

东北重型机械学院科技情报室	
分类号	17
卷册号	009

内部资料
注意保存

火电设备大锻件资料汇编

第二集

第一机械工业部矿山重型工程机械局
第一设计院、北京重型机器厂 编

第一设计院情报科印
1978. 10

火 电 设 备 大 锻 件 资 料 汇 编

第 二 集

第一机械工业部矿山重型工程机械局

第一设计院、北京重机厂编

一 九 七 八 年 十 月

前 言

我部重型机械制造行业从一九六〇年开始试制火电设备大型锻件。产量和品种逐年增加。无产阶级文化大革命以来，更有较快的发展。目前已可以成套提供30万千瓦发电机组所需锻件。

一九七三年以来，我部曾召开了四次电站大锻件质量座谈会，总结、交流了各厂电站大锻件的生产技术经验，推动了各厂加强生产管理，提高锻件质量的各项措施，组织协调了生产工艺的试验研究工作。一九七四年曾将第一次座谈会上交流的资料整编成册，第二至第四次座谈会上所交流的资料反映了近几年各厂电站锻件生产中新的经验和新的成就。现在我们再次加以系统整理，以提供有关单位参考。

各厂专题技术总结资料已在会上交流。这次整编仅简述主要概况，扼要报导新的成就。具体生产技术数据适当精简，以避免重复。缩减篇幅。由于资料内容和整编人员水平所限，遗漏与错误之处恐所难免，希有关单位及读者指出，以便更正。

目 录

前 言

一、火电设备锻件生产工艺概况

- (一) 炼钢
- (二) 铸锭
- (三) 锻造
- (四) 热处理
- (五) 机械加工
- (六) 测试与质量检验

二、火电大锻件所用钢材品种的进展

- (一) 发电机转子用钢
- (二) 汽轮机高中压转子用钢
- (三) 汽轮机低压焊接转子用钢

三、发电机护环的生产概况

一、火电设备锻件生产工艺概况

1973年以来，我部召开了四次电站大锻件质量座谈会，在不断总结交流经验，相互学习的推动下，几年来，各厂电站锻件生产有了较大的进展，质量有所提高。在完成部下达生产任务的同时，为提高生产能力并为试制60万千瓦发电机组所需锻件进行了大量工艺准备与试验研究工作。

1974年以来各厂电站大锻件主要生产工艺概况扼要整编如下。

(一) 炼钢

目前，大型电站锻件用钢仍以酸性平炉和碱性电炉冶炼为主。几年来，各厂对酸性平炉冶炼操作加强管理，精心维护炉体，严格炼钢操作工艺，为提高钢水质量取得了一些成效。一重厂在大型真空处理设备尚未正式建成投产的情况下，为提高酸性平炉硅锰还原法冶炼转子用钢的质量，降低钢中含氧量，以减少氧化物夹杂，对钢水终脱氧问题进行了研究。1975年以26Cr2Ni4MoV钢及34CrNi3Mo钢进行加铝与不加铝脱氧试验，取得了一定效果。

他们在生产实践中观察到，用硅锰还原法冶炼的钢，出钢前取样看断面，其试样收缩比电炉钢出钢前的试样差，有时出现气孔，甚至发生试样上涨，表明钢中脱氧不完全，酸性炉钢的含氧量高于电炉钢，因此提出采用强脱氧剂进行终脱氧的问题。

他们认为，酸性平炉钢加铝进行终脱氧，不仅可以降低钢中含氧量，且因铝的存在可以减轻钢水受二次氧化所带来大型颗粒夹杂的危害。钢中形成的细小颗粒的 Al_2O_3 夹杂是容易上浮的，并可将其其他非金属夹杂一起带着上浮，因此可以提高钢水的纯洁度。表1所示的钢中夹杂物的含量可以说明。不加终脱氧剂的34CrNi3Mo钢中夹杂物为球状 SiO_2 ，含量达80~90%以上。个别的并出现

表 I 硅锰还原法钢中夹杂物含量

钢号	终脱氧剂	夹杂物含量 (%)				
		总量	比率	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO
26Cr2Ni4MoV	CaSi 1公斤/吨	0.01407	387	81.02	3.65	5.68
"	CaSi 1公斤/吨	0.00363	100	37.19	35.81	8.26
34CrNi3Mo	Al 0.2公斤/吨	0.0206	567	78.70	2.84	5.89
	无终脱氧					2.64

FeO、MnO以大颗粒铁锰硅酸盐类型夹杂存在。用1公斤/吨硅钙终脱氧生产的26Cr2Ni4MoV钢中，SiO₂以球状存在，但含量较少。用1公斤/吨硅钙和0.2公斤/吨铝终脱氧的26Cr2Ni4MoV钢中的夹杂以Al₂O₃细小颗粒存在，也有少量SiO₂球状夹杂。钢比较纯净。

