

船用主机减速器大齿轮 40CrNiMoA 轮缘的焊接

纪海东¹, 王琴², 徐涛², 王立滨²

(1. 双鸭山第一发电有限公司, 黑龙江 双鸭山 155136; 2. 哈尔滨汽轮机厂有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150046)

摘要: 分析了船用主机减速器大齿轮 40CrNiMoA 轮缘的焊接性、焊接性试验、焊接方法、工艺参数的选择性及大齿轮的生产焊接等情况, 编制大齿轮焊接工艺。

关键词: 大型齿轮; 焊接; 自动焊

中图分类号: TG457.25 文献标识码: B

1 前言

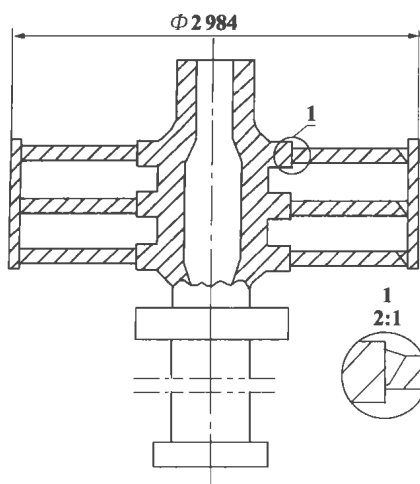


图1 齿轮结构简图

船用主机减速器大齿轮是低速重载齿轮, 其结构采用焊接结构。轮缘材质为 40CrNiMoA, 轮盘为 25 号钢, 轮轴为 30CrMoA。焊缝厚度为 50 mm, 采用双面焊全焊透

结构, 焊接质量要求射线探伤, 大齿轮外形尺寸大, 最大直径为 2 984 mm, 见图 1。焊后轮缘基于轴径偏差不超过 1.5 mm。40CrNiMoA 作为焊接齿轮国内外均有采用, 但尺寸均较小, 焊接质量要求低。现在这种大尺寸和焊接质量要求高的齿轮国内尚属首次。为此, 对该齿轮所采用的钢种在调质状态下的焊接工艺进行研究。

2 焊接性分析

40CrNiMoA 和 30CrMoA 是 Cr-Ni-Mo 系列的

中碳调质钢, 该钢中加入了 Mo 和 Ni, 显著提高了钢的淬透性, 使它们具有良好的综合性能, 其化学成分及机械性能见表 1 和表 2。

表1 化学成分

材料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
40CrNiMoA	0.38	0.26	0.62	0.017	0.009	0.78	0.20	1.45
30CrMoA	0.35	0.33	0.60	0.018	0.016	0.98	0.19	—
25	0.26	0.24	0.49	0.03	0.011	—	—	—
E5015	0.12	0.15	1.6	0.035	0.035	—	—	—
H08Mn2SiA	0.11	0.65-0.95	1.8-2.1	0.040	0.040	—	—	—

表2 机械性能

材料	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%	φ /%	A_{kv} /J
40CrNiMoA	735	980	12.5	64.5	103
30CrMoA	595	750	19.5	67.5	135

但是, 它们的焊接性很差。焊接时主要有以下几个问题。

2.1 较大的热裂纹倾向

中碳调质钢含碳量及合金元素含量都较高, 因此, 液-固相区间较大, 偏析也更严重, 这就促使其具有较大的热裂纹倾向。为了改善其抗热裂纹的性能, 应该对焊缝的 S 和 P 的总量进行限制。在焊接工艺中应注意填满弧坑和良好的焊接成形。

2.2 冷裂纹的敏感性

由国际焊接学会的碳当量公式:

$$Ceq = C + Mn/6 + (Ni + Cu)/15 +$$

$$(Cr + Mo + V)/5, \%$$

计算得出: 40CrNiMoA 的碳当量 $Ceq = 0.91$

$$30CrMoA \text{ 的碳当量 } Ceq = 0.7$$

由此可知其淬硬倾向十分明显, 冷裂纹倾向较为严重。另外, 由等温转变曲线可知, 中碳调质钢 Ms 点较低, 在低温下形成马氏体一般难以产生“自回火”效应, 并且由于马氏体中的含碳量较高, 有很

