

2 1/4Cr-1Mo-1/4V钢大壁厚 加氢筒节锻件毛坯调质热处理工艺

中国一重铸锻钢事业部水压机锻造分厂（黑龙江 161042） 王兴齐

近年来，中国石化实施了汽油和柴油质量的全面升级，拉动了改造工程核心设备加氢反应器的市场需求，我公司紧跟市场形势不断创新制造技术，承制了国内大部分的锻焊结构加氢反应器，产品订货量逐年剧增。而用户为了尽快获得经济效益，强烈要求缩短加氢反应器的交货期。

为了满足市场要求，加快加氢反应器的生产制造进度，缓解生产设备周转困难的生产压力，同时降低其生产制造成本，我公司在生产过程中研发了大壁厚加氢反应器锻件毛坯调质工艺，用以取代原粗加工调质工艺。

1. 大壁厚毛坯调质可行性论证

2 1/4Cr-1Mo-1/4V钢多用于制造加氢反应器，为了保证满足技术条件中的各项验收指标，通常采用锻后热处理+粗加工调质的热处理方式。在2 1/4Cr-1Mo-1/4V钢中，合理的Cr、Mo合金元素含量可以保障锻件具有较高强度和较好淬透性；少量的V可以细化晶粒，提高强度和韧性。并且，近年来我公司采用粗加工+调质的工艺生产的此种材质筒节锻件性能合格率几乎达到100%。对于壁厚小于400mm的锻件采用毛坯调质工艺生产的锻件性能也基本满足技术要求。因此，2 1/4Cr-1Mo-1/4V钢大壁厚加氢筒节锻件采用毛坯调质的方式进行性能热处理具备可行性。经充分论证后，我们对某项目加氢反应器500mm厚（毛坯锻件有效壁厚）筒节锻件进行了毛坯调质的试验性研究。

2. 生产工艺流程

在以往类似加氢筒节锻件的生产中，为了防止粗加工后调质变形超差而无法满足精加工尺寸，通

常在工艺准备时给筒节锻件壁厚方向留有一定的热处理余量。在保证筒节锻件全部淬透的基础上，该锻件毛坯调质工艺准备时热处理余量相对于原粗加工留量的基础上在筒节壁厚方向减少了30mm左右，这样就使锻件锭型由原来的220t缩减为202t，节约了钢液18t，大大降低了生产成本。

同时，相比原来的粗加工调质，毛坯调质省去了锻件粗加工生产流程，既缩短了筒节锻件毛坯跨车间转运、粗加工等生产周期，并且节省了一次粗加工找正定心的工序，使锻件一次定心即加工到精加工尺寸，大大节约了冷加工劳动力的消耗及机械设备的占用量，加快了冷加工工序的生产进度；而且加氢筒节锻造与热处理在同一个车间内进行，便于生产组织协调，有效提高生产率。生产工艺流程见图1。

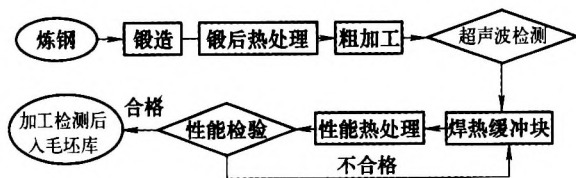


图 1

3. 技术要求

(1) 化学成分 2 1/4Cr-1Mo-1/4V钢的化学成分见表1。

(2) 力学性能 性能样坯要求取自外表面及 $T \times T/2$ 处，试样轴线方向垂直于主锻造方向。试样样坯经模拟焊后热处理（PWHT）并检验力学性能。锻件性能指标见表2。

(3) 金相检验 按GB/T6394进行测定，

表1 2 1/4Cr-1Mo-1/4V钢的化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb
0.10~0.16	≤0.10	0.30 0.60	≤0.008	≤0.005	0.20	1.95~2.60	0.85~1.15	0.25~0.35	≤0.07
Ti	Cu	Ca	As	Sn	Sb	H	O	N	
≤0.030	≤0.15	≤0.015	≤0.012	≤0.010	≤0.004	≤2PPm	≤20×10 ⁻⁴	≤90×10 ⁻⁴	

