

附件 2

超大型构件先进成形、焊接及加工制造工艺 “一条龙”应用计划申报要求

一、产业链构成

联合核电超大型转子重点产品锻件供应商、核电成套供货商、核电示范工程建设单位、标准制定单位，形成上下游产业对接的核电机组（CAP1400、华龙一号等）的超大型转子整体锻件、分段焊接转子锻件“一条龙”应用链条，促进核电机组整机（系统）和超大型转子锻件制造基础技术互动发展，建立上中下游互融共生、分工合作、利益共享的一体化组织新模式，形成稳定的制造能力，满足我国高端装备制造领域的发展需求，打破行业瓶颈，带动核电装备制造行业整体水平提升。

关键产业链条环节

序号	产业链环节	超大型转子整体锻件	分段焊接转子锻件
1	大型锻坯冶炼浇铸工艺	●	
2	大型锻件精密锻造工艺	●	
3	大型铸锻件热处理工艺	●	
4	焊接转子焊接工艺及应力与变形控制工艺		●
5	焊后热处理工艺		●
6	无损检测工艺		●
7	关键工序加工技术	●	●
8	超大型转子、分段焊接转子性能评价体系	●	●
9	超大型转子、分段焊接转子标准体系	●	●
10	试验检测技术、评估方法及设备	●	●

二、目标和任务

(一) 大型锻坯冶炼浇铸工艺环节

(1) 环节描述及任务。超大钢锭的锭型优化技术，超纯净钢冶炼、超大吨位多包合浇，钢锭凝固及偏析控制技术。掌握超大型钢锭铸造缺陷分布规律和控制等技术，达到国际先进水平。满足用户制造标准要求，探伤水平达到国际先进水平。

(2) 具体目标。具备批量生产超纯净低压转子钢锭、核电发电机半速转子用500t~700t级巨型钢锭的能力，冶金质量达到世界先进水平。核电、火电等锻件实现化学成分的精确控制，锻件有害元素控制达到 $P \leq 0.008\%$ 、 $S \leq 0.005\%$ 、 $O \leq 25\text{ppm}$ 的水平。

(二) 大型锻件精密锻造工艺环节

(1) 环节描述及任务。掌握超大型截面锻件高效锻透压实技术及多火次锻造工艺特性，结合冶炼铸锭技术制订合理的水冒口切除参数。掌握超大型截面锻件压合内部疏松类缺陷、改善原始组织、减轻和分散偏析、细化晶粒、控制组织性能的工艺方法，达到国际先进水平。满足用户制造标准要求，探伤水平达到国际先进水平。

(2) 具体目标。具备300t/750TM锻造操作机生产能力，实现对超大型转子整体锻件产品制造全过程的关键技术突破、质量控制和效率提升，最终缩短工程化周期（整体转子锻件15%、分段焊接转子30%），降低成本20%。

(三) 大型铸锻件热处理工艺环节

(1) 环节描述及任务。超大型转子整体锻件热处理过程中组织演化规律、细化晶粒和分区热处理与性能控制技术。解决超

大型转子整体锻件细化晶粒难题和不同区段不同温度差温控制分区热处理难题，保证锻件各部位力学性能和组织，达到国际先进水平。满足用户制造标准要求，性能指标达到国际先进水平。

(2) 具体目标。具备大截面锻件深冷淬火和分区控温热处理工艺技术、水-空淬火热处理工艺技术能力。具备350t级特大型轴类锻件和100t级以上特大型饼类锻件的热处理能力。

(四) 焊接转子焊接工艺及应力与变形控制工艺环节

(1) 环节描述及任务。转子焊接采用大厚壁、深坡口，窄间隙氩弧焊及埋弧焊，打底焊、单面焊双面成型的焊接技术工艺。

(2) 具体目标。开发国产焊接装备，实现高中压焊接转子性能指标，抗拉强度 R_m : 800~950MPa; 屈服强度 $R_{p0.2} \geq 680$ MPa; 断面收缩率 $\geq 56\%$ 。实现低压焊接转子性能指标，抗拉强度 $R_m \geq 735$ MPa; 屈服强度 $R_{p0.2}$: 635~735MPa; 断面收缩率 $\geq 56\%$ 。

