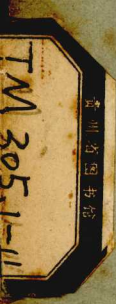


国外机械技术资料

罗马尼亚、日本、意大利、奥地利、 西德、捷克六国电站设备锻件 考察报告

中国电站设备锻件考察组

第一机械工业部情报所



前 言

第一机械工业部一九七三年先后组成电站锻件考察组分赴罗马尼亚、意大利、西德、奥地利、日本和捷克等六个国家调查了解电站设备锻件的生产情况。遵照伟大领袖毛主席“**洋为中用**”的教导，现将部分调查报告材料汇编成册，供有关同志们参考。

由于受水平限制，加之时间仓促，错误和不足之处一定不少，望同志们批评指正。

编 者

一九七四年十月

目 录

前言

一、罗马尼亚电站设备锻件生产概况·····	1
二、日本电站设备锻件生产情况·····	21
三、意大利台尔尼钢铁公司电站设备锻件生产概况·····	41
四、奥地利鲍勒公司电站设备锻件生产概况·····	49
五、西德四家钢厂电站设备锻件生产概况·····	63
六、西欧三国各厂电站设备锻件生产特点·····	68
七、捷克电站设备锻件生产概况·····	71

附录

一、出国考察技术报告资料目录·····	74
二、出国考察收集的部分技术资料简介·····	74

一、罗马尼亚电站设备锻件生产概况

赴罗马尼亚电站大锻件考察组主要在布加勒斯特重型机器厂考察 33 万千瓦汽轮发电机组大锻件的生产情况。该厂由 1968 年开始生产 5 万千瓦发电机组锻件，后来生产 16 万千瓦机组锻件，1970 年试制成功 33 万千瓦机组大锻件。

(一) 主要车间概况

1. 炼钢车间

炼钢车间是 1966 年投产的，现有职工 320 人，其中管理人员与技术人员 32 人，占总人数的 10%。设有冶炼、浇注、设备维修三个工段。现装有 50 吨电弧炉二台，加料车一台，100/32/8 吨浇注用吊车一台，配有 130 吨电子称，100 吨地平式浇注各车一台。80/60 上料吊车一台，钢锭模准备运输吊车二台。200 公斤/小时 5 级蒸汽喷射真空泵一台，附蒸发量 8 吨/小时压力 20 公斤/厘米² 的蒸汽锅炉一台，供 RH 真空循环脱气及真空铸锭使用。

车间主要分为冶炼跨（24 米宽）、浇注跨（30 米宽）、钢锭清理及备料跨（24 米宽），现有车间面积约 8000 平方米，计划再扩建一个浇注钢锭跨。

2. 水压机车间

水压机车间与炼钢车间三跨相连接在同一厂房内。6000 吨水压机跨与浇注跨相连，炉子跨及水泵站与冶炼跨相连，正在兴建的 2500 吨水压机跨与清理及备料跨相连。两个车间的行车可互相通行。目前只有苏制 6000 吨水压机一台，另有两台小型空气锤。计划安装的 2500 吨水压机是由西德技术合作制造的，已挖好地基，预计 1974 年投产。

6000 吨水压机跨内有 160 吨普通吊车一台，150 吨、200 吨锻造吊车各一台。在水压机旁纵贯一条铁路与炼钢车间相通，由一台 100 吨电动平车担负三跨横向运输。2500 吨水压机跨目前只有一台 80 吨吊车。

车间共有加热炉和热处理炉十三台，除一台 64 平方米的热处理炉为坑式外，其余均为台车式炉。计加热炉 31.5 平方米二台、25 平方米一台、16 平方米一台、14.5 平方米一台，一台 40 平方米加热与热处理两用炉，热处理炉计有 31.5 平方米二台、16 平方米一台、25 平方米一台、64 平方米一台、48 平方米一台。64 及 48 平方米热处理炉使用英国 Honeywell 厂出产的仪表，其程序控制工艺过程，比较先进。其余炉子的热工仪表分别集中在两间仪表间内，远距离控制。在值班工长室还设有检查仪表，可随时检查任何一台炉子的温度，以便掌握加热质量和安排生产计划。

本车间还有三台取样的圆锯床，最大的一台为西德 Heller 厂的 $\phi 1500$ 毫米摇头锯床，性能较好，另有一台锯片磨床。

水泵站有六组水泵，系苏联制造的，质量不好，常被迫停产检修。

车间管理机构比较精简，职工 227 人，其中包括另一厂房工作的第二热处理工段 47 人，全车间技职行政人员 23 人。

3. 热处理工段

热处理属于水压车间的一个工段, 1960年建成。计有 24、30、24 米三个跨, 全长 34 米。

安装的主要设备计有 $\phi 2 \times 20$ 米井式电炉一台, 喷雾淬火装置一台, 吊钩可旋转的 160/50 吨吊车一台。16、25、31、53 平方米台车式热处理炉各一台, 燃料用低压天然气, 目前处于边基建边生产阶段。

$\phi 2 \times 20$ 米井式电炉为法国制造, 活底式, 可控制炉膛高度为 20、15、10 米。喷雾淬火装置是由法国引进技术自制的。井式电炉和台车式热处理炉均采用程序自动控制, 台车式热处理炉的烧咀不装在炉墙上, 而是由下向上喷射燃烧火焰, 烟道在台车下面, 利用美制薄膜调节阀调节, 目前可控制低温使用到 $\sim 200^{\circ}\text{C}$, 仪表大部分为罗马尼亚自制。

(二) 电站大锻件所用钢号、技术条件及生产工艺流程

布加勒斯特重机厂生产的 5 万千瓦汽轮发电机转子锻件采用的是苏联钢号; 16 万千瓦及 33 万千瓦级转子采用的是法国钢号。表 1-1 为转子锻件的钢号、尺寸及重量, 表 1-2 为所用钢的化学成分。表 1-3 为锻件所要求的机械性能。