大的饱和度,因而,硬度和脆性更大,对冷裂纹敏感性更大。

2.3 热影响区的脆化和硬化

由于合金含量过高,有相当大的淬硬性,因此,在焊接热影响区的过热区很容易产生硬脆的高碳马氏体,冷却速度越大,生成的高碳马氏体越多,脆化和硬化越严重。

3 焊接性试验

3.1 斜 Y 型坡口焊接裂纹试验

根据 GB4675.1—84 对 40CrNiMoA 和 30CrMoA 分别进行斜 Y 型坡口焊接裂纹试验,厚度 $\delta=20$ mm。分别选择室温至 350 °C 五种温度,从试验结果看焊接预热温度应在 350 °C 以上。

3.2 热影响区最高硬度试验

根据 GB4675.5—84 进行热影响区最高硬度试验,试验中 40CrNiMoA 最高硬度 $HV=760$; 30CrMoA 最高硬度 $HV=670$ 。

从实验可见两种材料的焊接性很差,焊接时应采取预热、缓冷及焊后热处理。

4 焊接方法及工艺参数的选择

4.1 焊接方法的选择

根据大型齿轮结构尺寸大,焊接质量要求高的特点,我们选择了手工电弧焊和气体保护焊两种焊接方法进行焊接工艺性研究。一般来说,手工电弧焊以其焊接线能量适中、操作简便、焊接接头性能好及质量稳定等优点在大型齿轮的生产中得到广泛应用。但在预热条件下焊接时,生产环境恶劣,劳动强度大,人员素质要求高,因此这种方法相对落后。近年来,自动或半自动焊以其高效、节能、优质等优点在发达国家被广泛使用,尤其在使用混合气体(80% Ar+20% CO₂)保护时,其线能量小、高温停留时间短,避免了奥氏体晶粒长大;同时采用预热和缓冷等措施,可防止热影响区的脆化。另外气体保护焊还有电弧稳定、飞溅小、熔渣少、焊接质量及机械性能好等优点,被机械部列为重点推广项目。因此,在焊接工艺试验中,我们选择手工电弧焊和混合气体保护焊(MAG)两种焊接方法同时进行。

4.2 焊接工艺参数(表 3)

4.3 焊接结构及预热温度的选择

根据 40CrNiMoA 和 30CrMoA 的马氏体转变温度 $M_s=300$ °C~320 °C,为了保证不发生硬而脆的马氏体,预热温度应选择在 350 °C~400 °C。在此温度下直接装配焊接大齿轮,生产环境非常恶劣,所以,我们在 40CrNiMoA 和 30CrMoA 侧堆焊了一层低碳钢过度层(因为堆焊过渡层时焊接结构简单、工作量少而有利于焊接)。这样,在大齿轮整体焊接时预热温度大大降低,有利于焊接。

表 3 焊接工艺参数

焊接方法	焊材及规格	焊接电流 /A	焊接电压 /V	焊速 /m·h ⁻¹	保护气体		焊丝干伸长长度 /mm	
					Ar	CO ₂ 流量 /l·min ⁻¹		
自动焊	H08Mn2SiA Φ1.6	300~340	26~34	27~32	80	20	21~25	13~16
手弧焊	ES015 Φ5	170~210	—	10~15	—	—	—	—

预热温度如下:

40CrNiMoA +25 堆焊: 350 °C~400 °C

装焊: 200 °C~250 °C

30CrMoA +25 堆焊: 200 °C~250 °C

装焊: 室温

同时对轮盘(25 钢)也适当预热,以形成温度梯度,这样焊后齿轮形成压应力,对焊接接头和齿轮工作都有利。

4.4 平板对接试验

焊接性试验后,我们对 40CrNiMoA +25 和 30CrMoA +25 分别进行手工电弧焊和气体保护焊平板对接焊接试验。气体保护焊时焊丝呈亚射流过渡,电弧稳定、飞溅小、熔池保护良好。焊后进行 500 °C 回火,对试板进行检查。

4.4.1 机械性能

焊接接头拉伸 $\sigma_s=275\sim290$ MPa; $\sigma_b=500$ MPa,均断于 25 号钢母材。各部位 V 型缺口冲击韧性平均值与母材相当。

4.4.2 金相组织

分别对各区进行金相组织分析,在合金钢侧金相组织为索氏体+贝氏体+铁素体组织,未见马氏体组织。

4.4.3 化学成分分析

焊缝化学成分分析为低碳钢成分。

5 大齿轮的生产焊接

(下转第 206 页)

