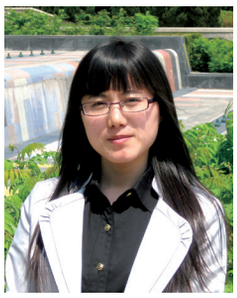

船舶制造焊材选用与思考

于彩霞　赵永刚　闫旭奎

1. 主要产品及常用焊材

我公司为船舶制造单位，产品涉及散货船、Jack Up、油船、模块及修理改装项目。实际生产中焊材主要包含碳钢、低合金高强钢、不锈钢（含双相及超级双相不锈钢）、低温钢（316L、9Ni）及镍基合金（Inconel 625）等。碳钢及低合金钢焊接以FCAW为主，超高强钢仍以手工焊为主，双相及超级双相不锈钢以钨极氩弧焊为主，9Ni及镍基合金采用钨极氩弧焊打底、手工焊盖面的焊接方法。随着高效焊接技术的推广，焊条的使用正逐年缩减，自动焊、半自动焊比例逐渐增多。近年来，随着项目要求越来越严格、工期紧张及成本控制等方面的变化，我公司在焊接方法及焊材的选用方面也面临着越来越多的难题。

2. 主要难题及解决方案

（1）9Ni钢的焊接　该项目中，9Ni钢的焊接不仅要满足高强度、－196℃低温冲击性能，还要满足SSC（抗硫化氢腐蚀试验）要求，而9Ni钢具有磁性，难消磁，焊接容易产生裂纹，这对我们选择焊材及制定焊接工艺提出了更高的要求。

首先针对9Ni钢的磁性问题，我们在焊接前需要进行消磁

焊丝制造设备与工艺技术水平尚未成熟，不锈钢药芯焊丝产品仍处在研制开发、推广应用阶段。目前国内大多数企业使用国外产品，只有少数企业使用国内产品。如我公司大型矿用挖掘机（WK—35型、WK—55型等）铲斗部件，斗前高锰钢（Mn13Mo）与斗后高强钢（A514）异种钢的焊接，先后使用韩国现代SW—309Cored和瑞典伊萨SB309L不锈钢药芯焊丝，获得令人满意的效果。在大型容器碎煤加压气化炉生产制造中，气气换热器内壁耐蚀堆焊过渡层的焊接、16MnR+0Cr18Ni9复合钢板复层的打底焊接、16MnR+0Cr19Ni材料异种钢的焊接，均使用台湾广泰金属工业公司生产的KFW—309LP不锈钢药芯焊丝，焊接质量经检查完全满足压力容器产品技术要求。

5. 结语

通过对国内外E309LT1—1不锈钢药芯焊丝的对比试验研究及生产应用，工业发达国家不锈钢药芯焊丝制造设备与技术成熟，原辅材料有害元素控制较严，焊丝化学成分设计合理，焊丝的焊接工艺性能和熔敷金属综合力学性能优良，适用于不锈钢材料的焊接。由于我国不锈钢药芯焊丝制造起步较晚，所以与国外品牌焊丝比较，还有一定差距。这就需要国内原辅材料厂与焊材生产企业密切合作，在协会和行业的统一协调和指导下，借助高校和科研院所及用户的研究成果与生产应用优势，尽快研制生产出质量好、品种全的不锈钢药芯焊丝产品。这种既可打破国外品牌焊丝垄断的被动局面，力争在不锈钢药芯焊丝的品种和品质上有所突破，又能促进和提高国产焊接材料制造的整体技术水平，推动我国药芯焊丝的进一步发展与应用。

作者简介：万斌等，太原重工股份有限公司。

MW 20160313

处理。焊接时在坡口上方进行定位焊处理，焊接时坡口两侧磁场消磁，保证了焊接顺利进行。对于焊接裂纹，通过分析发现焊材的选用是非常重要的，我公司选用的NiCrMo—3型焊材，与9Ni钢的线膨胀系数相近，有效减少了焊接热应力，含碳量与9Ni钢相近，而w_{Ni}=55%~60%，保证了奥氏体组织的含量，避免熔合线出现硬脆马氏体带，w_C≤0.03%，脆性温度区间小。采用NiCrMo—3型焊材焊接9Ni钢，有效地保证了9镍钢的低温韧性，这是由于高的Ni含量有效防止了碳的迁移，并且焊缝为奥氏体结构，有效保证了焊缝的低温韧性。

