

12Cr2Mo1 管板锻件制造工艺研究

太原重工大锻件分公司 (山西 030024) 王旭颖 谢延安 宋 波 牛玉温

CrMo 钢是一种具有高强度、高塑性及高韧性的结构钢。近几年来,随着压力容器市场的不断扩大,CrMo 钢已经成为石化大型压力容器锻件的常用材料。12Cr2Mo1 钢是一类以 Cr、Mo 为主要合金元素的合金钢。通过 Cr、Mo 合金元素的加入,提高了固溶体基体的强度,增加了固溶体的组织稳定性,起到了很好的固溶强化作用。

此外,由于第二相颗粒在过饱和固溶体中的沉淀析出,更有效地提高了该钢的热强性,超过了固溶强化的效果。此种钢在高温下具有较高强度和抗氧化性,并具有较好的加工工艺性能和较好的焊接性能。使用温度在 450 ~ 550℃,服役时一般处于拉应力状态,拉应力一般为 30 ~ 50MPa。淬透性大,有一定的焊接冷裂倾向,热强性比 12Cr1Mo 钢低。该类钢被广泛用于飞机结构件、压力容器、热电站锅炉、汽车及飞机发动机金属构件等工业和民用场合。

作为高压容器废热回收器中主要部件的管板锻件,就选用了 12Cr2Mo1 这种材料,该产品尺寸大、服役工况恶劣:使用温度在 -30 ~ 560℃,不仅要承受高温高压,还需具备抗氢腐蚀的能力;不仅要求

有高的强度和韧性,还要具备良好的冷热变形能力和优良的焊接性能,因而技术标准要求高。

因我厂从未生产过这种材料的大截面管板,为此,技术人员前期对该材料进行了理论研究,对锻造和热处理工艺参数进行了研究,通过研究方案的实施,各项性能结果均满足用户的技术要求。该产品的成功开发及按期交货不仅为本厂后续此类材料的大型管板及其他饼类锻件的订货提供了可靠的技术保障和丰富的生产经验,也为同行提供了一定的技术支持。

一、技术要求

1. 管板尺寸规格及化学成分要求

管板的粗加工交货尺寸为 $\phi 2260\text{mm} \times 480\text{mm}$ 。化学成分要求如表 1 所示。

表 1 12Cr2Mo1 管板化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S
0.11 ~ 0.15	≤0.10	0.30 ~ 0.60	≤0.025	≤0.015
Cr	Ni	Mo	V	Cu
2.00 ~ 2.50	≤0.18	0.90 ~ 1.10	≤0.08	≤0.18

残留元素要求如下 (质量分数): $w_{\text{sb}} \leq 0.003\%$ 、

瓶体壁厚加工到接近最小设计壁厚的尺寸,有效地减轻瓶体重量,减少壁厚差,提高材料的利用率,减少由于瓶体冲拔或钢管轧制产生较大的壁厚差和增厚,使之达到气瓶产品允许的范围,提高无缝气瓶的质量和性能。

在无缝气瓶减薄旋压的旋轮、芯模设计中,合理选择旋轮的形状和材料、芯模的结构和材料及热处理方法和表面质量,瓶体减薄旋压后可以达到满意的几何尺寸和性能要求,提高生产效率,可用于生产实际中。**MW**

(20120312)

3. 尾顶结构

尾顶结构应有利于装卸工件,加工时与设备主轴和芯模的同轴度好,端部形状与瓶底相同,减少加工时误差和振动。

4. 工件冷却

旋压时产生旋压热,用切削乳化液冲浇在瓶体与旋压轮接触的表面,将热量带走,防止由于旋压摩擦热造成瓶体抱轴和畸形。

三、结语

钢质无缝气瓶经过强力减薄旋压加工,可以将

$w_{Sn} \leq 0.012\%$ 、 $w_{As} \leq 0.012\%$ 。为减少回火脆性的影响，化学成分配比应满足以下公式要求： X 系数 = $(10P + 5Sb + 4Sn + As) / 100 \leq 15 \times 10^{-4}\%$ ； J 系数 = $(Si + Mn) \times (P + Sn) \times 10^4 \leq 120$ 。

考虑到该管板的重要性的和材料的特殊性，为确保冶炼钢水的纯净度，我厂对化学成分进行了严格控制，要求如表 2 所示。

表 2 12Cr2Mo1 管板内控化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S
0.11~0.15	≤0.10	0.40~0.50	≤0.010	≤0.010
Cr	Ni	Mo	V	Cu
2.10~2.40	0.08~0.18	0.95~1.10	0.05~0.08	≤0.18

其中 $w_H \leq 2.0 \times 10^{-6}$ 、 $w_O \leq 40 \times 10^{-6}$ 、 $w_N \leq 70 \times 10^{-6}$ 。

表 4 12Cr2Mo1 力学性能要求

屈服强度 R_{eL} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_5 (%)	冲击吸收能量 A_{kv} (20℃) /J	硬度要求 HBW
≥300	500~670	≥18	平均值 ≥41	133~200

高温瞬时拉伸 R_{eL} (450℃) ≥225MPa。

3. 超声波检测要求

超声波检测按 JB/T 4730.3—2005 标准要求执行，单个缺陷：Ⅰ级，底波降低：Ⅰ级，密集缺陷：Ⅰ级要求。

根据 JB 4726—2000，常规 12Cr2Mo1 材料的饼形锻件（公称厚度 > 200mm）超声波检测按 JB/T 4730.3—2005 标准要求执行，单个缺陷：Ⅳ级，底波降低：Ⅳ级，密集缺陷：Ⅳ级要求。工艺过程为：钢锭冶炼→钢锭热运→加热→锻造→锻后热处理→初次超声波检测→性能热处理→取样→模拟焊后热处理→取样→最终检测→尺寸、外观检查→包装、发运。

