

# 过渡层焊丝对 Monel 400 复合钢板 焊接性能的影响

艾建玲, 杨永福, 巨建辉, 张 剑, 付维军, 吴广林

(西北有色金属研究院, 陕西 西安 721014)

**摘 要:** 采用 H1Cr26Ni21 作为过渡层焊丝, 焊接 Monel 400/16MnR 复合板。研究了复合板焊接接头的弯曲性能、拉伸强度、主要化学元素在焊缝中的扩散程度及其微观组织。结果表明, 焊缝成形良好, 在距复层焊缝表面 2.4 mm 范围内, 焊丝化学成份对复层焊缝化学成份的稀释率为 0。焊接接头的拉伸强度为 630 MPa。面弯角大于等于 120°, 背弯角为 180°, 侧弯角大于等于 100°。焊接接头具有良好的综合机械性能。

**关键词:** Monel 400; 复合板; 焊接; 压力容器

**中图分类号:** TG457.11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-185X(2001)06-0475-03

Monel 400 对一定浓度、温度的苛性碱溶液, 以及中等温度的稀盐酸、硫酸、磷酸、尤其对氢氟酸都具有良好的耐腐蚀性<sup>[1]</sup>。因此 Monel 400 常被用于化学工业中存在较强腐蚀的场合。由于 Monel 400 价格较贵, 因此制成 Monel 400/16 MnR 复合板使用, 可大幅度降低设备的制造成本。在 Monel 400/16 MnR 复合板设备制造技术中, 焊接技术是其中的核心技术之一。Monel 400 与 16 MnR 的机械性能、焊接工艺存在较大差异, 两种母材相互稀释的允许程度是有限的<sup>[2]</sup>。16 MnR 焊缝中溶入过量的 Cu 或 Ni 均将引起焊缝金属的热脆和开裂。因此在进行 Monel 400/16 MnR 焊接时, 在两种母材的交界处采用过渡层焊接的方法是减少稀释程度的有效措施。

选用过渡层焊丝时必须保证与两种母材之间能有相容的冶金关系。在焊接过程中, 由于 16MnR、Monel 400 中的化学元素会扩散到过渡层焊缝中去, 从而形成一种新合金, 其成分与焊缝的稀释率存在密切关系。必须考虑这种新合金的机械性能, 因为它可能是整个焊接接头中最薄弱的区域, 从某种程度上说, 过渡层焊缝的机械性能对复合板焊缝具有决定性的作用。本实验采用 H1Cr26Ni21 为过渡层焊丝, 研究了 Monel 400/16 MnR 焊接接头的弯曲性能、拉伸强度等宏观机械性能。采用日本 JSM-5800 型扫描电子显微镜, 对焊缝断面上主要化学元素的分布进行分析, 对稀释率进行研究, 并且观察了几个区域的金相组织。

## 1 实验方法

### 1.1 焊接工艺

如图 1 所示, 第 1~4 层为基层 16MnR 焊缝, 采用手工电弧焊 (SMAW), 焊条牌号为 J507; 第 5 层为过渡层焊缝, 采用手工氩弧焊 (TIG), 焊丝牌号为 H1Cr26Ni21; 第 6-7 层为复层 (Monel 400) 焊缝, 采用手工氩弧焊 (TIG), 焊丝牌号为 ERNiCu-7。

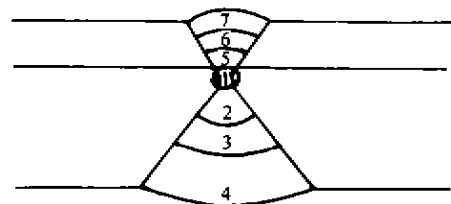


图 1 焊接次序示意图

Fig.1 Welding order

先进行基层焊接, 清理过渡层根部后用 H1Cr26Ni21 焊丝焊接过渡层, 最后进行复层焊接。

### 1.2 试样制取及分析

试板焊好以后, 按 JB4708-1994 规定分别制取焊接接头的拉伸试样及弯曲试样 (面弯、背弯、侧弯) 及金相试样。采用日本 JSM-5800 型扫描电子显微镜分析焊缝界面上化学元素的扩散规律及金相组织。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 拉伸试验结果

由于 Monel 400/16 MnR 复合板的焊接属于异种材料焊接的范畴,在复合板界面上,采用过渡层方式避免两金属直接熔焊时的弊病。过渡层焊缝中,冶金相容性不好的化学元素之间的大量扩散会使该层机械性能产生较大变化。实验要求复合板焊接接头的抗拉强度 ( $\sigma_b$ ) 应大于复合板母材抗拉强度的下限 ( $\sigma_{bmin}$ ),即:

$$\sigma_b \geq \sigma_{bmin} \quad (1)$$

Monel 400/16 MnR 复合板抗拉强度下限的计算值为  $\sigma_{bmin}=505$  MPa。本次实验中复合板焊接接头抗拉强度实验值  $\sigma_b=630$  MPa,满足式 (1) 的要求。