表 1-1 电站锻件的钢号、尺寸、重量

机组容量 (万千瓦)	转 子 名 称	使 用 钢 号	锻 件		粗加工后热处理件	
			$\phi \times L$ (毫米)	(吨)	$\phi \times L$ (毫米)	(吨)
5	高压转子	P2M	$\phi 1175 \times 7200$	25	$\phi 1085 \times 6980$	12.5
	低压转子	P2M	$\phi 1440 \times 7440$	42.6	$\phi 1335 \times 7290$	21.5
	发电机转子	30VMOCN28	$\phi 1040 \times 7520$	31.0	$\phi 950 \times 7400$	24.0
16	高压转子	28VNMOC11	$\phi 930 \times 6190$	17.5	$\phi 870 \times 6172$	9.5
	中压转子	28VNMOC11	$\phi 1468 \times 5814$	37.0	$\phi 1368 \times 5355$	18.0
	低压转子	30VMOCN28	$\phi 1400 \times 6814$	46.0	$\phi 1310 \times 6604$	29.0
	发电机转子	25VMOCN35	$\phi 1135 \times 9744$	53.0	$\phi 1035 \times 9594$	39.8
33	高压转子	28VNMOC11	$\phi 920 \times 5635$ ※	17.5	$\phi 850 \times 6071$ ※	10.5
	中压转子	28VNMOC11	$\phi 1360 \times 5345$	29.7	$\phi 1280 \times 5165$	17.0
	低压转子	30VMOCN28	$\phi 1625 \times 6495$	54.7	$\phi 1559 \times 6400$	36.5
	发电机转子	25VMOCN35	$\phi 1225 \times 11400$	74.0	$\phi 1147 \times 11225$	55.0

※ 长度可能有错误

表 1-2 电站锻件所用钢号的化学成分

钢 号	化 学 成 分 %									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	S	P	Cu
P2M	0.20 ~0.29	≤0.70	0.25 ~0.50	1.40 ~1.80	≤—30	0.90 ~1.05	0.20 ~0.30	≤0.025	≤0.03	≤0.20
28VNMOC11	0.24 ~0.30	0.55 ~0.75	0.20 ~0.35	0.90 ~1.20	0.50 ~0.70	1.0~1.2	0.25 ~0.35	≤0.010	≤0.015	≤0.20
30VMOCN28	0.28 ~0.32	0.50 ~0.7	0.20 ~0.35	1.15 ~1.25	2.55 ~2.95	0.375 ~0.47	0.05 ~0.10	≤0.010	≤0.015	≤0.20
25VMOCN35	0.235 ~0.275	0.20 ~0.40	0.20 ~0.35	1.40 ~1.80	3.25 ~3.75	0.40 ~0.55	0.07 ~0.13	≤0.010	≤0.010	≤0.08

表1-3 电站转子锻件的机械性能要求

机组容量 (万千瓦)	转子名称	试样部位	σ_b (公斤/毫米 ²)	σ_s (公斤/毫米 ²)	δ (%)	φ (%)	α_k (公斤·米/厘米 ²)	HB	550°C			脆性转变温度 (°C)
									$\sigma_r/300$	$\sigma_r/105$	$\sigma_1/105$	
33	高压转子	纵 向	≤84	≥50	≥14		≥5		≥20	≥10	≥7.5	
		切 向	≤84	≥50	≥12		≥4					
	中压转子	纵 向	≤84	≥50	≥14		≥5		≥20	≥10	≥7.5	
		切 向	≤84	≥50	≥12		≥4					
	低压转子	纵 向	≤90	≥60	≥15		≥5					
		切 向	≤90	≥60	≥13		≥4					
	发电机转子	纵 向	74~90	≥65	≥13	≥45	≥5					≤30
		切 向	74~90	≥65	≥11	≥35	≥4					
		径 向	74~90	≥65	≥10	≥35	≥3					
		中 心	>74	≥65	≥10	≥35						
16	高压转子	纵 向	≤84	≥50	≥14		≥5	≤250	≥20	≥10	≥7.5	
		切 向	≤84	≥50	≥12		≥4					
	中压转子	纵 向	≤84	≥50	≥14		≥5	≤250	≥20	≥10	≥7.5	
		切 向	≤84	≥50	≥12		≥4					
	低压转子	纵 向	≤90	≥60	≥15		≥5	≤270				
		切 向	≤90	≥60	≥13		≥4					
	发电机转子	纵 向	74~90	≥65	≥13	≥45	≥5	220				≤30
		切 向	74~90	≥65	≥11	≥35	≥4					
		径 向	74~90	≥65	≥10	≥35		270				
		中 心	≥74	≥65	≥10							
5	高压转子	纵 向	≥63	≥45	≥16	≥40	≥4.5	≥185				
		切 向	≥63	≥42	≥13	≥35	≥4	≥185				
	低压转子	纵 向	≥63	≥45	≥16	≥40	≥4.5	≥185				
		切 向	≥63	≥42	≥13	≥35	≥4	154				
	发电机转子	纵 向	55~72	≥45	≥14	≥50	≥6.1					≤50
		切 向	55~72	≥45	≥11	≥40	≥4.1					
		径 向	50~72	≥41	≥10	≥40	≥4.1	210				

布加勒斯特重机厂生产 33 万千瓦电站转子锻件的工艺流程中有以下几个特点,例如:转子锻件毛坯热处理后粗磨四条母线,初步探伤;第一次粗加工后探伤定中心;汽轮机转子调质前先开槽;调质热处理后半精加工探伤;热处理车间切取试样并初步试验机械性能,精加工后,发电机转子套取中心试样,作交货机械性能检查;中心孔径磁粉探伤及窥膛仪检查等。