2. 性能要求

力学性能要求如表 3 所示。

表 3 12Cr2Mo1 管板力学性能要求

屈服强度 R_{eL} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_5 (%)	断面 收缩率 Z (%)	硬度 要求 HBW	冲击吸收能量 A_{kv} (-30℃) /J	
≥320	520~685	≥19	≥50	156~207	平均值	单个值
					≥54	≥47

高温瞬时拉伸 R_{eL} (450℃) ≥ 225MPa， R_m (450℃) ≥参考（一个拉力）。

根据 JB 4726—2000，常规 12Cr2Mo1 材料力学性能如表 4 所示（JB 4726—2000 中截面厚度 300 ~ 500mm）。

二、工艺及其要点

1. 冶炼

钢锭采用电炉冶炼，钢包精炼炉吹氩搅拌精炼，并经真空处理（真空度达到 133MPa 以下），保证得到完全镇静细晶粒钢。为确保管板的综合力学性能，在炼钢过程中严格控制气体元素 H、O、N 及有害杂质元素含量，并加入微量合金元素优化成分。

2. 锻造

在 45MN 水压机上锻造，选用 26.5t 钢锭，锻件重 17.793t，材料利用率 67.1%，分三火锻造成形，锻造温度为 1200 ~ 850℃，实际锻造比 6.4。锻造过程如表 5 所示。

表 5

火次	工序简介	工序示意
第一火	压把、倒棱、错底	
第二火	锻粗拔长 开坯一件	
第三火	锻造成形	

(续)

火次	工序简介	工序示意
最终锻件尺寸		

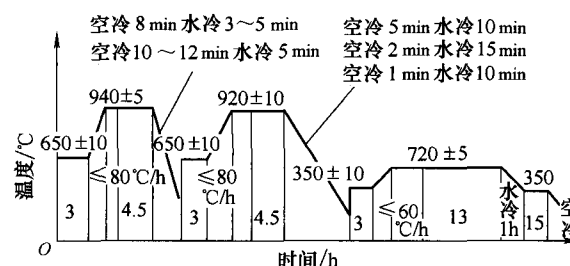
该管板不仅直径大,而且厚度比以前生产过的管板厚,将锻件加热到 1220 ~ 1260℃,水压机压力正常的情况下锻造,采用上顶板下平台拔长,保证了心部组织的致密,两次锻拔及双面辗压保证超声波检测合格。

3. 特殊性能热处理

性能热处理是管板最关键的工序之一,基于产品的焊接和使用要求,最好的处理方式应该是正火 + 回火。金相组织不能是马氏体组织,因其影响焊接性能,降低抗腐蚀的能力,又要达到较高强度要求,这就成为热处理最大的难题。尽管在冶炼时已考虑了成分控制和微量合金元素的有效加入,但由于强度要求高,常规的正火方式仍不能满足要求,所以在制定热处理工艺时,在保证组织不生成马氏体的前提下,还要考虑细化晶粒及提高冷却速度,即得到一种比正火冷却快但比淬火冷却慢的冷却速度,以提高屈服强度和抗拉强度。综上所述,制定的热处理工艺曲线如附图所示。

为细化管板的晶粒度,提高屈服强度及(- 30℃)

冲击吸收能量等指标,满足用户要求,先进行了一次高温正火 + 快冷,以改善锻造后组织的不均匀性,然后再一次低于 920℃ 正火 + 快冷,细化晶粒,增加界面能,分散了 C、S 及 P 等原子在晶界的偏聚倾向,达到细化晶粒和强化的作用。



热处理工艺曲线

4. 性能检测结果

实际性能检测结果如表 6 所示。

夹杂物检测: A0.5/0.5、B0.5/0.5、C1.0/0.5、D0.5/0.5、Ds 0.5。晶粒度: 5.5 级,组织: 下贝氏体。通过各项检测,所有指标均满足用户技术要求,而且远高出要求指标,经用户复试也均合格。

表 6

炉号		屈服强度 R_{eL} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A (%)	断面收缩率 Z (%)	冲击吸收能量 A_{KV} (- 30℃) /J		
09G - 1184 - 1 - 1AB	室温	480	600	24.0	79.5	228	175	238
	室温	470	590	23.5	80.0	235	180	220
	450℃	410	490	19.0	80.0	40%	70%	80%
	450℃	410	485	18.5	78.0	80%	40%	50%
	最大焊后模拟热	410	555	29.0	81.5	251	253	260
	处理后室温	405	555	28.0	81.0	264	271	290
	最大焊后模拟热	335	525	21.5	79.0	100%	100%	100%
	处理后 450℃	335	425	22.0	80.5	100%	100%	100%
09G - 1184 - 1 - 1A	最小焊后模拟	—	—	—	—	246	281	280
09G - 1184 - 1 - 1B	热处理后室温	—	—	—	—	246	262	202

三、结语

(1) 从管板的超声波检测及力学性能检验结果可知,所用的工艺是科学、合理、可行的。

(2) 12Cr2Mo1 钢用于高压容器废热回收装置中的管板上,赋予该材料新的质量要求。通过对

钢锭的冶炼控制、锻造过程控制及特殊热处理方式的选用,保证了超声波检测性能等各项指标满足管板订货要求,为我厂开拓市场,增加产值奠定了基础。MW

(20120328)