(五) 焊后热处理工艺环节

(1) 环节描述及任务。大型预抽真空保护气氛井式电阻炉，转子整体入炉热处理工艺。

(2) 具体目标。具备大型井式热处理炉或开合式热处理炉，具备大型焊接转子焊后热处理技术能力。

(六) 无损检测工艺环节

(1) 环节描述及任务。针对超大型焊接转子接头形式，采用射线、超声波、相控阵、磁粉等多种类的无损检测方法，形成一套系统完整的汽轮机焊接转子无损检测技术规范。

(2)具体目标。采取超声波探伤检测：锻件焊接面坡口30mm深度区域成组缺陷直径 $\leq 0.6\text{mm}$ ；叶片装配区域成组缺陷直径 $\leq 1.2\text{mm}$ ；其他所有区域成组缺陷直径 $\leq 2\text{mm}$ 。

(七) 关键工序加工技术环节

(1) 环节描述及任务。超大型转子整体锻件超长中心孔套料及高精度加工技术。超大型转子整体锻件加工效率和加工精度，达到国际先进水平。

(2) 具体目标。具有生产制造5m*20m重型数控机床，以及大型深孔设备，具有发电机转子全序加工能力。

(八) 超大型转子、分段焊接转子性能评价体系环节

(1) 环节描述及任务。建立超大型汽轮机焊接转子材料、焊接接头综合性能数据库及焊接接头寿命、安全性评估体系和准则。

(2) 具体目标。针对核电低压转子，对其材料进行完整系统的试验试验，获得完成的基础材料及工艺数据；联合搭建满足铸造、锻造及热处理全过程数值模拟要求的仿真平台，实现全过程数值模拟仿真；对核电低压转子生产进行全过程模拟，发现工艺存在的问题进行重点分析，以确定问题原因并消除缺陷。

(九) 超大型转子、分段焊接转子标准体系环节

(1) 环节描述及任务。建立公共试验平台，满足超大型转子、分段焊接转子产品的检验检测和试验验证，并形成技术标准及规范。

(2)具体目标。采取超声波探伤检测：锻件焊接面坡口30mm深度区域成组缺陷直径 $\leq 0.6\text{mm}$ ；叶片装配区域成组缺陷直径 $\leq 1.2\text{mm}$ ；其他所有区域成组缺陷直径 $\leq 2\text{mm}$ 。

(七) 关键工序加工技术环节

(1) 环节描述及任务。超大型转子整体锻件超长中心孔套料及高精度加工技术。超大型转子整体锻件加工效率和加工精度，达到国际先进水平。

(2) 具体目标。具有生产制造5m*20m重型数控机床，以及大型深孔设备，具有发电机转子全序加工能力。

(八) 超大型转子、分段焊接转子性能评价体系环节

(1) 环节描述及任务。建立超大型汽轮机焊接转子材料、焊接接头综合性能数据库及焊接接头寿命、安全性评估体系和准则。

(2) 具体目标。针对核电低压转子，对其材料进行完整系统的试验试验，获得完成的基础材料及工艺数据；联合搭建满足铸造、锻造及热处理全过程数值模拟要求的仿真平台，实现全过程数值模拟仿真；对核电低压转子生产进行全过程模拟，发现工艺存在的问题进行重点分析，以确定问题原因并消除缺陷。

(九) 超大型转子、分段焊接转子标准体系环节

(1) 环节描述及任务。建立公共试验平台，满足超大型转子、分段焊接转子产品的检验检测和试验验证，并形成技术标准及规范。

(2) 具体目标。形成一整套从锻件采购、焊接、热处理、加工以及无损检测等方面完善的焊接转子标准规范，参与焊接转子国家标准。

(十) 试验检测技术、评估方法及设备

(1) 环节描述及任务。制定超大型转子整体锻件、分段焊接转子锻件供货标准；焊接转子焊接工艺及应力与变形控制工艺规范；形成国产化焊接转子焊接验证试验评估报告；形成超大型转子整体锻件、分段焊接转子锻件验收规范。

(2) 具体目标。完成锻件的焊接技术理论分析和论证工作，确定锻件的焊接技术方案；完成核电转子锻件的焊接技术评估工作。主要包括焊材优选、材料焊接工艺参数试验、模拟焊缝试板焊接和试验解剖。根据试板焊接定型的焊接工艺，开展转子锻件模拟件焊接，并就模拟件焊接件开展性能试验解剖，形成转子锻件模拟件焊接工艺报告及安全性综合评价。

三、咨询电话

机械工业规划研究院 王 万 010-68732009

附：超大型构件先进成形、焊接及加工制造工艺“一条龙”
应用计划申报书