焊接参数对保证9镍钢焊接质量也是极为重要的，此项目中，涉及此材料的焊接为厚壁管，我公司采用GTAW打底，SMAW填充、盖面的方法进行焊接，为了保证质量节约焊材，坡口设计如图1所示。为了保证根部焊道成形和焊条电弧焊填充，以及避免出现烧穿现象，打底焊至少要焊两层，焊缝厚度至少达到6.4mm后，再采用焊条电弧焊填充。焊道布置如图2所示。

我公司针对9Ni钢焊接工艺还做了如下规定：热输入≤2.2kJ/mm；焊接层间温度≤100℃；由于9%钢的熔深浅、穿透力很差，坡口面上很容易产生未熔合，因此当焊接电弧摆动到坡口面上时，做短暂停留以获得良好的熔合性；在多道焊的盖面焊道，坡口两侧的盖面焊道要求外延1~2mm，以保证良好的焊接熔合性。这些均有力保证了9Ni钢焊接质量。

（2）模块项目Inconel625复合管的焊接 本项目中Inconel625复合管是由管（碳钢- API 5L B）+衬层（Inconel625材料，厚度3mm）复合而成。除了要解决Inconel625材料本身的焊接难点外，两种材料结合层的焊接是极其复杂的，而最需要解决的是复合层Fe元素的稀释问题，选择什么材料焊接及焊接工艺成为难题。

通过规范、规格书的阅读及试验，整个焊缝均采用NiCrMo—3型焊材，为了避免铁元素的稀释，我们会在坡口内用NiCrMo—3型焊材预堆焊一层（见图3），之后采用GTAW打底， SMAW填充、盖面的方式进行焊接。并且为了保障焊接的稳定性，我们选用了国外焊材（UTP A 6222 Mo及UTP 6222 Mo）。对焊接参数及工艺也进行了严格的控制，保证了项目的顺利进行。

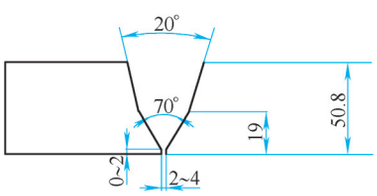

图1 坡口设计

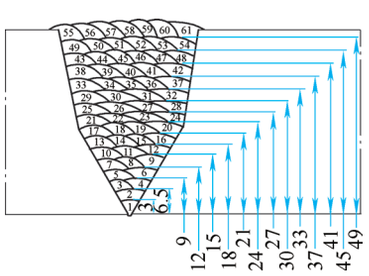

图2 焊道布置

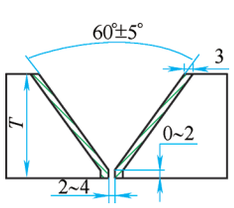

图 3

3. 对未来焊接材料发展的一些想法

首先，目前市场竞争激烈，产品的制造要求也日趋严格，经常还要面临工期紧张的难题，我公司目前项目涉及很多特殊焊材（如9Ni钢、双相不锈钢及超级双相不锈钢的焊材），这些焊材都需要国外进口，周期特别长，价格也非常贵，希望国内焊材厂家加强研发，提供高质量及高稳定性的产品，这对成本控制及工期都是极其有利的。

其次，超高强度合金钢焊材，如EQ70，针对6G位置，目前基本使用焊条及埋弧焊丝。我公司试了国内外很多家FCAW药芯焊丝，低温韧性很难保证，希望国内外焊材企业，针对此问题，开发出适合生产使用的焊材，这对提高生产率及保障焊接稳定性都是非常有意义的。

最后，针对绿色焊接——健康、环保与安全生产，我认为未来焊材的研发要提高其工艺性，减少粉尘、污染、飞溅及噪声等，减少对环境及焊工的伤害，同时随着高效焊的推广，希望研发更多更好的自动焊焊材，也希望焊接机器人能更快地在船舶行业推广，提高生产率，解放劳动力。

作者简介：于彩霞等，大连中远船务工程有限公司。

MW 20160323