0Cr15Mo 汽封环辗扩工艺优化及其应用

张家港海陆环形锻件有限公司 （江苏 215626） 戴玉同

【摘要】 本文叙述了0Cr15Mo核电用钢环锻件在生产过程中的关键控制点，总结了生产优化过程中的经验及注意问题，通过对核电汽轮机用铁素体不锈钢0Cr15Mo加热温度、终锻温度的控制和退火工艺的对比研究，制定出了合理的锻造和热处理优化工艺，在0Cr15Mo钢环锻件上获得了3级以上的晶粒度，满足国内核电汽轮机客户对该产品的应用要求。

0Cr15Mo铁素体不锈钢，除了具有不锈钢耐一般腐蚀性能外，其耐氯化物应力腐蚀、耐点蚀、耐缝隙腐蚀等局部耐蚀性能优良。铁素体不锈钢强度高，而冷加工硬化倾向较低，导热系数为奥氏体不锈钢的130%～150%，线膨胀系数仅为Cr-Ni奥氏体不锈钢的60%～70%。与Cr-Ni奥氏体不锈钢相比，铁素体不锈钢含Ni量低，使得此类不锈钢的应用越来越广。

铁素体不锈钢也存在一些局限性。由于大多数的铁素体不锈钢C含量都较低，加热过程中晶粒容易长大，而且这类不锈钢从热加工到室温冷却过程中不发生相变。因此，晶粒一旦长大，通过热处理消除不了其粗晶，使室温性能降低。

根据用户需要，为了在2000mm左右的环锻件上获得3级以上的晶粒度，我们进行了0Cr15Mo钢的辗扩工艺研究。

辗扩又叫碾环或环件扩孔，是借助碾环机芯辊和主模具之间的压力将环件壁厚均匀轧制减薄、直径扩大、截面轮廓成形的热加工环形锻造成形工艺。辗扩与传统自由锻工艺相比，具有成材率高，节材节能，降低锻件成本，且变形量大、性能优异等优点。

1. 0Cr15Mo钢环锻件主要技术特性

钢环锻工件实际尺寸如图1所示。0Cr15Mo化学成分见附表。

晶粒度要求3级以上。锻件探伤无表面和心部裂纹，按照标准最大缺陷不超过ϕ3mm，密集缺陷不超过ϕ1.6mm。

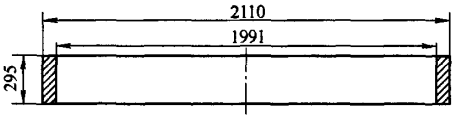


图 1

0Cr15Mo钢的化学成分（质量分数）（%）

元素	C	Mn	Si	S	P
标准值	≤0.09	≤0.50	≤0.50	≤0.020	≤0.025
实际值	0.05	0.33	0.26	0.009	0.017
元素	Ni	Cr	Mo	Al	Cu
标准值	≤0.50	14.0～16.0	1.50～2.0	≤0.05	≤0.20
实际值	0.06	14.65	1.72	0.02	0.012

2. 锻造工艺的试验和结论

工艺经过前期认证并进行了大量的试制和不断总结，结合我公司生产设备现状，开发了适合我公司的辗扩锻造生产工艺路线，针对0Cr15Mo铁素体不锈钢在核电工程应用中存在的实际难题，着手工艺比对性优化。

（1）原锻造工艺方案 工艺路线为：下料（1020kg）→加热（数控阶梯加热，1180℃保温1.5h）→3500t油压机制坯（容易开裂，先拔长→滚圆→镦粗）→油压机冲孔→回炉保温1.5h→辗扩成形→退火。

主要控制要点为：采用3500t油压机制坯。钢锭出炉，始锻温度控制在1120℃，方锭拔长到原钢锭尺寸的4/3，倒棱滚圆镦粗到此时尺寸的1/2，冲透孔镦粗到比环锻件高30mm得到坯料，终锻温度为900℃。辗扩成形时，坯料辗扩始锻温度控制在1100℃，快速扩环约2min，辗扩成形，终锻温度为990℃。原工艺辗扩0Cr15Mo钢环锻件退火（见图2）后经晶粒度测试，其晶粒度为1级，在锻件粗车表面上，明显看到粗大的米粒状晶粒颗粒且变形较大。

