

35CrMo 钢与 16Mn 钢的焊接

成都电力机械厂 李一民*

摘要 根据叶轮轮毂(由35CrMo 钢主轴套和 16Mn 轮盘焊接而成)在动载荷工作条件下对焊缝的设计要求,通过几种焊接接头机械性能的比较,选取适用的焊接材料,并确定出合理的温度参数,保证了焊接质量。

WELDING BETWEEN 35CrMo STEEL AND 16Mn STEEL

Li Yimin

Abstract According to the design requirement for welded joint of wheel hub made from 35CrMo steel for main axle sleeve and 16Mn steel for wheel working under dynamic condition, a number of welded joints have been made. Through the comparison for mechanical properties among these joints, the suitable welding material, the optimum procedure parameters and the reasonable temperature condition are selected and determined so that the weld quality is guaranteed.

关键词 异种钢焊接 35CrMo钢与16Mn钢 // 手弧焊

1. 问题的提出

某电厂 2×10^5 kW 机组的动叶可调轴流风机叶轮的轮毂($\phi 1590 \times 470$ mm),系承受动载荷(1485 r/min)的关键部件,需将材质为 35CrMo 的主轴套同 16Mn 的轮盘焊接成轮毂的主体。其焊缝位置见图 1 箭头处。按设计要求,35CrMo 主轴套在调质状态下与 16Mn 轮盘焊接,焊后仅进行整体回火处理。因 35CrMo 钢的焊接性较差,裂纹倾向较大,再加上两种钢的强度级别不同,焊前各自所处的状态不同,所以在制定焊接工艺时应考虑下述几个问题:①选择一种合适的焊条;②确定合理的预热、层间和后热温度;③确定 HAZ(35CrMo 侧)的软化程度,以保证焊接接头能胜任工况的需要。

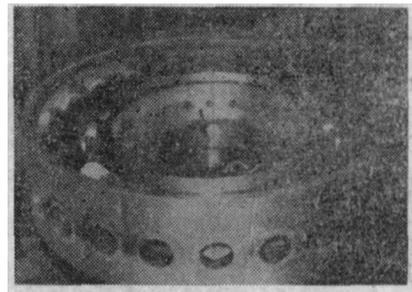


图 1 工件外观图

2. 焊条的选择

根据实际情况,焊接试板规格为 $300 \times 260 \times 36$ mm,坡口形式及尺寸见图 2。焊条为 $\phi 4$ mm,直流反接,焊接时在试板上适当地附加拘束条件。为得到准确的试验结果,在 4 块试板的焊接过程中,对预热、层间、后热温度的控制及焊接电流、速度等工艺参数力求保持

* 参加本项工作的还有金珏、王永芬、曹桂荣、徐大泽等同志。

一致。试板焊后同时入炉进行热处理。在采用机械加工方法下料时，必须在相应的同一部位切取相同的机械性能试板。

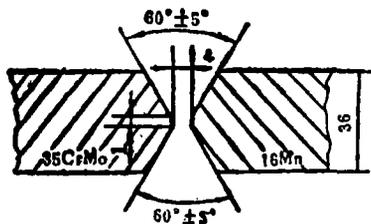


图2 试板坡口形式及尺寸

(1) 强度试验

参照GB2649-81，每种焊条所焊试件均取3件，其拉伸试验结果如表1所示。

表1 焊接接头、母材拉伸试验结果

试样编号	σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	δ (%)	ψ (%)	断口位置
A ₁₋₃	402.5	584.2	16.8	62.3	母材(16Mn)
B ₁₋₃	393.4	579.8	17.1	61.2	母材(16Mn)
C ₁₋₃	404.8	581.0	16.7	59.1	焊缝
D ₁₋₃	428.1	570.6	16.6	65.8	焊缝
35 ₁₋₃	498.0	751.1	19.0	46.6	—
16 ₁₋₃	399.7	566.5	29.5	65.0	—

注：表中A₁₋₃、B₁₋₃、C₁₋₃、D₁₋₃分别为用A、B、C、D四种焊条所焊试样，35₁₋₃为调质状态下的35CrMo钢($\phi=330\text{mm}$)的切向切取的试样，16₁₋₃为16Mn热轧钢板($\phi=42\text{mm}$)的垂直轧制方向切取的试样。

(2) 弯曲试验

将四种焊接接头分面弯、侧弯依次按50°、100°的角度进行试验，其结果见表2、表3。

表2 焊接接头面弯试验结果(d=3a)

试样编号	弯曲角度(°)	结 果	弯曲角度(°)	结 果
A ₁	50	16Mn侧，熔合线上全裂，不合格	—	—
A ₂	50	16Mn侧，熔合线上全裂，不合格	—	—
B ₁	50	合格	100	合格
B ₂	50	合格	100	合格
C ₁	50	合格	100	合格
C ₂	50	合格	100	合格
D ₁	50	合格	100	合格
D ₂	50	合格	100	合格