该厂生产转子锻件,要绘四张图纸:计有锻件图,第一次定中心孔粗加工图,热处理前粗加工图,锻件交货图。

采用毛坯探伤,能在下道工序前发现内部缺陷,探伤的结果作为可否转入下道工序的依据。探伤时的毛坯表面比较粗糙,不需要达到▽4。经超声波探伤后定中心,远比根据由毛

坯两端硫印定中心更为符合锻件实际情况，这样便于在热处理后套去中心有缺陷部分。热处理车间在调质热处理之后先用手提砂轮在规定部位取切向试片作初步机械性能检查，合格后再转下道工序，可避免浪费机械加工台时及节省往返运输。汽轮机转子除因中心有缺陷需要套去外，一般不打中心孔，发电机转子在最终热处理后套取中心试料，既可避免热处理前后两次打孔容易发生偏差现象，又能检查转子心部质量。其中心孔光洁度可达 $\nabla 8$ ，有利于提高窥膛仪检查的准确性。

(三) 转子钢的冶炼和浇注

该厂炼钢车间由1958年开始生产5万瓩转子钢，从冶炼到制造出33万瓩发电机组仅用了两年时间，转子钢的生产采用碱性电炉冶炼及真空脱气或真空铸锭工艺。从生产管理、生产效率、经济效果，钢水质量、及至最后所生产锻件质量都比较好。该车间有多种辅助设备为生产服务，如电炉有加料机、补炉机、半自动称、合金加热炉、各种辅助材料的漏斗式料仓，各种脱锭和热送用吊钳、浇注吊车附有电子称测量钢水重量等，基本上实现了生产机械化和半机械化，改善了工人劳动条件，提高了劳动生产效率。为了保证质量该厂的生产管理和技术管理都很注意。

1 炼钢

(1) 炉体

新修过的炉墙、炉床、出钢槽的炉子不准炼电站钢，必须选在炉令中、上期和炉体完好的条件下冶炼。特别是确认炉盖，电极结合情况良好，电气、机械都能保证正常运转时，才能冶炼转子钢。

(2) 耐火材料

该厂的耐火材料，全部是进口的，高温性能比较好。炉衬的高温区，尤其在渣线部位使用南斯拉夫的一种白镁砖，炉墙使用铝镁砖，砖运来时都用铁皮包装。钢水包砖、芯杆、塞头、水口砖全部使用高铝砖，耐火度一般达 $1700\sim 1800^{\circ}\text{C}$ ， Al_2O_3 含量在75~85%，为防止带入夹杂，下注用的汤道砖也用高铝砖。真空循环室是采用西德进口的、含 Al_2O_3 95%的耐火材料捣结的，其耐火度为 $1800\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 炉料选择与准备

选择碳素废钢，要求很严格，务须作到无锈少锈、清洁、不准混入泥土杂物，不准有油腻，更不允许含有有害非金属和有害金属夹杂物，如：铜、锡、锌、铝等含量不得大于0.02%，含碳量要清楚。

一定要使用出窑不超过24小时新鲜干燥的石灰，含水量不得大于0.5%。

使用的各种矿石，铁金合一定要经过烘烤，铬铁应加热到 1000°C 。钒铁中的含钒量不得低于35%，钼铁中的含钼量不得低于55%，硅钙粉成为Si60~65%、Ca 30~35%、粒度为2~5毫米。铁矿石的含铁量要求达到60~70%。

(4) 冶炼工艺

① 装料

装炉前在炉底先加入石灰35公斤/吨、萤石6公斤/吨、矿石6公斤/吨。装料要按工艺要求准确配碳，以保证熔化完了得到0.55~0.65%的含碳量。脱碳量约在0.2~0.3%左右，如含碳

量不足，可用碎电极块增碳。钼铁和镍铁可按成分规格限量计算加入。该厂规定装料应保证第一个试样得到如表 1-4 中所规定数据。

表1-4 选用炉料应保证第一个试样的成分最大值 (%)

元 素 \ 钢 号	28VNMOCl1	30VMOCN28	25CMOVN35	34CrMOIA	P2M	37MoCr15
Cr	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Mo	1.00	0.40	0.40	0.45	0.95	0.30
Ni	0.55	2.60	3.30	0.35	0.25	1.50
P	0.02	0.02	0.015	0.020	0.02	0.02
S	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Cu	0.18	0.18	0.08	0.18	0.18	0.22

② 熔化

根据冶炼的时间要求，熔化愈快愈好。熔化后 20~30 分钟除渣 60%，以利去硫、磷。除渣后补加入石灰 13 公斤/吨、萤石 4 公斤/吨、矿石 4 公斤/吨，吹氧 2~3 分钟，当温度达 1500~1580℃时即除渣 2/3 进行氧化。

③ 氧化

氧化期最好采用吹氧法（氧气压力为 8~10 公斤/厘米²），脱碳量为 0.20~0.30%，要求脱碳速度大于 0.35% C/时，钢水温度应达 1550℃。如不具备氧气条件可用矿石进行脱碳，温度应达 1580℃。脱碳前扒掉部分渣，氧化过程做到自动流渣，必要时进行除渣，氧化期保持锰的含量 0.20%。去除磷愈低愈好，一般小于 0.010%，发电机转子 25CMOVN35 钢含磷量不超过 0.007%。氧化期要求钢水有良好的沸腾，当碳、磷的含量都达到要求时即可除渣，出渣温度要达到出钢温度 1700~1710℃，氧化渣要除净达 95% 以上。