### 2.2 弯曲试验结果

由于目前国内没有 Monel 400/16 MnR 复合板的弯曲试验方法及对弯曲角的标准要求,因此参照 GB150-1998《钢制压力容器》标准,取弯轴直径  $D=3t$ ,支辊间距  $L=5.2t$ ,其中  $t$  为试样的厚度。

进行了 3 种弯曲实验,面弯、背弯及侧弯试验。弯曲时拉伸面为复层 (Monel 400) 时为面弯试验;拉伸面为基层 (16 MnR) 时为背弯试验;复合板侧面弯曲时,复层、过渡层、基层有相同的受力情形。试验结果如下:

面弯角  $\alpha_s \geq 120^\circ$ ,背弯角  $\alpha_b = 180^\circ$ ,侧弯角  $\alpha_c \geq 100^\circ$ 。

面弯试验过程中,弯曲到  $120^\circ$  时,复层表面未出现裂纹,但侧面过渡层焊缝边沿出了长度为 0.5 mm 裂纹,然而并未超过 1.5 mm 的长度允许值。侧弯试验时,复层、过渡层、基层焊缝同时承受拉伸应力,在弯曲到  $100^\circ$  时,上述 3 个区域并未出现裂纹。这说明, H1Cr26Ni21 过渡层的机械性能是良好的。

### 2.3 焊缝化学成份及金相

用扫描电子显微镜对焊缝化学成份进行定性和定量分析 (图 2)。

从扫描曲线可以看出,在基层和过渡层的熔合线上, Cr 向基体 16 MnR 中扩散的程度很小;在过渡层内, Cr 的分布是基本均匀的, Fe 的扫描线在熔合线上的变化比较缓慢。过渡层内靠近熔合线的地方, Fe 的含量要高于过渡层内 Fe 的平均含量,所以在焊接过程中,基层 16 MnR 中的 Fe 向过渡层内扩散的数量比较多。

在进行过渡层焊接时,由于 Fe, Cr, Cu, Ni 等元素的相互扩散,会使这一区域的化学成分与所使

用的焊丝 H1Cr26Ni21 化学成分相比产生较大的变化。表 1 是这一区域化学成份定量分析结果,主要由 Fe, Cr, Cu, Ni 组成,名义成分为 Fe62Cr17Ni14-Cu3,其中 Cr, Ni 含量的下降是被 16 MnR 及复层 Monel 400 中的 Fe, Cu 等元素稀释的结果。

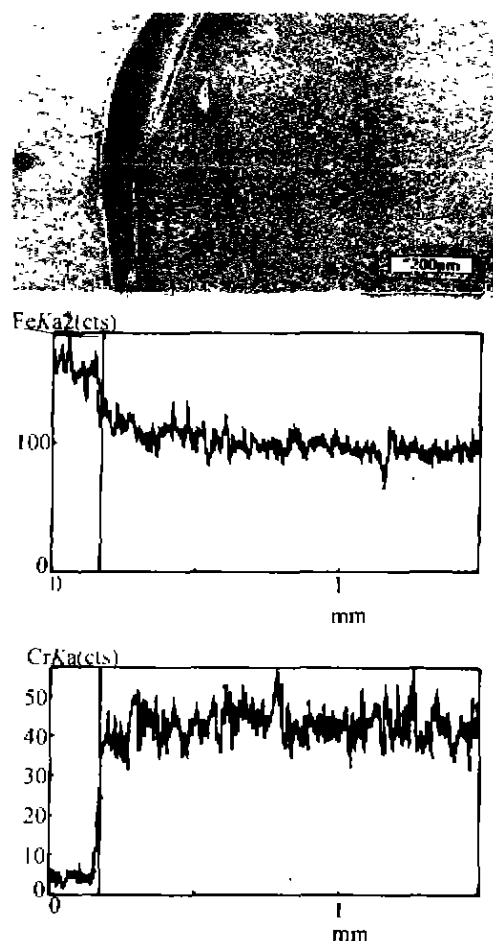


图 2 焊缝 EDAX 结果

Fig. 2 Weld EDAX result

在进行复层焊接时,过渡层中的 Fe, Cr 等元素又会向复层焊缝过渡,会对复层焊缝造成稀释,使复层焊缝的化学成分发生变化。在某些场合下,特别在强腐蚀介质中,这种成分的变化往往是很危险的,它会使耐蚀性下降。因此要尽量减少这种稀释的程度。在距复层焊缝表面 2.4 mm (复层厚度的 80%) 处,测定化学成分 (表 1)。