表3 焊接接头侧弯试验结果(d=3a)

试样编号	弯曲角度(°)	结 果	弯曲角度(°)	结 果
A ₁	50	16Mn侧，熔合线上裂纹长2mm，不合格	100	16Mn侧，熔合线上裂纹长10mm，不合格
A ₂	50	16Mn侧，熔合线上裂纹长8mm，不合格	100	16Mn侧，熔合线上裂纹长11mm，不合格
B ₁	50	合格	100	合格
B ₂	50	合格	100	合格
C ₁	50	合格	100	合格
C ₂	50	合格	100	合格
D ₁	50	合格	100	合格
D ₂	50	合格	100	合格

(3) 韧性试验

采用A、B、C、D四种焊条分别焊接35CrMo钢与16Mn钢，对每种接头取五个不同部位(母材、热影响区、熔合线、焊缝)，垂直板面开V形缺口进行冲击试验，试验结果见图3。

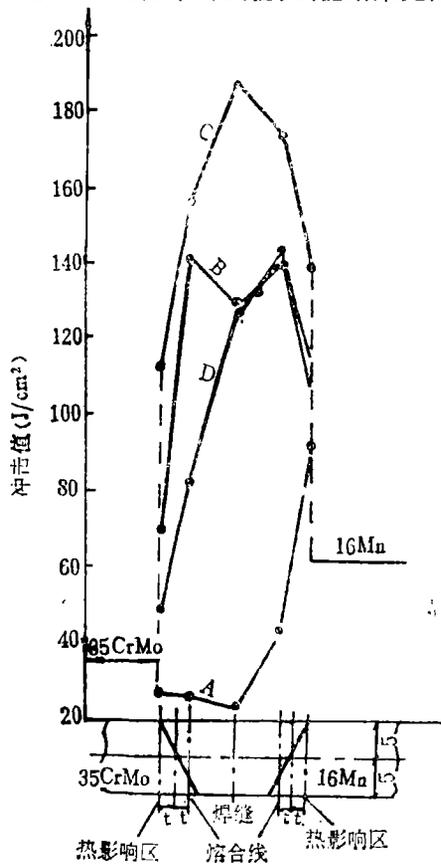


图3 试件的冲击韧性值

(4) 焊条的确定

将焊接接头在静载条件下的强度试验结果(表1),同二次计算法所求出的主轴套-轮盘焊缝在径、切方向上的强度值相比较,可以看出,这四种焊条所焊的接头强度指标均满足设计要求,但是焊条C、D的断口在焊缝中央,不符合应大于16Mn强度的设计原则,故不能考虑。

由表2、表3中可以看出, B、C、D三种焊接接头的弯曲结果均合乎要求,尤其是接头B。有针对性的在更苛刻的条件下($\alpha=135^\circ$)进行面弯、侧弯试验,试样中整个焊缝区域内的塑性变形表征良好,母材、热影响区、焊缝三者的变形均匀一致。

从图3可看出:①除焊条A的焊接接头外,其余三种焊条焊接接头各部位的 ak_1 值(V形缺口冲击韧性值)(三个试样的平均值),均高于母材(35CrMo钢与16Mn钢);②四种接头各部位的 ak_1 值以铁粉低氢、高韧性焊条C的为最高, B、D次之,而A为最低;③除接头A外,在其它三种接头的整个区域内,其最小韧性值均在过热区上,而不是在熔合线处。④焊条B焊接接头,焊缝的 ak_1 值比熔合线的低,这可能是与该处的金相组织、晶粒度等有关(见图4)。