④ 脱氧与还原

当氧化渣除净之后，按所炼钢的成分加入脱氧材料，每吨钢水加入 45% 硅铁 4 公斤，加入 75% 锰铁 3 公斤。造渣材料加入量为石灰 10 公斤/吨、萤石 2.5~3 公斤/吨。予脱氧造渣材料加入后立即按成分要求中限加入烘烤合格的铬铁。加入铬铁关闭炉门，经 15 分钟即充分搅拌取样分析。取样后加入脱氧剂，每吨加入硅钙粉 4 公斤，相隔 12~15 分钟分两批加入，不使用碳粉。10~12 分钟之后可根据分析结果调整其他元素，当硅的含量不足时，可补加硅铁，钒加入炉内不得超过 5 分钟或在出炉后加入。出钢不加铝脱氧。当炉渣呈白色，温度在 1700~1710℃时出钢，出钢时间一般不超过 7 分钟。

2. 浇注

（1）钢水包及钢锭模

钢水包（包括中间包）、钢锭模，在使用前要求吹扫干净，不得使用新砌成的或新修辅好的，必须是已用过一次的高铝砖砌成的。烤包温度要求在 800℃以上。

该厂生产电站大锻件用的钢锭，为多角型的，高宽比大的，钢锭模为采用活动底盘式的。其特点是表面面积大，表面冷却速度快，可防止发生裂纹；活动底盘可增加钢锭模的通用性；25~152 吨只有四种型式锭模，管理方便，成本较低；高宽比大可浇注粗钢锭，为锻造创造不经锻粗工艺的可能性。

（2）真空脱气与真空铸锭

根据该厂五年生产的经验，采用 RH 真空脱气处理钢水平均除氢量 50% 以上，未经过处

理钢中的含氢量 6~7毫升/100克,处理后钢中含氢量达 2.4~2.6毫升/100克。1973 年下半年开始采用真空铸锭,虽未做定氢分析,但从新生产的转子证明质量检查结果良好。真空铸锭比真空脱气处理更为良好,可防止钢流二次氧化并减少钢中夹杂。电站真空脱气情况见表 1-5。

表1-5 RH 真空脱气结果举例

钢 号	温 度 降 低 (°C)	脱 气 时 间 (分)	脱 气 (%)
P2	40	18	53
30VMOCN28	60	22	53
34MOCN15	45	18	53~56
28VNMOC11	55	13	62

采用真空脱气处理一般要进行循环三次,平均每分钟为 12 吨,真 空 泵 蒸 汽 压 力 保 证 在 16~18公斤/厘米²,真空度为 0.5~1.0 毫米汞柱。

(3) 浇注工艺

一般采用快速浇注,根据 锭 型 不 同,每分钟浇注钢水 4~9 吨,浇注 温 度 为 1550~1580°C,浇注电站钢采用 90 吨双塞杆中间包。钢锭浇注速度与保温时间见表 1-6。热送表面温度一般保持在 750~800°C。炼钢、浇注各期温度见表 1-7。

表1-6 钢锭浇注速度与保温时间

钢 锭 重 量 (吨)	包 眼 直 径 (毫米)	浇 注 速 度 (吨/分)	锭身浇注时间	冒口浇注时间	保 温 时 间 (小时)
30	50	4	6'	6~7'	12
48	55	6	6'30"	7~8'	16
61	55	6	8'	8~9'	18
81	55	6	10'30"	8~9'	22
91	55	6	11'45"	9~10'	24
100	55	6	13'	9~10'	24
135	70	9	12'	10~12'	30
152	70	9	15'	10~12'	30

表1-7 炼钢、浇注各期温度表

钢 号	炉 前 冶 炼 温 度 (°C)			包 中 脱 气 及 浇 注 温 度 (°C)			
	氧化温度	出渣温度	出钢温度	包中温度	脱气开始	脱气结束	浇注温度
28VNMOC11	1550	1700~1720	1705~1715	1665~1655	1645~1655	1595~1605	1585~1595
30VMOCN28	1550	1705~1710	1695~1700	1650~1655	1640~1645	1590~1595	1580~1585
25CMOVN35	1550	1705~1710	1695~1700	1650~1655	1640~1645	1590~1595	1580~1585
34CrMOIA	1550	1705~1710	1700~1705	1655~1660	1645~1650	1595~1600	1585~1590

浇注时保温剂所用材料是由法国进口,主要成分含铝、钙、硅,其发热量高,保温效果好,钢锭无缩孔,因而不需要采用大冒口。

(四) 转 子 的 锻 造

1. 锻造工艺的特点

锻件 5 万及 16 万瓩转子,基本上采用苏联工艺,进行一次或个别的两次锻粗。33 万千

瓦转子是由法国引进的专利，其特点如下：

① 钢锭倒棱需要有较高的温度。先粗压冒口，然后立即用两台吊车操作进行倒棱和拔长，然后再将冒口压成钳口。在倒棱这一工序要求有 1.5 以上的锻造比，因此要求钢锭具有较大的宽高比，使倒棱后有一定的拔长量。

② 工艺规定除锻件成型时用上平砧下 V 型砧外，一般拔长都用上下 V 型砧，砧宽与坯料直径比在 0.5~0.8 间。拔长操作先由头到尾以大压下量压一遍，翻转 90° 再压一遍，为此循环反复直至坯料截面接近要求的尺寸，再精心滚圆。在上下 V 型砧中拔长，使坯料处于比较强而有力的应力状态，表面不易开裂并增加心部的锻透性。

③ 镦粗时所用上下镦粗盘都有深凹的空间，可使镦粗时锻件受到尽量接近三方向压应力作用，增加钢锭内部空隙焊合的可能性。

④ 镦粗后返炉加热，以保证在高温下拔长，有利于锻透。如钢锭拔长后能保证锻造比在 3.5 以上时，则可不进行镦粗，一般锻件使用宽高比较大的钢锭，除特殊要求外基本不镦粗。