备是无规律地间断用汽,难以算出设备每天和每年的用汽时间,故用凝结水每小时的最大回收量及五个半月统计出来的实际回收量进行经济效益分析,

表 2 经济效益分析

	目前回收情况	全部设备均可回收时
最大回收凝水量/ $t \cdot h^{-1}$	5.6	20.75
每年回收凝水量/ $t \cdot a^{-1}$	$9\ 168.7 \div 5.5 \times 12 = 20\ 986$	$20\ 986 \div 5.6 \times 20.75 = 77\ 761$
水费+软水处理费/ $元 \cdot t^{-1}$	$1.30 + 0.70 = 2.00$	
每年节约水费/ $元 \cdot a^{-1}$	$20\ 986 \times 2 = 41\ 972$	$77\ 761 \times 2 = 155\ 522$
凝结水温度/ $^{\circ}C$	115	
自来水年平均温度/ $^{\circ}C$	20	
回收凝水热焓/ $kJ \cdot kg^{-1}$	$(115 - 20) \times 4.1868 = 398$	
每年可回收热量/ $MJ \cdot a^{-1}$	$20\ 986 \times 398 = 8\ 352\ 428$	$77\ 761 \times 398 = 30\ 948\ 878$
煤的热值/ $MJ \cdot t^{-1}$	$5\ 200 \times 4.1868 = 21\ 771$	
锅炉运行热效率/ $\%$	60	
每年节煤/ $t \cdot a^{-1}$	$8\ 352\ 428 \div 21\ 771 \div 0.6$	$30\ 948\ 878 \div 21\ 771 \div 0.6$
煤价/ $元 \cdot t^{-1}$	$= 69.42$	$= 2\ 369.27$
每年节约燃料费/ $元 \cdot a^{-1}$	$69.42 \times 320 = 204\ 614$	$2\ 369.27 \times 320 = 758\ 166$
每年共节省开支/ $元 \cdot a^{-1}$	$41\ 972 + 204\ 614 = 246\ 586$	$155\ 522 + 758\ 166 = 913\ 688$
工程投资/元	287 000	
投资回收期/月	$287\ 000 \div 246\ 586 \times 12 < 14$	$287\ 000 \div 913\ 688 \times 12 < 4$

其结果是:按目前用汽情况,每年可节省费用 24.65 万元,投资回收期约 14 个月;公司搬迁完毕后,按最大凝结水回收量计算,每年可节省费用 91.4 万元,投资回收期约 4 个月,详见表 2。

从冷凝水闭式回收装置的技术分析和在东亚公司的成功运用可以说明,该装置节能效果显著,节能率可达到 15%~25%,减少烟气排放 20%以上,回收冷凝水水质好,与国外同类产品相比,具有独特的先进性和实用性,且投资较少,投资回收期短,社会效益和经济效益明显。

参考文献:

[1] 机械部技术发展基金委员.中国蒸汽管网系统的环保现状及发展潜力研究[R].北京,机械部机械科学研究院,1997.
 [2] 孙东红.“煤气化——无烟燃烧技术”的原理及其应用[J].热能动力工程,2001,16(3):325-327.
 [3] 李树生.凝结水回收器的研制与应用[J].北京节能,1998,5:15-17.

(孙显辉 编辑)

(上接第 203 页)

大齿轮的装配焊接是在专用胎具上进行的,首先将轮轴垂直立于胎具上,使轮轴与平台垂直,用夹具夹好,在平台上装上定位及调整工装。将轮缘吊放于定位及调整工装上,调整工装使轮缘和轮轴的同轴度 $\leq 1.0\text{ mm}$,及相对的轴向位置满足图样的要求,装配第一块轮盘。

装配后用硅酸铝保温毯包裹,用工频感应加热圈对轮缘和轮盘预热,到温后由于加热和受热不均,预热后的大齿轮装配尺寸会有很大变化,应用调整工装重新调整。

大齿轮的焊接由 6 名焊工同时焊接,轮轴处 2 名焊工,轮缘处 4 名焊工。焊接时起始位置对称,焊接工艺参数一致,同时起、熄弧,焊接速度一致。特别是每块轮盘的打底焊更应注意,否则,焊后三者成为一体,焊接引起的同轴度偏差很大,且很难校正。焊接过程中每焊一层应停下来对齿轮进行尺寸和温度测量,做及时调整。大齿轮焊接后的热处理是在专用的回火砂箱内进行的,可防止热处理中的变形,

