弹性熄弧板等措施来解决。实际应用表明:对反面成型和终端裂纹控制非常有效。

主题词 FCB 法 裂纹 焊接技术
船体建造工艺

现场测量记录坡口精度及反面成型情况,分析其对应关系。第二阶段重点控制终端裂纹的产生,找出合适的终端裂纹控制方法。第三阶段是在前两阶段的基础上作分析、总结,提出适合 FCB 法单面埋弧自动焊的坡口加工精度内控指标并根据该指标找

出最佳焊接规范,同时探索厚度为 24mm 及 30mm 的钢板拼接的终端裂纹解决方案。

2.1 反面成型及影响因素

坡口条件是保证焊缝成型的重要因素,只有在合适的坡口条件下,才有可能获得良好的焊缝成型;对于单面埋弧焊,因要保证双面成型,故坡口条件尤为重要。

经过第一阶段近半年的现场观测,我们初步取得了一些坡口要素的有关数据,并记录了与之相对应的焊缝反面成型情况。现将它们的关系分析如下:

两板拼焊时,虽然两板的直线度情况并不太好,但装配时基本上能将间隙控制在 0.5mm 以下,若有部分间隙未能控制在 1mm 以内,则可以用 CO₂ 打底(打底厚度至留根以上 2mm 左右),这样仍能获得较好的反面成型。同时,直线度不好主要是因为切割时的热输入引起的,比较难以控制,故对直线度暂不提出更高的要求。

关于坡口角度和坡口留根,从记录情况可以看出,当坡口角度偏大或偏小,而坡口留根较好时,反面成型较好;相反地,当坡口角度偏差较大,坡口留根偏大或偏小则显著影响焊缝的反面成型。因此,坡口留根对焊缝反面成型影响较大。至于坡口光洁度,即坡口在加工时产生的如缺口、凹凸不平缺陷,一般地,只要缺陷不是太大(<2mm),可认为对焊缝成型没有太大的影响;但坡口上意外沾上的油污、水渍等极易产生气孔,故应做好焊前清理、烘干工作。另外,焊剂(特别是衬垫焊剂)的防潮工作亦应做好,否则也易产生气孔。

在观测中还发现焊缝反面呈藕节状的现象,这是由于第一、二丝间距过大或主丝电流偏低所引起的。

归纳如下:

①坡口直线度及坡口光洁度,在目前条件下对焊缝反面成型影响不大,只要在装配时间隙能够满足要求即可。

②坡口留根比坡口角度对焊缝反面成型影响更大,因此,坡口加工时,应特别注意坡口留根的精度要求。

③施焊前应清理焊接坡口上的油污、水渍,并注意做好焊剂防潮工作。

④对于焊接规范如焊接电流、焊接电压、焊接速度应在合适的范围内,根据板厚及坡口情况作适当的调整。

总体上,焊缝的反面成型比较好,余高一般在 2~3mm 之间,熔宽一般在 16~18mm 之间,并且,反面焊缝只需打磨几处、补焊几处即可,因此可以认为焊缝反面成型情况比较稳定,有希望达到零缺陷(终端裂纹问题下一阶段解决)、零修补的要求。为此,我们希望坡口加工时,保证坡口留根 $P \pm 1\text{mm}$,坡口角度 $\alpha \pm 2^\circ$ (注:公司标准 JNS42-055-1997 规定 $P \pm 1, \alpha \pm 1^\circ$)。

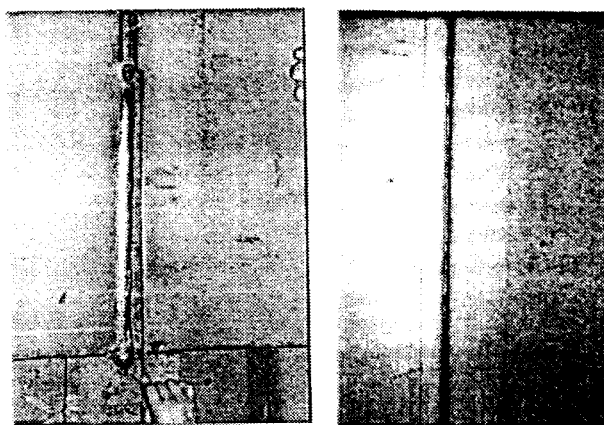
2.2 终端裂纹的产生与控制

钢板在开坡口焊接时,随着焊接的不断进行,移动热源前方的坡口间隙时而张开时而闭合,这种现象称为回转变形。回转变形现象,主要是由于热源在移动过程中,熔池附近的母材在焊接方向的热膨胀引起的。在 FCB 法单面埋弧焊对接接头中,拼板长度一般都在 7~8m 至 11~12m 由一端开始连续焊接时,在焊道终端附近的焊缝金属内将产生较大的回转变形,终端区的定位焊处为了抵抗回转变形将产生很大的拉裂力,焊缝金属达到熄弧板时,该拉裂力被释放,使其后面刚刚凝固的焊缝金属产生拉伸变形,因而产生裂纹。为了防止终端裂纹,必须采取限制终端附近板件回转变形的措施。