⑤ 锻件局部达到或接近成品尺寸时，加热温度略低于正常锻造温度，如发电机轴用 1190℃ 低于正常锻造温度 1235℃，加热保温时间稍短。

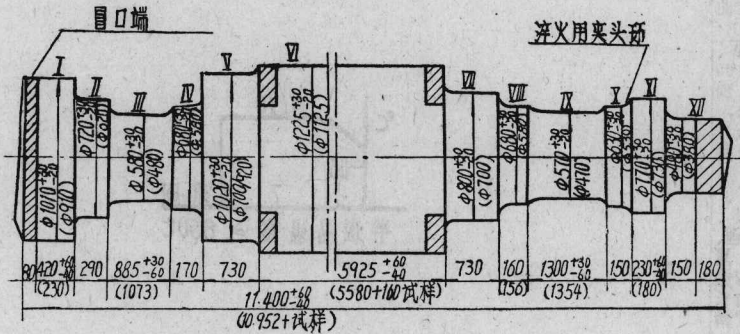
⑥ 上三角前，先用圆棒分段，如压三角的深度大于 150 毫米，则先返炉加热，以保证锻件表面有足够高的温度。

2. 33 万千瓦发电机转子及低压转子锻造工艺

表1-8 33 万千瓦电机转子锻造工艺

锻 件 名 称	33 万千瓦汽轮发电机转子	材 料 平 衡			钢 锭 草 图
钢 号	25CrMoVN35	钢 锭	134000 公斤	100%	
		锻 件	74000	55.2	
		冒 口	31000	23.8	
		底 部	21000	15.0	
含 氢 量	<3.5 厘米³/100 克	其 它	8000	6.0	

锻 件 图



(毫米)

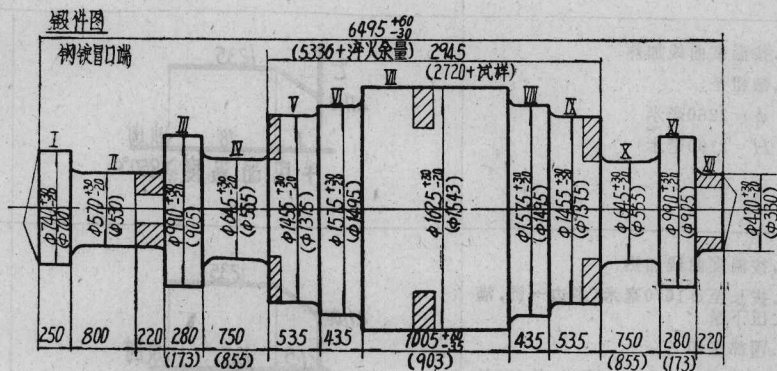
(续)

火次	温度	操作说明	变 形 过 程	工 具
第一火	1235℃	1. 按10-01-003号规范加热如温度曲线 2. 钢锭拔长成多边形, 再成圆形 $\phi 1325$ 毫米 3. 按图切冒口 4. 压印 注: 如温度低, 切头与上三角工序可再返炉加热1235℃, 保温3小时	温度曲线: $\angle 1100$, ~ 5 小时, 1235 小时, 半成品温度 $\geq 800^\circ\text{C}$ 上三角深度 100 mm/R, 上三角深度 150 mm/R 上三角前尺寸: 5350, 1400, 2330	$b = 1200$ 毫米上下V型砧 $b = 900$ 毫米上平砧
第二火	1235℃	1. 按温度曲线加热 2. 水口端 $\phi 1325 \times 2330$ 毫米拔长至 $\phi 880$ 毫米 $\times 2500$ 毫米 3. 冒口端 $\phi 1325$ 毫米 $\times 1400$ 毫米拔长至 $\phi 1110 \times 1900$ 毫米 4. 冒口端按图分段并上三角 5. 水口端按图分段并上三角 6. 切去冒口和水口余料	温度曲线: $\angle 1100$, ~ 7 小时, 1235 小时, 半成品温度 $\geq 850^\circ\text{C}$ 上三角深度 125 mm, 上三角深度 150 mm, 上三角深度 100 mm, 上三角深度 150 mm 上三角前尺寸: 800, 470, 630, 5350, 1390, 200, 400, 500	$b = 900$ 毫米上平砧 $b = 900$ 毫米下V型砧
第三火	1190℃	1. 按温度曲线加热 2. 将Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ部从 $\phi 1100$ 毫米锻到 $\phi 720$ 毫米, $\phi 680$ 毫米, $\phi 580$ 毫米并精锻 3. 拔长Ⅴ、Ⅶ部并精锻 4. 将Ⅷ、Ⅸ、Ⅹ、Ⅺ部拔长至精锻 5. 精锻轴长 6. 沿长度精整并校直 7. 检查尺寸 8. 打印	温度曲线: $\angle 0.5$, ~ 7 小时, 1190 小时, 半成品温度 $\geq 850^\circ\text{C}$	$b = 500$ 毫米上平砧下V型砧 $b = 900$ 毫米上平砧下V型砧

表1-9 33万千瓦汽轮机低压转子锻造工艺

锻件名称	33万千瓦汽轮机低压转子	材料平衡			钢锭草图
钢 号	30MOCN28	钢 锭	103000公斤	100%	
		锻 件	54700	53	
		冒 口	25800	25	
		底 部	13950	13.7	
含 氢 量	<3.5厘米 ³ /100克	其 他	8550	8.3	(毫米)