热处理后进行射线探伤。

6 结语

通过对大型齿轮的实际生产焊接,大齿轮的焊缝射线探伤和焊后尺寸均达到设计要求。实践证明焊接大型齿轮,当其外形尺寸大且焊缝质量要求高时,在 40CrNiMoA 上堆焊过渡层的办法对于降低预热温度,提高焊接质量,改善生产环境是很有效的。实践证明本工艺是成功的,解决了船用大功率主机减速器的一大难题。

参考文献:

[1] 姜焕中.电弧焊与电渣焊[M].北京:机械工业出版社,1990.
 [2] 周振丰,张文钺.焊接冶金与金属焊接性[M].北京:机械工业出版社,1990.
 [3] 周振丰.金属熔焊原理及工艺[M].北京:机械工业出版社,1982.
 [4] 姜焕中.焊接方法及设备[M].北京:机械工业出版社,1985.

(何静芳 编辑)

300 MW Boiler Unit [刊, 汉] / XU Bao-shan, XIN Zhi-ming (Harbin Boiler Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150046), LI Guo-jun, et al (Tielin Power Plant, Tielin, Liaoning Province, China, Post Code: 112000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 198 ~ 201

The cost effectiveness of the constant pressure operation of a 300 MW boiler unit is compared with that of its sliding-pressure operation. The influence of the sliding-pressure operation on the boiler internal processes is analyzed. In addition, also discussed are the limiting factors of the boiler sliding-pressure operation. **Key words:** sliding-pressure operation, economic analysis, limiting factor

船用主机减速器大齿轮 40CrNiMoA 轮缘的焊接 = **Welding of the 40CrNiMoA Alloy Wheel Rim of a Bull Gear for a Marine Main Steam Turbine Reduction Gear Unit** [刊, 汉] / JI Hai-dong (Shaungyashan No. 1 Power Generation Co. Ltd., Shuangyashan, Heilongjiang Province, China, Post Code: 155136), WANG Qing, XU Tao, et al (Harbin Steam Turbine Works Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150046) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 202 ~ 203, 206

Concerning the welding of 40CrNiMoA alloy wheel rim of a bull gear for a marine main steam turbine reduction gear conducted are the analysis and testing of welding procedures, the selection of a welding method and its technological parameters, and the production welding of the bull gear. On this basis a whole set of feasible welding procedures for the bull gear is presented. **Key words:** large-sized gear, welding, automatic welding

蒸汽管网凝结水闭式回收装置原理及应用 = **Working Principle of Model NSQ-20III Condensate Recovery Tank and Its Use** [刊, 汉] / NIE Yue-qiang, HUANG Shi-wei (Fushan City Energy Source Utilization Monitoring Center, Fushan, Guangdong Province, China, Post Code: 528000), CHEN Yong-gen (Fushan Dongya Shareholding Co. Ltd., Fushan, Guangdong Province, China, Post Code: 525000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 204 ~ 206

An analysis of Model NSQ-20III condensate recovery tank working principle and its practical use at Dongya Co. prove that the tank is relatively advanced in respect of energy savings and environmental protection when industrial boilers are used. In addition, it also can bring about significant social and economic benefits and is rated as a practical type of patent product. **Key words:** condensate, energy savings, environmental protection

热电站 130 t/h 锅炉蒸汽系统存在的隐患及处理对策 = **Hidden Peril of the Safety Valve System of a Thermal Power Station 130 t/h Boiler and Measures Taken for their Elimination** [刊, 汉] / XE Ke-jun (Zhenhai Petrochemical Refinery Co. Production Department, Ningbo, China, Post Code: 31520) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 207 ~ 208

An analysis of the abnormal actuation of a U-130/39-1 boiler safety valve installed at the refinery thermal power station of Zhenhai Petrochemical Co. Ltd. has exposed the hidden peril of this type of boiler safety valve system. To cope with this, proper modification measures are proposed. **Key words:** safety valve, hidden peril, countermeasures

75 t/h 锅炉钢性梁振动原因及处理 = **Underlying Causes of the Vibration of a 75 t/h Boiler Rigid Girder and Its Treatment** [刊, 汉] / LIAO Di-yu (Guangzhou Municipal Boiler Inspection Institution, Guangzhou, China, Post Code: 510080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(2). — 209 ~ 210

The causes leading to the vibration of a boiler rigid girder is analyzed and proper measures for its elimination are presented. **Key words:** boiler, rigid girder, vibration, cause, treatment