由于在焊接接头的终端部位安装普通熄弧板时,容易发生纵向裂纹。因此考虑采用弹性熄弧板法解决终端裂纹问题。所谓弹性熄弧板,即在端部熄弧板上离开焊缝金属一定尺寸的两侧,分别加工上切口,使处理弧坑的部分和接头终端部起拘束作用的外侧部分起到热分离,电弧从接头终端部到熄弧板过渡时,由熄弧板自身产生的热膨胀而引起的接头终端部拘束力急剧下降,从而防止终端裂纹的发生。图 1 分别为未安装弹

性熄弧板和安装弹性熄弧板的反面成型照片。装有普通熄弧板和弹性熄弧板的接头终端部变形的测定例子如图 2 所示,可以看出,用弹性熄弧板时的变形比普通熄弧板平缓,而且变形量也少。

鉴于没有现成的经验可以借鉴,我们通过实验确定。



a. 未安装弹性熄弧板

b. 安装弹性熄弧板

图 1 反面成型情况

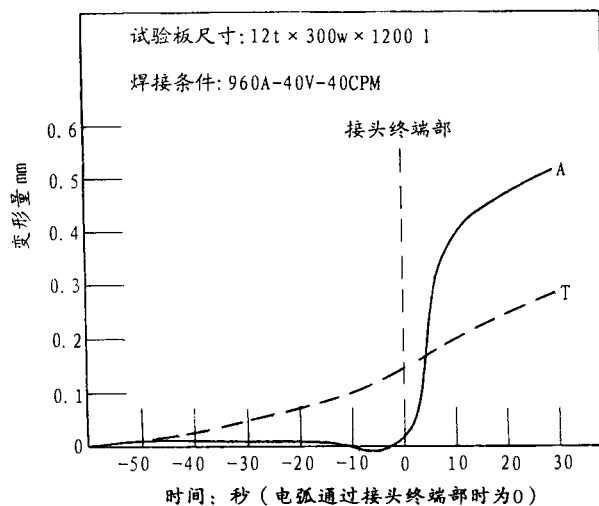


图 2 使用弹性熄弧板(T)和普通熄弧板(A)时接头终端部变形的比较

因为起弧端发生裂纹的几率很小,因而我们只做了熄弧板的实验,熄弧端的终端裂纹问题解决了也就等于终端裂纹问题不存在了,故在下面的论述中,不区分引、熄弧板。

下面对实验的具体情况作一些简单的分析、总结。

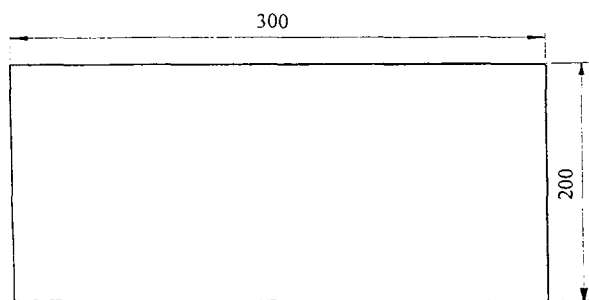


图3 普通熄弧板

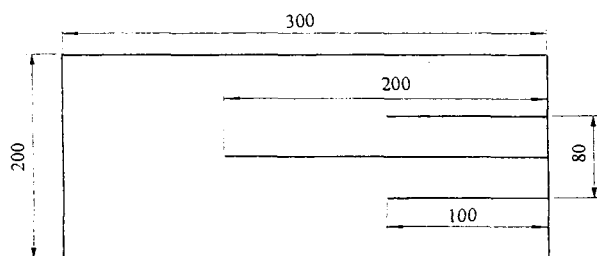


图4 弹性熄弧板

最初的两块引弧板是利用原有的普通引弧板(如图3所示)稍加变化而来,其规格是300mm×200mm,切口长度100mm,切口间距80mm(如图4所示)。考虑到与对接焊缝坡口间突变会引起焊接过程的不稳定而引发裂纹,用碳弧气刨加工了一条长约200mm的槽,其中一块还加工了一条长约70mm的切口。试验结果为,加切口的无终端裂纹的产生。普通引弧板是两块安装的,因而能够满足FCB压力架的要求,若采用一块改为弹性引弧板,则压力架无法将其压紧。(图5为安装弹性熄弧板的照片。)为此,我们特请内场协助,加工了一批300mm×300mm的引弧板,受在产品上实验条件的限制,我们只选了板厚15mm、18mm的两种。受前两块影响,仍然加工了碳刨坡口和切口(尺寸及加工要求如图6所示)。连续做了7条缝,超声检验都无终端裂纹发生。但在实验过程中,我们觉得这样做太麻烦,本着简化工艺,提高效率的宗旨,决定做不要碳刨坡口的实验。采取了切口长度 $l=120\text{mm}$,切口间距 $d=100\text{mm}$ 的实验:在试焊了12条缝都无裂纹发生后,我们认为该形式是比较有效的。