表2 2 1/4Cr-1Mo-1/4V钢锻件的力学性能指标

检验项目		验收指标
室温	R_m /MPa	585~760
	$R_{p0.2}$ /MPa	415~620
	A (%)	≥18
	Z (%)	≥45
-30℃夏比V型冲击吸收能量 A_{KV2} /J		三个试样平均值≥54，允许其中一个试样≥47
454℃	R_m /MPa	提供强度值供参考
	$R_{p0.2}$ /MPa	≥338

晶粒度不小于5级。按GB/T10561规定的B法进行评定，A、B、C、D、Ds类夹杂物均不得大于1.5级；且A+C≤2.0级、B+D+Ds≤2.5级、A+B+C+D+Ds≤4.0级。组织：贝氏体回火组织≥90%。

4. 筒节毛坯调质工艺

改进前工序：锻件锻造过程完成后紧接着需要进行锻后热处理，也就是预备热处理。由于冶炼技术的进步，钢中氢含量和杂质元素得到了有效控制，所以锻后热处理的目的主要是调整和细化晶粒，为性能热处理以及后序粗加工后的超声波检测做组织准备。由于此锻件尺寸规格大，在锻造过程中极易产生晶粒粗大和混晶现象，而粗晶和混晶都会降低强度、塑性和冲击韧度，尤其对冲击韧度的降低非常明显。为了防止以上问题的出现，预备热处理采用了退火工艺。

因改进后取消了粗加工序，所以对预备热处理工艺进行调整，如图2所示。

锻件预备热处理结束后，按照技术条件焊接

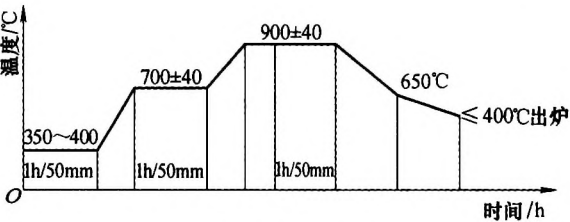


图2 预备热处理工艺曲线

热缓冲块，然后对锻件进行性能热处理。相比筒节锻件粗加工+调质工艺，锻件水冷时采取了上下窜动方法。这主要是因为筒节毛坯经高温锻造及锻后热处理后形成较厚的氧化皮，入水后由于高温作用，在锻件表面形成一层水蒸气气泡，而粗糙氧化皮又阻碍了气泡的上升逸出。据有关研究显示，水蒸气的热导率远低于钢的热导率，因此这样就等同于在锻件毛坯表面存在一个保温层。众所周知，奥氏体的转变所需时间较短，能否获得足够含量的贝氏体组织，冷速起决定性作用，因此，在毛坯调质工艺冷却阶段时，我们采用了锻件入水后立即上下窜动锻件的措施使气泡快速逸出，从而达到锻件快速冷却的目的。同时，对性能热处理工艺进行调整，如图3所示。

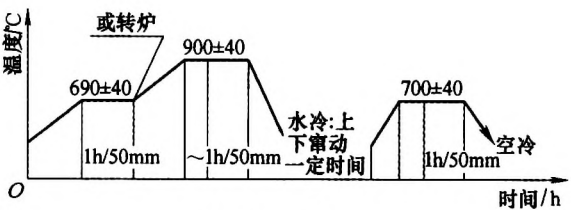


图3 性能热处理工艺

5. 筒节锻件毛坯调质后检验结果

筒节毛坯锻件经调质后进行力学性能检验，-30℃冲击吸收能量均大于200J，晶粒度为6.5级，贝氏体含量达90%以上。其拉伸性能结果详见表3，冲击性能详见表4。

表3 拉伸性能结果

试样	试样位置及模拟工件	常温20℃				454℃	
		$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A (%)	Z (%)	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa
A	T/2 Max.PWHT	485	610	25.5	77.5	402	463
A	外表面Min.PWHT	535	645	19.0	69.5	437	463
B	T/2 Max.PWHT	480	600	24.0	77.0	399	461
B	外表面Min.PWHT	500	620	25.0	80.5	424	480