锻 件 图

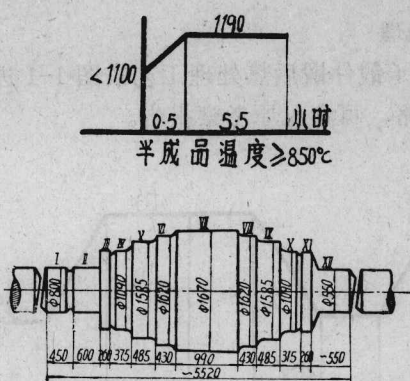
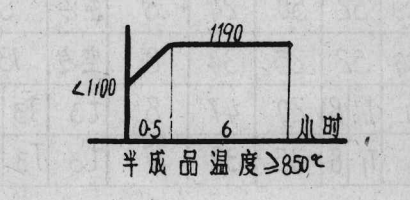
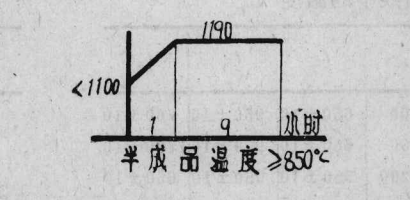


(毫米)

火次	温 度	操 作 说 明	变 形 过 程	工 具
第 一 火	1235℃	1.按温度曲线加热 2.冒口部分压至~1100毫米多边形 3.锭身倒棱并按长至 $\phi 1650$ 毫米 4.冒口部分压成 $\phi 960$ 毫米钳口应咬进锭身约200毫米 5.冒口切余料,上套筒 6.切水口如图		B=1200毫米上下 V砧型 B=900毫米上平砧
第 二 火	1235℃	1.按温度曲线加热 2.将半成品锻粗至 $D_{max} \sim 2260$ 毫米 $H \sim 2150$ 毫米		$\phi 970/\phi 1000$ 毫米 下墩粗盘 上墩粗板 75T吊钳

(续)

火次	温 度	操 作 说 明	变 形 过 程	工 具
第 三 火	1235℃	1.按温度曲线加热 2.拔长至 $\phi 1650$ 毫米 (满砧大压下量)		$B = 1200$ 毫米上下 V型砧
第 四 火	1235℃	1.按温度曲线加热 2.镦粗至 $\phi = 2260$ 毫米 $H = 2100$ 毫米		$\phi 970/\phi 1000$ 毫米 下镦粗盘 上镦粗板 75 T吊钳
第 五 火	1235℃	1.按温度曲线加热 2.拔长至 $\phi 1670$ 毫米(多边→圆, 满砧大压下量) 3.Ⅷ部压印 4.拔长Ⅷ部至 $\phi 1620$ 毫米, 按430长压印 5.拔Ⅸ、Ⅹ、Ⅺ、Ⅻ部至 $\phi 1585$ 毫米并按图压印 6.将Ⅵ部拔长至 $\phi 1620$ 毫米并按430长压印 7.拔长Ⅴ、Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ部至 $\phi 1585$ 毫米并按图压印		$B = 1200$ 毫米上下 V型砧 $P = 900$ 毫米上平 砧
第 六 火	1190℃	1.按温度曲线加热 2.按上图压印处上三角深度为300毫米 3.将Ⅹ、Ⅺ、Ⅻ部分压至 $\phi 1090$ 毫米并按图压印 4.将Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ部压至 $\phi 1090$ 毫米并按图压印		$B = 900$ 毫米上下 V型砧 $B = 900$ 毫米上平 砧 上三角用砧子 压印用半圆

火次	温 度	操 作 说 明	变 形 过 程	工 具
第七火	1190℃	1. 按曲线温度加热 2. 上三角、深度为150毫米 3. 拔长Ⅻ部 $\phi 550$ 毫米 4. 拔长Ⅰ和Ⅱ部 $\phi 800$ 毫米 5. Ⅱ部压印成 $\phi 800 \times 600$ 毫米 6. 为了切头将Ⅰ和Ⅻ部压印 7. Ⅻ部切头成 $\phi 550 \times 500$ 毫米 8. Ⅰ部切头成 $\phi 800 \times 450$ 毫米	 1190 < 1100 0.5 5.5 小时 半成品温度$\geq 850^\circ\text{C}$	B = 900 毫米下V型砧 B = 900 毫米上平砧 压印用半圆150毫米三角剃刀
第八火	1190℃	1. 按温度曲线加热 2. 拔长Ⅹ部至 $\phi 645 \times 750$ 毫米 3. 拔长Ⅳ部至 $\phi 645 \times 750$ 毫米 4. Ⅳ与Ⅹ部精锻 5. Ⅻ、Ⅱ、Ⅰ部按图精锻 6. Ⅻ部压印长220毫米 7. 切下Ⅻ部尺寸为 $\phi 420 \times 220$ 毫米	 1190 < 1100 0.5 6 小时 半成品温度$\geq 850^\circ\text{C}$	B = 300 毫米上下平砧 B = 500 毫米上平砧、下V型砧 压印用半圆
第九火	1190℃	1. 按温度曲线加热 2. Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ、Ⅻ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ部精锻 3. 平整、完结锻造 4. 打印 5. 检查尺寸	 1190 < 1100 1 9 小时 半成品温度$\geq 850^\circ\text{C}$	B = 900 毫米下V型砧、上平砧

3. 锻造工具的特点

布加勒斯特重机厂6000吨水压机所用锻造工具在设计方面也有其特点。

(1) 砧子，一般要求砧宽与坯料直径比在0.5~0.8之间，所以砧子规格较多，有300、500、600、700、900和1200毫米六种宽度。此外有为扩孔用的500×1000毫米的蛤蟆砧一个，锻造叶片专用砧一个。上砧座是用气动销子固定，下工作台面可走动，更换上下砧子都比较方便，一般仅需20分钟左右。拔长用上下V型砧其V型角的角度较大。成型时一般使用上平砧和下V型砧，此下V型砧的角度较小，一般为90°左右。

