

## D6AC 钢与异种钢材焊后调质处理研究

黄文荣 (中国工程物理研究院机械制造工艺研究所, 成都 610003)

**摘要** 研究了 D6AC 超高强度钢与异种钢材焊后调质处理及力学性能。结果表明, 采用合理的热处理工艺, 可减少组焊件调质处理变形, 消除开裂, 热处理后可同时保证组焊件的尺寸和力学性能。

**叙词** 超高强度钢 调质处理 异种钢焊接

## Study on the Quenching and Tempering Treatment of D6AC Steel Welded with Another Steel

Huang Wenrong

(Institute of Mechanical Manufacture Technology,  
China Academy of Engineering physics, Chengdu 610003, PRC)

**Abstract** In this paper, the hardening and tempering treatment as well as the mechanical properties has been studied after the superstrength steel D6AC welded with another steel. The result shows that, for the combination parts, the deformation during the quenching and tempering can be diminished, the crack eliminated, at the same time, the dimensions and mechanical properties can be qualified, when the proper heat treatment technology is adopted.

## 0 引言

D6AC 钢系美国牌号的超高强度钢, 其碳当量高达 1.1%, 淬硬倾向强, 属难焊材料<sup>[1]</sup>, 且超高强度钢在电弧焊和氢原子焊过程中极易吸氢, 引起氢脆<sup>[2]</sup>。

与异种材料(20 钢)氢弧焊后, 两种材料熔合性差, 由于热膨胀系数及导热性差异, 容易造成焊后调质处理的变形和开裂倾向, 使人望而却步。如采用适当的热处理工艺, 以消除焊后的残余应力, 减缓热膨胀、导热性差异而重新产生应力, 并使调质处理后的尺寸及力学性能满足要求。本文就此氢弧焊后调质处理的可行性作一验证。

## 1 实验材料与方法

## 1.1 实验材料

D6AC 超高强度钢化学成分(%): C 0.42~0.48, Si 0.15~0.30, Mn 0.69~0.90, P 0.025, S 0.015, Cr 0.80~1.05, Ni 0.40~0.70, Mo 0.90~1.10, V 0.05~0.10。

## 1.2 实验方法

1994-04-08 收到初稿, 1994-06-05 收到修改稿

将 D6AC 钢材料截取成 20mm×20mm×8mm 方块试样做工艺参数试验, 截取 150mm×60mm×8mm 板状试样与相同尺寸的 20 钢试样氢弧对焊后做调质处理工艺试验和焊缝拉伸性能试验。组焊件实物用线切割机截取纵横向试样, 做实物解剖力学性能试验。

用 HR-150 洛氏硬度计测试硬度, 用光学金相显微镜观察显微组织, 用 XYT-3010/5 机作焊缝 X 射线透射检测, 用 WE-100B 万能材料试验机和 JBZ-300 自动冲击试验机作力学性能试验。

## 2 结果与分析

## 2.1 D6AC 材料回火温度与硬度关系

试样全部经 860℃×15min 油冷淬火, 淬火后硬度为 56HRC。然后从 440℃开始, 每间隔 20℃设一参数点进行回火, 保温 1.5h 油冷, 做出 D6AC 钢回火温度-硬度对照表(见表 1), 图 1 是回火温度-硬度曲线, 调质硬度根据曲线选择。

图 2 是 860℃油淬、620℃回火后的金相组织, 全部为均匀的回火索氏体, 说明工艺参数是合适的。

## 2.2 与异种钢材氢弧焊后调质处理工艺选择

与异种材料 20 钢氢弧对焊后, 采用以下三种不同工艺进行调质处理: (1) 直接 860℃×15min 淬火油冷,

表 1 回火温度-硬度对照

回火温度, C	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680
硬度, HRC	47	46	45	45.5	45.5	44.5	45.5	—	43.8	40.7	37.5	35	31

