超大型复杂环锻件的研制

张家港海陆环形锻件有限公司 （江苏 215626） 戴玉同 陈 洪 朱乾皓 范 禹

大型环锻件有着广泛的应用，其生产能力与技术水平是衡量一个国家的重工业发展水平与重大关键技术装备自给能力的主要标志之一。我国十分重视大型环锻件制造业的发展，虽然40多年来投入了大量的资金和人力使得该产业由小到大，从低到高发生了重要的变化，但到目前为止，国产大型环锻件的制造能力和技术水平与国外相比还有较大差距。

我公司为提高公司制造力度，提升市场应变能力，研制了ϕ9m超大型复杂环锻件。从尺寸来看是国内首次尝试，且试制达到了技术要求。ϕ9m超大型复杂环锻件的生产工艺为：原材料采购→原材料检验→下料→加热→制坯→轧环→热处理→检验→机加工。图1为环件实物。

图1 环件实物

一、研制过程

1. 原材料

原材料采用42CrMoA钢锭，冶炼方法采用电炉+炉外精炼+真空脱气。原材料化学成分、表面质量及力学性能需满足一定要求，应进行检验，防止因原材料质量问题而影响后续的热加工。原材料化学成分如表1所示。

表1 化学成分（质量分数） （%）

成分	C	Si	Mn	Cr	P	S	Ni	Mo	Al	Cu
标准	0.41～0.45	1.17～0.37	0.60～0.80	1.00～1.20	≤0.025	≤0.025	≤0.30	0.15～0.20	0.01～0.04	≤0.25
实测	0.42	0.22	0.69	1.12	0.022	0.023	0.25	0.16	0.02	0.21

2. 热加工

（1）锻造 用G42180自动锯床机锯切下料：直径800mm，长1965mm连铸坯，重8000kg。采用TRQ3000/3000/1500天然气炉加热钢锭，加热曲线如图2所示。加热过程是一个十分重要的环节，可以提高坯料的塑性，降低变形抗力，使毛坯容易变形流动，能够顺利进行塑性变形。钢在加热过程中要适当的在某一温度段保温。因为坯料过大，在加热过程中表面和心部的温差较大，若不保温，会使材料内部产生较大的内应力，致使材料在锻造时或在后续热处理和机加工过程中产生裂纹而报废。

从图中可以看出，材料的加热温度为1250℃，保温8h。该材料的始锻温度是1150℃，终锻温度不低于850℃。

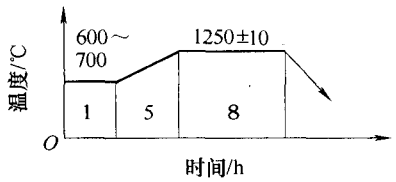

图2 钢的加热曲线

采用60 000kN的YTD96－1600油压机对坯料进行锻造。锻造制坯分两火完成。第一火包括坯料一次镦粗至1000mm，以及一次坯料拔长至1300mm。第二火包括坯料二次镦粗至850mm和ϕ400mm冲头冲孔，冲孔偏心≤20mm。锻件毛坯尺寸如图3所示。由于锻件易出现粗晶现象，必须

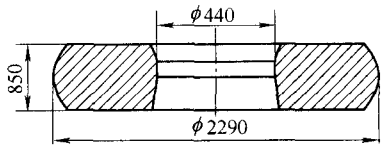

图3 锻件毛坯尺寸

提高每次镦拔的锻造比，确保锻透内部组织。但镦拔过程必须控制坯料高径比在1.5～2.5，故控制镦拔锻造比≥3.5。

（2）轧环　在RAM9000径轴向轧环机上进行轧制，初轧温度≤1150℃，终轧温度≥850℃。因为环件过大，为保证锻坯在轧制过程中有足够的塑性，初轧至ϕ2400mm×ϕ1600mm×600mm时，需回炉加热。然后第二火轧制成ϕ9020mm×ϕ8690mm×230mm。轧制过程中密切关注工件的变形情况，如发现表面出现凹陷、拉皮及烧损等缺陷时，应立即停止轧制，待工件冷却、修复处理后再重新加热、轧制。