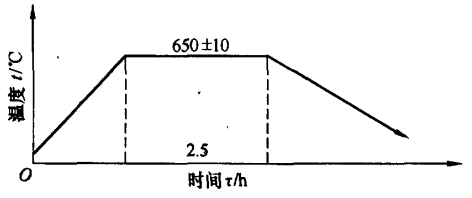


图 2

（2）优化后工艺方案　工艺路线为：下料（1020kg）→加热（数控阶梯加热，1180℃保温1.5h）→3500t油压机制坯（容易开裂，先滚圆→拔长→镦粗）→油压机冲孔→辗扩成形→退火。

其主要控制点改进为：3500t油压机制坯和辗扩一火成形，先把钢锭倒棱、滚圆后拔长到原钢锭尺寸的4/3，镦粗到此时尺寸的1/2，冲透孔镦粗到比环锻件高30mm从而制坯，终锻温度为930℃，转运到碾环机进行辗扩，降低轧制力，慢速辗扩，约4min辗扩成形，降低终锻温度在880℃左右。改进工艺后0Cr15Mo钢环锻件经退火（见图3）后取试样测试，其晶粒度达到4级以上，其金相组织为细小均匀的晶粒，解决了锻造的粗晶问题。

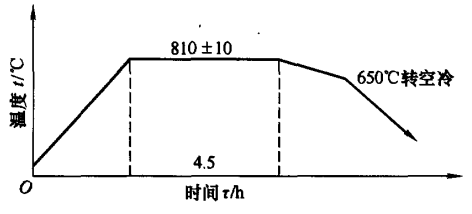


图 3

采用加热到810℃保温4.5h然后炉冷至650℃转空冷的退火工艺，既保证了产品尺寸不变形，又避免了晶粒瞬间长大的缺陷。

由于新工艺生产的环锻件能够满足核电汽轮机用户的质量需求，自2010年2月份工艺优化成功以来，已连续10个月保持每月800万元的订单。同时，新增核电客户两家，为公司的经济增长及技术提升起到了积极的推进作用，同时，使公司在客户中的形象和影响得到极大的提高。

3. 锻造过程分析与讨论

对比原工艺和改进工艺，可以明显看出：

（1）锻造温度对晶粒度的影响非常大。

分析其原因，主要是由于铁素体不锈钢在高温状态下的强度较低，易于变形。采用3500t油压机制坯锻造，降温幅度较小，二次加热后，促使晶粒再次长大。同时，此钢碳含量较低，造成沿晶界碳化物减少，加上强碳化物合金元素不多，不能完全牵制晶界迁移，因此锻造中动态再结晶的速度较快。如果二次甚至多次加热，锻造后的材质晶粒度就会越来越大，从而影响产品的内在质量。

（2）终锻温度的控制也很关键。

资料和试验表明，0Cr15Mo钢晶粒开始长大的温度为750℃，超过830℃时钢的晶粒会快速长大。原工艺终锻温度为990℃，温度过高，晶粒长大速度也较快，加之锻造残余应力的作用，在冷却过程中也可能造成晶粒的进一步长大。

鉴于上述因素，在改进工艺中，严格控制终锻温度单火次辗扩成形，能有效避免温度过高对晶粒度的影响。同时，对终锻温度工艺下限进行控制，防止了晶粒长大。

4. 结语

（1）在0Cr15Mo钢环锻件辗扩中，锻造温度和终锻温度对锻件的性能影响较大，应严格控制锻造各工序按照工艺执行，同时，尽可能减少锻造火次。

（2）采用宽砧锻造充分锻透钢锭，以破碎钢锭粗大树枝晶组织，焊合钢锭中细小疏松，使锻件组织更加致密。

（3）降低终锻温度，由990℃降至930℃，从而抑制再结晶晶粒长大的速度，控制晶粒度，达到细化晶粒的目的。

（4）该工艺的成功优化为我公司及国内核电企业带来了可观的经济效益和良好的社会效益。**MW**

（20101224）