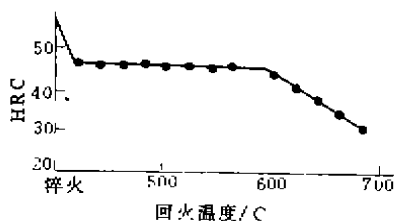


图 1 回火温度-硬度曲线

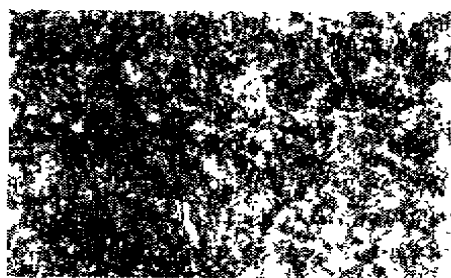


图 2 回火索氏体 500×

620℃×2h 回火油冷;(2) 先进行 700~720℃×2h 随炉冷至 300℃以下,出炉空冷至室温的预处理,以消除组焊件的焊接应力,再进行 860℃×15min 淬火油冷,620℃×2h 回火油冷;(3) 先进行 700~720℃×2h 随炉冷至 300℃以下,出炉空冷至室温的预处理,再在 500~550℃×30min 预热,然后随炉升至 860℃×15min 淬火油冷,620℃×2h 回火油冷。

在三种不同的热处理工艺下,试样调质处理后测其两大面翘曲变形量,再用 X 射线作焊缝透射探伤检测,结果见表 2。可见经 700~720℃×2h 的消除焊接残余应力的预处理,然后再进行调质处理,焊缝经探伤未发现裂纹,同时两大平面翘曲变形量也明显减小;淬火前经 500~550℃×30min 预热,减缓了两异种材料热膨胀及导热性差异而产生的热应力,因此也减少了调质处理后的变形。

表 2 不同的热处理工艺下试样变形与开裂情况

工艺	翘曲变形量,mm	焊缝 X 射线探伤
1	0.5~0.7	个别有裂纹
2	0.16~0.25	未发现裂纹
3	最大<0.18	未发现裂纹

可见,为减小组焊件调质处理后的变形、消除开裂,采用工艺(3)较合适。

### 2.3 焊缝拉伸力学性能

与异种材料 20 钢对焊后,按工艺(3)进行调质处理,制成标准板状拉伸试样<sup>[3]</sup>,结果见表 3,全部断裂在 20 钢母材一边。可见,调质处理未产生开裂,焊缝力学性能良好。

表 3 焊缝拉伸力学性能

试样号	$\sigma_b$ , MPa	$\delta_5$ , %	断裂位置
1	677.8	39.3	20 钢母材
2	682.2	36.2	20 钢母材
3	682.2	36.8	20 钢母材

### 2.4 与异种材料焊后调质处理批量生产情况

与异种材料 20 钢氩弧焊后,采用工艺(3)经不同比例、不同尺寸的批量调质处理生产,100%作 X 射线探伤检测,未发现裂纹或残存裂纹再扩张。

### 2.5 与异种材料焊后调质处理母材 D6AC 钢的力学性能

母材 D6AC 力学性能试样是在实物上用线切割机获取的。抽检实物尺寸为  $\varnothing 420\text{mm}$  (外圆)  $\times \varnothing 370\text{mm}$  (内孔)  $\times 780\text{mm}$  (高) 的单通筒体,圆筒壁上有多个壁孔(约  $\varnothing 140\text{mm}$ ) 与 20 钢氩弧焊而成的组焊件。

调质处理与工艺(3)相同,保温时间根据有效厚度适当调整。解剖后按国标制成拉伸、冲击及硬度、金相等试样,结果见表 4、5。纵、横向力学性能数据很接近,异向性不明显。从表 4、表 5 看出,  $\delta_{10} \geq 9\%$ ,  $\psi \geq 43.5\%$ ,说明缺口敏感性小。可满足超高强度钢塑性  $\delta \geq 8\%$ ,  $\psi \geq 35\%$  的使用要求<sup>[2]</sup>。

表 4 纵向力学性能

$\sigma_b$ , MPa	$\sigma_{0.2}$ , MPa	$\delta_{10}$ , %	$\psi$ , %	$\alpha_K$ , kJ/m <sup>2</sup>
1375	1308	9.0	43.5	523

表 5 横向力学性能

$\sigma_b$ , MPa	$\sigma_{0.2}$ , MPa	$\delta_{10}$ , %	$\psi$ , %	$\alpha_K$ , kJ/m <sup>2</sup>
1350	1284	9.6	47	552

#### 2.5.1 硬度梯度

在筒壁的截面上截取的硬度试样,从外表面向内

(下转第 60 页)