另外，限制硅还原法冶炼的30Cr2MoV钢用2公斤/吨硅钙终脱氧，钢中夹杂物为细条状硅酸盐。如用0.5公斤/吨铝终脱氧，钢中夹杂物以Al₂O₃细小颗粒为主，也出现堆集的硅酸盐和铝酸盐。但用相同工艺生产的26CrNiMoV钢中Al₂O₃夹杂物量少而分散。较纯净。

通过试验结果分析初步认为, 26Cr2Ni4MoV钢用加铝终脱氧, 进一步用氩气保护浇注或改进粉渣保护浇注, 可以得到比较纯净的钢。

(二) 铸锭

通过生产实践, 各厂近年对电站大锻件所用钢锭的铸锭工艺都比较重视。除去采用真空处理技术之外, 还对粉渣保护、液渣保护、吹氩保护浇注等方法不断改进, 并积极进行真空碳脱氧工艺的试验研究工作。铸锭工艺的改进, 新技术的采用, 为减少钢中夹杂和气体, 提高钢的纯净度取得了显著成效。

1. 真空技术的采用

1973年上重厂建成RH真空循环脱气设备, 随后建成真空铸锭室; 1974年二重厂200吨真空铸锭设备投入生产; 一重厂早期建造的60吨真空铸锭设备也经调整后使用。三个厂真空铸锭设备主要技术参数如表2所示。

表2 三个厂真空铸锭设备主要技术参数

工厂	真空铸锭规格 (吨)	真空室尺寸 ($\phi \times H$, 毫米)	蒸汽喷射泵能力 (公斤/时)	浇注时予抽真空度 (托)	浇注过程中可达真空度 (托)	备注
一重	60	$\phi 4200 \times 6290$	50	1.0	1.35	可铸最大钢锭100吨 (120T)
二重	200	$\phi 5300 \times 8740$	300	0.5	~3.0	
上重	100	$\phi 4500 \times 5400$	300	0.5		蒸汽喷射泵可用于RH循环脱氧

二重厂真空铸锭实际情况，340T Ni3Mn0钢30万千瓦发电机转子用145T钢锭双联硅还原法冶炼。平炉钢水与碱性电炉钢水合浇，真空设备有关参数见表3，真空浇注有关参数见表4。真空度系采用ZP-2型圆盘真空计测定。浇注后破坏真空，从冒口取样进行气体与夹杂分析结果见表3

表3 真空设备有关参数

浇注编号	予抽至1托		达到极限		浇注时瞬间真空度		酸性平炉钢水浇碱性电炉钢水浇		排气最高	
	时	间	真空度	真空度时间	间真空度	注时瞬间真空度	注时最低真空度	注时最低真空度	注时最低真空度	温度
	(分)	(托)	(托)	(分)	(托)	(托)	(托)	(托)	(托)	(°C)
B742	27		0.66	99	7.5	1.1	2.5			250
B743	27		0.57	84	6.2	1.2	1.26			140

表5。由于取样问题，氢样均未做出常温氢，夹杂样没有电解除夹杂。钢锭经锻造、粗加工后，超声波探伤结果，B742未发现大于 $\phi 2$ 当量的缺陷，B743水口端轴颈 $\phi 2$ 、 $\phi 3$ 当量缺陷各3个。两根转子冶金质量较好，与该厂所生产的20万千瓦转子相比，夹杂物含量与分布情况都有显著改善。由于真空状态下取样未能解决，定氢技术未能提供准确数据，锻后热处理时间未能缩短，真空处理技术的显著效果尚未体现出来。

表4 真空浇注有关参数示例

浇注编号	钢号	炉号	锭型 (吨)	大包水口 直径(毫米)	中间包 水口直径 (毫米)	镇静时间 (分、秒)	锭身浇真空 注时间 (分)	间补 (分、秒)	大气中 浇注速度 (吨/分)
B742	340rN23M0	745004	145	平炉 60	50	平炉: 10'40"	16'	19'30" 3'30"	7.5
		747028		电炉 60		电炉: 4'30"			
B743	340rN23M0	745007	145	平炉 70	50	平炉: 14'7"	22'	27'0" 6'14"	5.5
		747032		电炉 60		电炉: 11'			

表5 冒口取样气体与夹杂分析情况

浇注编号	高温氢 (厘米 ³ /100克)	氮 PPM	氧化物 (级)	硫化物 (级)	晶粒度 (级)	备注
B742	1.87	35	0.5	1.0	5-6	有少量硅酸盐球状分散 分布 φ0.023毫米
B743	2.29	42	1.0	1.5		

2. 真空碳脱氧工艺的采用

真空碳脱氧是在真空技术用于浇注大型钢锭之后出现的一项新工艺。将没有进行脱氧的钢水，在真空条件下，依靠钢水中自身的碳来脱除钢中的氧。由于一氧化碳气体分压极小，加上钢水中不含或少含与氧亲和力较大的强脱氧剂，如铝、硅等，就可以使碳直接与氧形成一氧化碳气体。钢水在真空室内呈细滴流状，具备了良好的脱气效果使一氧化碳气体很快地排除。因此可以大幅度地减少钢中含氧量与非金属夹杂物，提高钢的纯净度。