根据接头的综合性能,可以确认,35CrMo在调质状态下与16Mn焊接,选择焊条B最佳。

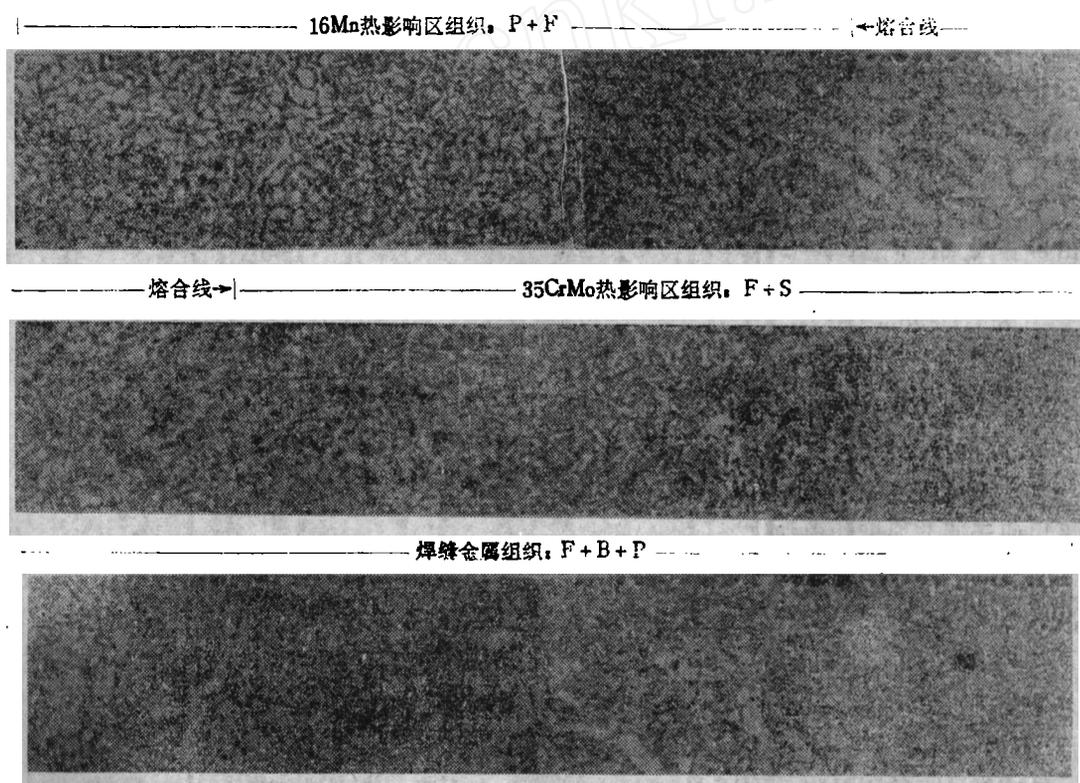


图4 35CrMo+16Mn焊缝的金相组织 ($\times 200$)

用焊条B焊接, 4%硝酸酒精溶液浸蚀

3. 预热及层间温度的控制

(1) 预热温度的选择

35CrMo钢的焊接性较差, 所以其预热温

度是一个重要的工艺参数。焊前合理预热有利于焊接接头中扩散氢的逸出, 减少组织的淬硬倾向。预热温度的确定, 主要与焊缝金属中的扩散氢含量、坡口形式、母材化学成分、焊料

的拘束度大小等因素有关。对预热温度的估算,目前主要有:碳当量法、工艺试验法、裂纹敏感指数法、临界冷却时间法和工艺试验法。根据现有资料,关于中碳调质钢预热温度值的估算迄今为止还没有一个可供采纳的公式。因此欲采用裂纹敏感指数法的表达式进行估算,只可视为一种近似的算法,最后结果必须在结合工艺试验的情况后,方可决定。根据上述几种方法进行估算有:

由中碳钢预热公式, $T_0(^\circ\text{C})=550(C-0.12)+0.4h$, 求得, $T_0=146^\circ\text{C}$;

由碳当量公式, $T_0(^\circ\text{C})=360CE_{IIW}$
 $CE_{IIW}=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Cu+Ni}{15}+\frac{Cr+Mo+V}{5}$,
 求得, $T_0=238^\circ\text{C}$;

由天津大学公式, $T_0(^\circ\text{C})=324P_{om}+17.7[H]+0.14\sigma_b+4.72h-214$, $P_{om}=C+\frac{Si}{30}+\frac{Mn+Cu+Cr}{20}+\frac{Ni}{60}+\frac{Mo}{15}+\frac{V}{10}+5B$, 求得, $T_0=243^\circ\text{C}$;

由伊藤公式, $T_0(^\circ\text{C})=1440P_0-392$, $P_0=P_{om}+\frac{[H]}{60}+\frac{h}{600}$, 求得, $T_0=320^\circ\text{C}$ 。

参照以上所求出的预热温度值,并结合焊接工艺试验的结果,最后确定的预热温度在 $220\pm 10^\circ\text{C}$ 的范围。

(2) 层间温度的确定

采用便于调节温度的电加热器,将层间温度控制在 $220\pm 20^\circ\text{C}$ 的范围内,考虑到焊件散热情况好于试板,以及电加热器的功率偏小,备用了氧-乙炔枪准备随时加热。焊接整个过程必须连续进行,中途不得中断,并应力求缩短各层(道)焊缝的焊接间隔时间,选用灵敏度,精确度较好的测温仪(WREA-890型)监测温度变化。

(3) 后热温度的确定

及时后热能扩散氢充分逸出,降低残余应力值,改善接头的组织和性能。尤为重要的是,后热对中碳调质钢的热影响区和焊缝组织还具有韧化效果。轮毂焊后因条件限制,不能

及时入炉进行整体回火处理,所以对其实施紧急后热,亦是一项重要的工艺措施,后热规范: $250\pm 20^\circ\text{C}\times 1\text{h}$ 。加热后,用三层硅酸铝板覆盖轮毂,缓冷保温。