为了得出更佳的结果,我们改变了切口间距又试了16条缝, $d=120\text{mm}$ 及 $d=80\text{mm}$ 各8条,其中仅有 $d=80\text{mm}$ 的一条缝产生了终端裂纹,一般可以认为这是偶然现象,但由于试验次数较少,也可能从侧面说明,处理弧坑部分(切口间距)太窄容易使熄弧板上的纵向裂纹扩展至连接焊缝上,从而引发终

端裂纹。但从另一方面看,若起拘束作用的部分太窄,则引熄板对焊缝终端的拘束作用就下降,也易导致终端裂纹。

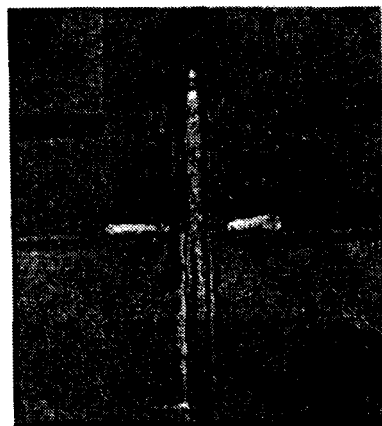


图5 弹性熄弧板的安装

另外,弹性熄弧板法也有其难以克服的缺点:

(1)由于熄弧板对接头终端的拘束力弱,接头终端部的定位焊缝有可能在电弧熔化时急速变形而发生裂纹。

(2)由于背面焊道一直延伸至接头终端部,当电弧移动到熄弧板上,可能由于电弧发生点的急速变动,在接头的终端部位因熔深形状的不连续引起裂纹发生。

在试验中,实际情形确实如此,即背面焊道至接头终端部由于不连续而产生裂纹,但裂纹大多数只发生在熄弧板上,拼板接头上一般都能避免终端裂纹的发生。

最后,还有一个值得重视的问题,就是约有1/6的焊缝终端在定位焊处发生夹渣现象,且有一条焊缝因此而引发了终端裂纹,为此,接头终端部约150mm的范围内不要定位焊,在后来的实验中被证明是有效的。

整个试验过程中,终端裂纹发生率5.4%,小于预期指标10%,其中规格为切口长度 $l=120\text{mm}$,切口间距 $d=100\text{mm}$,不采用碳刨坡口的引弧板,无终端裂纹发生,故建议采用。

2.3 试验总结

根据第一阶段的观测数据来看,坡口直线度及坡口光洁度对焊缝反面成型影响不大,只要在装配时保证间隙能够满足要求即可;而坡口角度和坡口留根对焊缝的反面成型的影响较大,尤其是坡口留根。因此,考虑到本厂的加工条件,对坡口加工的直线度及光洁度暂不提

$\alpha \pm 2^\circ$ 。第二,当拼板厚度不大于 20mm 时,采用公司标准规范,当拼板厚度大于 20mm 时,需将公司标准规范中的三根丝的电流量适当增大;同时,根据钢板的留根情况适当调节焊接电流:当留根偏小时,第一根丝焊接电流适当调小,当留根偏大时,第一根丝焊接电流适当增大;增减的准则为 50 ~ 100 每毫米留根变化量(原则上最大变化幅度不超过标准电流值的 10%)。这样,就能完全满足反面成型要求,返修率在 10% 以下。