(2) 镦粗用的下漏盘和上镦粗板都带有深凹形，能造成接近于三方向压缩应力，有利于内部空隙的焊合，漏盘在圆柱部分稍带锥度，以便于将坯料取出。

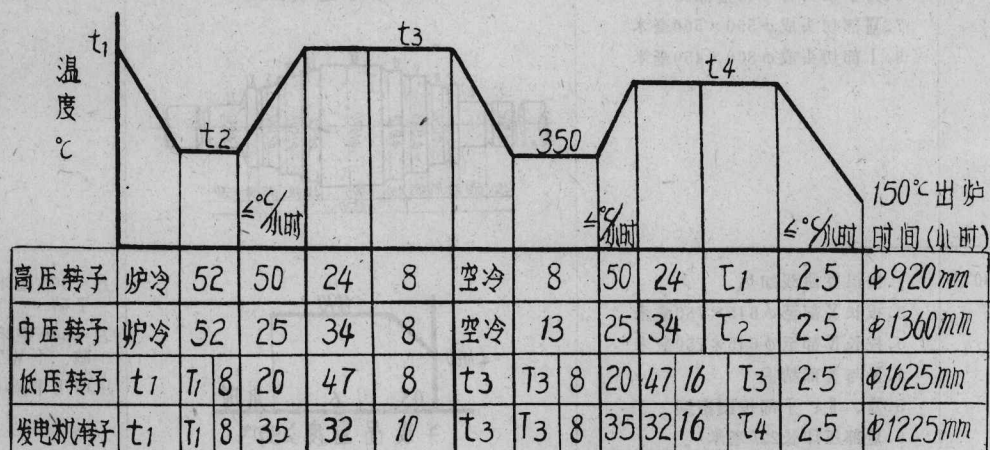
该厂的冶金附具在形状复杂的部分多采用铸件，以减少机械加工。为了延长附具寿命，一般都镶上锻钢的外套，较为合理。

(3) 装、出炉皆用吊钳操作，有一台130吨自动吊钳，是从西德进口的，自动开闭钳口，使用较方便。

(五) 转子的热处理

1. 锻后热处理

33 万千瓦转子锻件锻后热处理工艺按图 1-1 进行, 16 万及 5 万千瓦转子锻件 的 锻后热处理工艺曲线从略, 可参见原考察报告。



工艺曲线中的温度 $^{\circ}C$

工艺曲线中去氢时间 τ (含 H_2 毫升³/100克)

温 度	t_1	t_2	t_3	t_4
高压转子	~800	650 ± 10	950 ± 10	700 ± 10
中压转子	~800	650 ± 10	950 ± 10	700 ± 10
低压转子	~1200	350 ± 10	950 ± 10	650 ± 10
发电机转子	~1200	350 ± 10	925 ± 10	650 ± 10

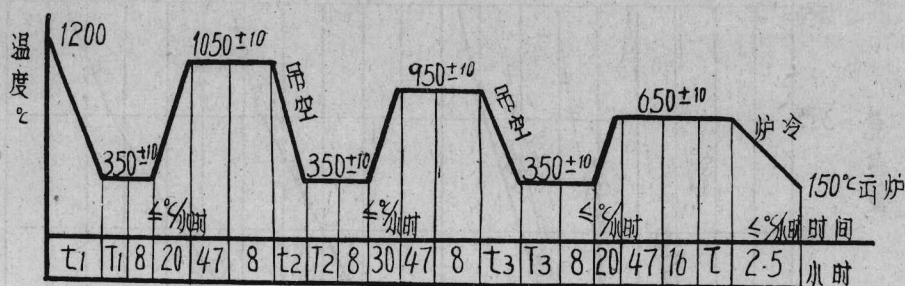
含 氢 量	≤2.25	2.25 ~2.50	2.50 ~2.75	2.75 ~3.00	3.00 ~3.25	3.25 ~3.50
τ_1	0	31	41	48	54	57
τ_2	0	65	87	102	113	120
τ_3	0	200	270	310	345	370
τ_4	0	170	225	265	295	310

低压转子及发电机转子过冷时间及过冷后保温时间 (小时)

t_1	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
T_1 低	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120
T_1 电												23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	63	67
t_3	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3						
T_3 低	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74								
T_3 电								9	13	17	21	25	29	33	37	41	45						

※ 低压转子当 $V < 0.1\%$ 时用此工艺

图1-1 33万千瓦转子锻后热处理工艺曲线



※ 低压转子当 $V > 0.1\%$ 时用此工艺

注: $t_1 T_1 t_3 T_3$ 与图 1-1 工艺相同, $t_2 T_2$ 与 $t_3 T_3$ 参数相同

图 1-2 33 万千瓦低压转子锻后热处理工艺曲线 (2)

转子锻件的锻后热处理工艺特点概述如下。

(1) 过冷及重结晶次数

16 万及 33 万千瓦汽轮机高中压转子都采用 28VNMnCr11 钢, 奥氏体稳定程度较小, 白点敏感程度也不强, 都采用一次重结晶和一次 350°C 过冷, 过冷保持时间约 1 小时/100 毫米。

5 万千瓦汽轮机高压转子 P₂M 钢采用一次过冷、一次重结晶, 与国内 P₂ 钢工艺相近。

16 及 33 万千瓦汽轮机低压转子都用 30VMnCr28 钢, 碳含量较高, 钒的碳化物 VC 很稳定不易溶解到奥氏体中, 又加上转子截面较大 ($\phi 1400$ 及 $\phi 1625$ 毫米), 工艺上规定当 $V < 0.1\%$ 时采用二次过冷、一次重结晶; 当 $V > 0.1\%$ 时采用三次过冷两次重结晶。在实际生产中当 $V < 0.1\%$ 时用一次重结晶, 往往晶粒不能细化, 超声波探伤时底波反映很少, 甚至消失, 造成返重新进行热处理, 所以 16 万及 33 万千瓦汽轮机低压转子实际上锻后均采用 1-2 工艺, 即三次过冷、两次重结晶。