从扫描曲线的变化趋势及表 2 化学成分可以看出,复层焊缝与 FeRNiCu-7 的化学成份的标准允许值基本上是一致的。Fe 元素并未大量扩散到复层焊缝深处,它对 2.4 mm 以外的复层焊缝的稀释率为 0。

图 3~图 5 是过渡层、复层及两者界面的扫描电子显微照片。通过对 3 个区域的扫描电子显微观察,未发现显微裂纹等焊接缺陷。

表 1 过渡层焊缝及复层焊缝 2.4 mm 深处的化学成分

Table 1 The chemical elements of the transition-layer weld (TL) and at the depth 2.4 mm from the clad-layer surface (DL)

| Element         | Fe    | Cr    | Ni    | Cu    | O    | Al   | Si   | Ti   | Mn   | Mo   |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| TL content, w/% | 61.65 | 16.78 | 14.28 | 2.81  | 2.45 | 0.02 | 0.28 | 0.05 | 1.38 | 0.19 |
| DL content, w/% | 3.49  | 0.55  | 62.45 | 27.41 | 0.52 | 0.02 | 0.96 | 1.53 | 3.04 | 0.04 |

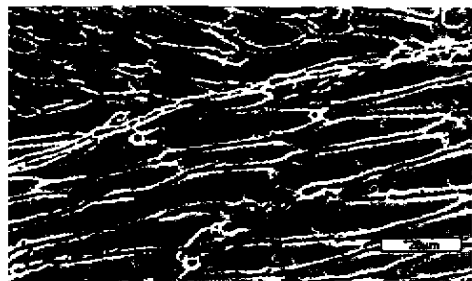


图 3 过渡层形貌, ·1 000

Fig. 3 Microstructure of transition-layer

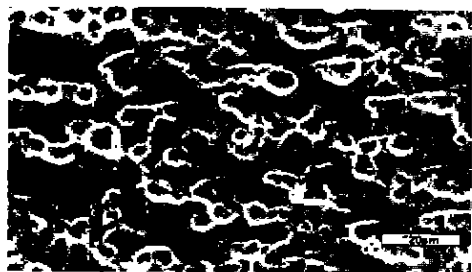


图 4 复层形貌, ·1 000

Fig. 4 Microstructure of clad-layer



图 5 过渡层+复层形貌, ·1 000

Fig. 5 Microstructure of transition-layer and clad-layer

2) 复合板焊接接头的抗拉强度为 630 MPa, 面弯角  $\alpha_s \geq 120^\circ$ , 背弯角  $\alpha_b = 180^\circ$ , 侧弯角  $\alpha_c \geq 100^\circ$ 。焊缝综合机械性能优良。

3) H1Cr26Ni21 与 16MnR 及 Monel 400 具有良好的冶金相容性, 能有效降低 16 MnR 钢中元素对 Monel 400 焊缝的稀释, 获得满意的复层焊缝。

#### 参考文献 References

- [1] Zhang Wenqi (张文奇) et al. *Metals Corrosion Handbook* (金属腐蚀手册)[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987: 316~320
- [2] American Society for Metals. *Metals Handbook*, 9th Edition[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1983: 6: 216~218

### 3 结 论

1) Monel 400/16 MnR 复合板焊接中, H1Cr26-Ni21 是一种焊接性能优良的过渡层焊材。

## Effect of Transition-layer Wire on Monel 400 Clad Steel Welding Properties

Ai Jianling, Yang Yongfu, Ju Jianhui, Zhang Jian, Fu Weijun, Wu Guangling  
(Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Baoji 721014, P. R. China)

**Abstract:** In case of using H1Cr26Ni21 as transition-layer wire in Monel 400/16 MnR welding process, the bend properties, tensile strength, element diffusion and microstructure in weld joint were studied. The element dilution ratio of transition-layer to clad-layer at depth of 2.4 mm approached zero. The tensile strength of the weld joint was 630 MPa. The angle of surface bend is more than  $120^\circ$ , the back bend angle is  $180^\circ$ , and the side bend angle is more than  $100^\circ$ ; Thus on account of its multiple H1Cr26Ni21 can be used as a transition-layer wire in the welding of some important engineering structures made of for example pressure vessels thus on account of its multiple.

**Key words:** Monel 400; Monel 400 clad steel; welding; transition-layer; pressure vessel

**Biography:** Ai Jianling, Engineer, Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Baoji 721014, P. R. China, Tel: 0086-917-3382049