4. 35CrMo钢的软化

中碳调质钢35CrMo在调质状态下焊接,其热影响区高温回火区因软化而引起强度下降(图5),这说明了中碳调质钢在调质状态下焊接,焊后仅进行高温回火处理而不调质,在热影响区中的软化现象是存在的。尽管35CrMo侧热影响区的硬度值有一定的下降,但仍高于接头另一侧母材16Mn的硬度值,因此这种软化现象对接头影响不大。

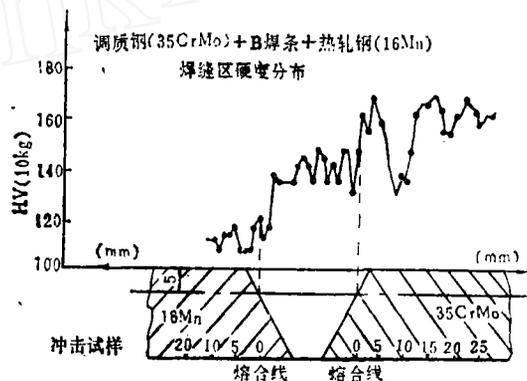


图5 试件焊缝区硬度分布

5. 焊接工艺和质量

对35CrMo与16Mn的焊接工艺参数应按焊接性较差的35CrMo的特点来制定。由于35CrMo在调质状态下施焊,其热影响区因马氏体所引起的硬化和脆化在焊接后可通过回火处理得以解决,而高温回火区因软化所产生的强度下降,又可以忽略不计,因此拟定焊接工艺措施的侧重点应放在防止产生冷裂纹和最大限度地提高焊缝的韧性上。

为防止冷裂纹,施焊时可适当地增大线能量,尽可能缩短根部焊接和层间焊接的间隔时间,并保证整条焊缝连续焊接完毕。认真执行预热,层间温度的控制和紧急后热等工艺措

施。另外,将轮毂进行整体回火处理的温度应控制在比35CrMo调质时回火温度低50℃的范围内。

考虑到叶轮轮毂是在动载工况下运行,主轴套35CrMo的韧性值不高,故从安全角度出发,希望其焊接接头的韧性储备越高越好。对此,为减少高温停留时间,避免奥氏体晶粒过热,须采用较小的线能量焊接,并配合采取合理地预热和缓冷,以利于过热区的韧性提高。实际焊接时,基本上按照焊条B做焊接性试验的工艺参数施焊。轮毂由高温回火处理、机械加工和经超速试验台运转后,经多次无损探伤检验,焊缝质量均达到了JB1152-81的I级标准。由电厂实际带负荷运行证明,采用焊条B焊接的该轮毂,其性能符合技术要求,在动载工作条件下具有相当的可靠性。

6. 结 论

(1) 中碳调质钢35CrMo与16Mn采用手工电弧焊方法进行焊接,首先要选择合适的焊条。经过焊接性试验,选用了各项力学性能综合指标均较理想的焊条B。通过采用合理的焊接工艺施焊,可以使焊缝质量达到设计要求。

(2) 为防止35CrMo钢的冷裂纹,焊前进行预热,控制好层间温度和后热处理是工艺的关键。为保证焊接接头具备一定的冲击韧性值,应选择合适的焊接线能量。

(3) 对中碳调质钢预热温度的估算,目前还没有适用的计算公式。借用其它的算法,并作一些工艺试验和修正,所求的 T_0 值是可行的。层间温度的控制原则是不得低于预热温度,而后热处理的关键则在于及时实施。

9%Ni 钢 焊 接 接 头 韧 性 的 研 究

中国船舶工业总公司 陈家本 俞冠洁 唐翠宝

摘要 对9%Ni钢进行了实际焊接接头和模拟HAZ(热影响区)韧性的研究。经恒电位腐蚀法显示,呈弥散分布的回转奥代体 A' 能细化晶粒、提高HAZ的低温韧性。施焊中采用多道、多层、小线能量,可使焊接接头的HAZ形成回转奥氏体 A' 。

A STUDY TO THE TOUGHNESS OF 9%Ni STEEL WELDED JOINT

Chen Jiaben et al.

Abstract The toughness of 9%Ni steel welded joint and simulated HAZ have been studied. The experimental results from constant potential corrosion testing have shown that as the reversal austenite A' appear in the dispersed distribution, the grain will be fined and low temperature toughness be increased. The reversal austenite A' can be formed in HAZ when the welding procedure with more passes to form multiple-layers as low heat input is adopted.

主题词 焊接接头 低温钢 // 韧性