3.2 厚薄板拼接对焊缝反面成型的影响及采取的措施

当需拼接的两张钢板存在板厚差时(这种情况是船体结构中常常碰到的),拼装过程中两张板的构架面要保持在同一平面内,相对来说,这是有一定难度的,这就要求根据板厚及板厚差的大小采取不同的措施。当板厚在 6 ~ 11mm 之间时,不需开坡口,当板厚大于 11mm 时,需按工艺要求开坡口。当板厚差小于 3mm 时,采取构架面向上拼接(即所谓“正拼”),在构架面开坡口(即所谓“正斜”),这时,就需要反面的铜衬垫产生一定角度的倾斜(在铜衬垫倾斜的微调范围之内),以控制反面成型。当板厚差等于 3mm 时仍采用“正拼”,开“正斜”坡口,但非构架面的厚板一侧就需要削斜,斜率为 1:5 ~ 1:4,反面铜衬垫仍需倾斜,反面成型效果良好。当板厚差大于 3mm 时,若仍采取“正斜”坡口,“正拼”形式,由于钢板两侧的支撑物高度不可调,板厚差太大时,两钢板构架面的平面度就不能保证了,因而只有采取“反拼”(非构架面向上拼接),“反斜”(非构架面开坡口),且非构架面厚板一侧削斜。这样就基本上解决了不同厚度钢板的拼接问题。

3.3 终端裂纹问题

原则上对板厚不大于 20mm 的拼板采用不刨槽的弹性熄弧板,规格为:切口长度 $l = 120\text{mm}$,切口间距 $d = 100\text{mm}$ 。当拼板厚度为 20 ~ 22mm 时,必须采用带碳刨坡口的弹性熄弧板,规格为:切口长度 $l = 150\text{mm}$,切口间距 $d = 100\text{mm}$,碳刨长度为 $m = 180\text{mm}$ 。当拼板厚度 $t = 23 \sim 35\text{mm}$ 时,采用焊缝终端 400 ~ 600mm 范围拘束焊法(即两面焊)基本上将裂纹发生率控制在 10% 以内。

实际生产中,以公司在建的 7.4 万吨散货船为例,每艘船共计 FCB 法拼板焊缝 4884 条,实际生产中当拼板厚度 $t > 22\text{mm}$ 时,拼板终端 400 ~ 600mm 长度范围内

采用拘束焊法(即两面焊),该种焊缝每艘船共计 124 条,占总数的 2.5%,即 97.5% 的 FCB 法焊缝均采用弹性熄弧板法解决终端裂纹问题。

3.4 FCB 法坡口加工精度内控指标及相应的焊接规范

①板厚大于 11mm 的坡口加工精度要求,坡口留根 $P \pm 1\text{mm}$,坡口角度 $\alpha \pm 2^\circ$ 。

②焊接规范详见《FCB 法埋弧自动单面焊接施工工艺》,第 9 页,表 8 焊接规范参数。在此基础上,结合实际生产中的经验,根据钢板的留根情况适当调节焊接电流:当留根偏小时,第一根丝焊接电流适当调小,当留根偏大时,第一根丝焊接电流适当增大;增减的准则为 50 ~ 100 每毫米留根变化量(原则上最大变化幅度不超过标准电流值的 10%)。

4 结束语

经过二年多的时间,对反面成型及终端裂纹的控制取得了令人满意的成果,并且已将成果转化为生产力,反面成型及终端裂纹控制方法广泛应用于 H2254/55/62/63/64/65/72 ~ 75/66/67 等 74000t 及 51000t 系列散货船的拼板,从 2000 年 1 月开始的反面成型控制,以及从 2000 年 6 月开始的终端裂纹控制,取得的经济效益约 130 万元人民币。这是课题组全体成员共同努力的结果,是集体智慧的结晶。由于时间比较仓促,还有一些问题需要进一步探索优化,这就算本课题给我们留下的题外之题吧,我们相信富有进取精神的同仁们仍将为之不懈努力,为公司生产效率的进一步提高作出更大的贡献。

参考文献

- [1]《FCB 法埋弧自动单面焊接施工工艺》
江南造船(集团)有限责任公司标准, JNS42-055-1997.
- [2]《焊接接头的强度与设计》
[日]佐藤邦彦等著,机械工业出版社.
- [3]《电弧焊》
北京航空航天大学胡特生主编,机械工业出版社.
- [4]《焊接结构》
哈尔滨工业大学田锡唐主编,机械工业出版社.