轧制时，初轧温度偏始锻温度下限。轧制前期，为消除偏心壁厚差，径向进给速度应小，轴向可不进给（因为此时环件温度偏高，晶粒度较大，塑性变形对晶粒度影响较小）。当温度降至终锻温度以上（900～950℃），迅速增加进给速度，径向、轴向同时轧制（此温度下产生的较大塑性变形，使晶粒在连续的局部剪切力作用下细化），当尺寸接近锻件尺寸时，降低进给量，最后只进行径向整圆。图4为环件示意。

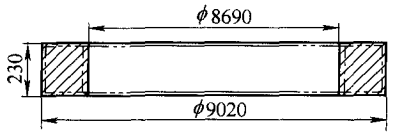

图4　环件示意

由于大型环锻件容易出现粗晶现象，故可通过适当方法进行晶粒细化。在轧制力不变的情况下，增大主辊的转速，以此增大环件的应变速率；增大轧制的进给力，以此增大每转进给量，来增大应变量；当环件温度接近终锻温度时，进行主轧制，使环件在此温度下发生较多的应变。

（3）热处理　在9m×9m×3m的RTD-5000天然气热处理炉中对环件进行加热，按热处理调质曲线（见图5）对环件进行调质处理。热处理过程中应控制大锻件的淬火加热速度，以避免温差过大，使内部原有缺陷（如微裂纹、夹杂及疏松等）进一步扩大。在加热过程中，表面和心部会出现两次温差高峰。第一次温差高峰出现在表面温度为600～700℃，这时锻件表面已进入塑性状态，而心部温度只有350～500℃，仍处于弹性状态，此时热应力较大，工件很容易在心部形成裂纹或使原有显微裂纹扩大。故采用阶梯加热，在600℃以下应控制加热速度，以减小表面与心部的温差，从而减小热应力。650℃附近进行保温，使表面与心部温度相近。第二次温差高峰发生在表面温度为800℃附近，此时心部温度为600℃或稍高，材料已进入塑性状态，温差热应力可得到明显松弛，工件开裂、变形的倾向很小。大锻件淬火后应立即回火，中间停留一般不超过2～3h。一方面是由于大锻件淬火后内应力大；另一方面，其心部在淬火后尚有未完全转变的过冷奥氏体，迅速将工件转入回火炉在低温进行保持，可使心部继续冷却。

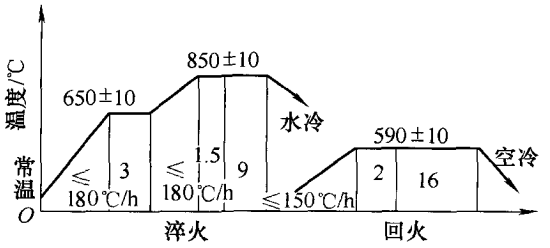

图5　热处理调质曲线

二、结果与讨论

1. 环件的力学性能

从环件的表面和心部各取三个试样进行力学性能检测，得到环件不同方位的力学性能数值，如表2所示。

表2　锻件的力学性能

试样	硬度 HBW	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}/J
表面	310	700	1000	16	55	45
	330	685	880	18	52	48
心部	220	430	660	22	60	35
	200	420	700	20	61	30
指标	290	650	850	15	50	42

从表中数据可知，环件表面的力学性能数值超过了研制指标，而心部的力学性能指标低于研制指标，说明材料的力学性能由表及里呈递减趋势，其中屈服强度的衰减尤为显著。

2. 金相组织

在环锻件的表面和中心处，取金相试样，进行金相检验。先将试样进行研磨抛光，经腐蚀液腐蚀后，观察其内部组织；再将试样放入苦味酸加洗涤