16 万、33 万千瓦发电机转子由于截面尺寸较小 ($\phi 1135$ 及 1225 毫米), 采用二次过冷、一次重结晶。从调质后的金相中发现其晶粒度比较粗, 个别有 2 级, 一般为 3~4 级。

5 万千瓦发电机转子所用工艺, 如 $V > 0.1\%$ 时也采用二次重结晶工艺。

(2) 除氢

转子锻件钢都经真空脱气处理铸锭, 氢含量最高不超过 3.5 毫升/100 克, 所以除氢时间因实际氢含量而定, 图 1-1 中附表列出不同氢含量时的除氢时间, 图 1-3 是不同钢号不同直径转子的除氢时间参考温度曲线图。

由于 30VMnCr28 及 25VMnCr35 钢合金化程度较高, 奥氏体较稳定, 白点敏感性强, 当 $H_2 \leq 2.25$ 厘米³/100 克时, 在珠光体等温保温阶段, 增加 16 小时 (图 1-1 及图 1-2 曲线) 以利组织充分转变, 同时也有除氢作用。

(3) 执行工艺注意事项

锻后空冷和正常化空冷时, 当最小直径处表面冷却到 $\sim 500^\circ\text{C}$, 必须用石棉布把小直径部位包裹起来, 使整个锻件均匀冷却, 最小直径部位表面温度达 350°C (用测温笔测量) 时, 即进炉保温。

过冷时, 不同的冷却速度在过冷温度保温时间也不同, 冷却时间短、冷速快, 则保温时间长以保证整个锻件内外均匀达到过冷温度。过冷及保温时间见图 1-1 的附表。

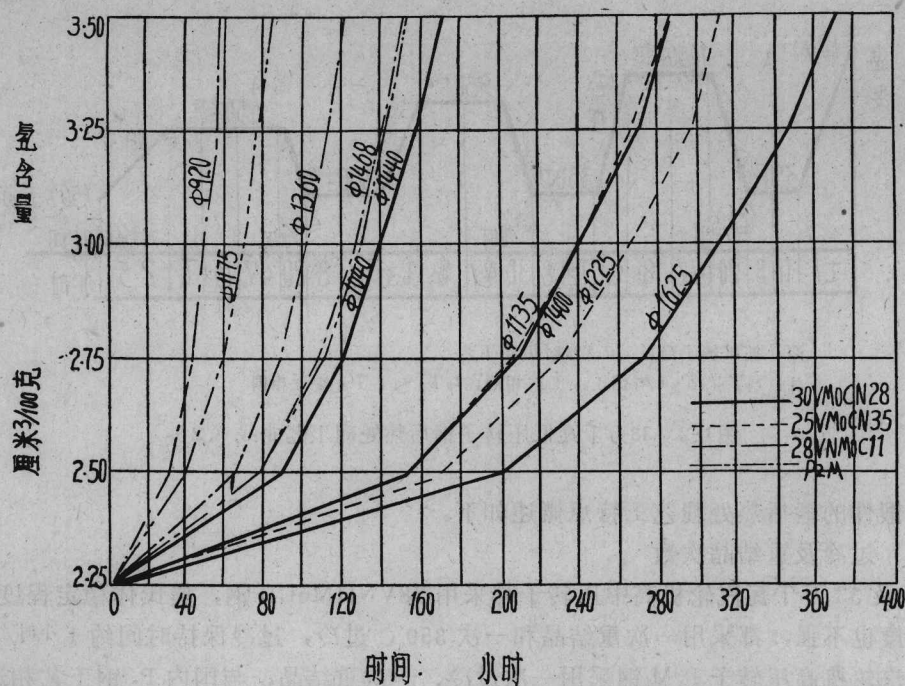


图1-3 转子钢的除氢时间参考曲线图

在整个去氢过程中，始终有二只热电偶和锻件相接触，分别插在最大和最小直径部位，以准确地控制锻件温度。350℃保温以最小直径部位热电偶为准。

决定除氢时间取含氢量的上限值为依据。

2. 调质热处理

(1) 转子锻件的吊装

转子锻件送到热处理车间后，先检查表面质量，如有裂纹等缺陷，即进行打磨清除。锻件先用吊环起吊垂直安放在专门设置的装料架上，如图1-4所示。装卡时力求垂直，其吊具

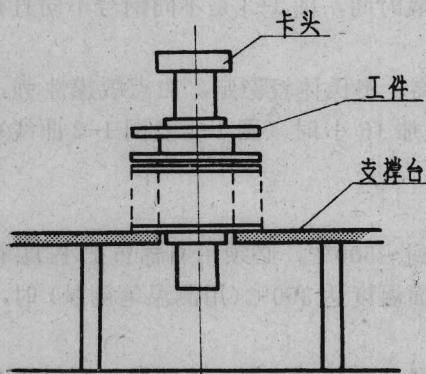


图1-4 装料架示意图

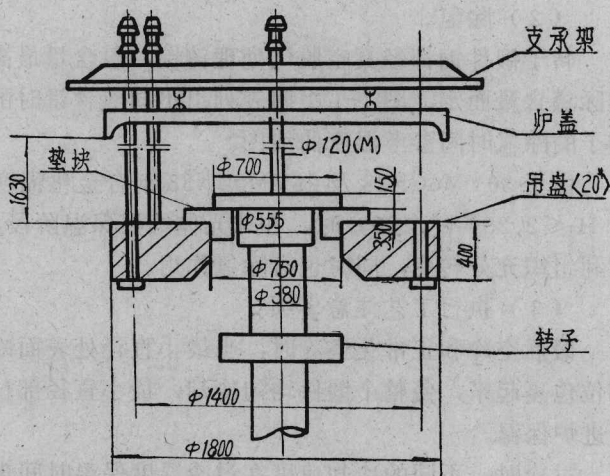


图1-5 转子吊具示意图