据国外试验报导，真空碳脱氧可以使钢中含氧量降低到20 PPM。真空碳脱氧效率比镇静钢真空处理脱氧效率高一倍。真空碳脱氧钢含氢量可降到0.4~1.2 PPM。氮含量处于10~30 PPM范围。真空碳脱氧钢锭中夹杂物的分布仍是底部多于中部和上部，但硫化物和非金属夹杂物的颗粒非常细小，分布更为均匀。

上重厂于1974年进行碱性电炉真空碳脱氧工艺的试验。一重厂于1975年起用碱性平炉钢真空碳脱氧工艺进行了大量试验研究工作，初步取得了预期的结果。

(1) 碱性电炉真空碳脱氧工艺

1974年以来，上重厂应用真空碳脱氧工艺共投产68吨钢锭七支、100吨钢锭12支。现以两支25CrNi3MoV钢12.5万千瓦发电机转子为例说明工艺情况及铸件质量情况。

① 钢的冶炼

100吨钢锭。一支用两台20吨电炉超装钢水合浇。一支用两台20吨电炉。一台5吨电炉超装钢水合浇。熔化末期吹氧助熔。提前造渣脱磷。氧化期脱碳量 $\geq 0.4\%$ 。予脱氧只加Si—Mn合金4公斤/吨。不加Al和CaSi。还原期仅加电石2公斤/吨和适

量碳粉进行扩散还原，不用硅粉作还原剂，控制残硅量 ≤ 0.05 。出钢前不加P、S \bar{z} 调整成分，不用任何终脱氧剂，以充分发挥真空碳脱氧作用。出钢温度：20吨电炉1650~1670℃，5吨电炉1660~1680℃。钢水镇静 ≥ 10 分钟，浇注温度1550~1570℃。

② 真空碳脱氧浇注

钢水包105吨及90吨，上水口 $\phi 60\sim 65$ 毫米，下水口 $\phi 55$ 毫米，中间包26吨，塞杆水口 $\phi 50$ 毫米。限流器用烧结铝制品，罐下 $\phi 200/\phi 340\times 665$ 、罐上 $\phi 200/\phi 340\times 95$ 毫米，帽口顶端离限流器底边控制在800~900毫米。浇注中真空度的变化见表6。浇注实况见表7。浇注完毕立即向冒口加发热剂0.5公斤/吨，随后再加焦炭粉保温剂1.0公斤/吨。

表6 浇注中真空度的变化

炉号	予抽时间抽至一毛所需时间(分)		所开浇时真空度(毛)		备注
	(分)	(分)	度(毛)	度(毛)	
A2514+B3065	25	14	0.53	0.57	冒口有3/5在大气下浇注
				~700	
A2672+B3155 +0348	38	未达1毛	1.20	1.15	真空度低，罐中凝糊

表8 100吨钢锭的化学成分及偏析情况。(%)

炉号	试样	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al
A2514+B3065 中心孔套料	钢水	0.23	0.47	0.02	0.014	0.008	1.08	3.25	0.42	0.11	0.12	0.003
	冒口端	0.25				0.015	1.09	3.24	0.40	0.09		
	↓	0.24				0.012	1.04	3.34	0.39	0.09		
		0.25				0.011	1.04	3.24	0.39	0.11		
		0.24				0.010	1.07	3.34	0.39	0.115		
		0.22				0.011	1.06	3.22	0.37	0.105		
转于轴身	表面	0.23				0.010	1.05	3.30	0.39	0.12		
	钢水	0.26	0.48	0.05	0.012	0.009	0.93	3.40	0.40	0.10	0.07	0.004
中心孔套料	冒口端	0.30				0.012	1.06	3.34	0.36	0.09		
	↓	0.30				0.012	1.10	3.30	0.37	0.09		
		0.30				0.011	1.08	3.34	0.35	0.13		
		0.26				0.010	1.07	3.34	0.37	0.14		
		0.26				0.010	1.05	3.20	0.33	0.09		
A1788+B 100T真空脱气渣保护 浇注	冒口端	0.39				0.018	1.03	3.45	0.50	0.09		
	↓	0.39				0.014	1.09	3.42	0.50	0.09		
		0.38				0.010	1.02	3.20	0.50	0.09		
		0.33				0.012	0.96	3.35	0.45	0.09		
		0.30				0.009	0.92	3.17	0.45	0.10		
		0.28				0.009	0.96	3.22	0.42	0.07		
		0.24				0.007	0.94	3.10	0.40	0.07		
表面	0.28				0.009	0.94	3.25	0.42	0.12			

表7 浇注参数

炉号	镇静时间 (分、秒)	浇注温度 (°C)	浇注速度(分秒)		真空室内情况
			锭身	冒口	
A2514+B3065	大包20'	1555	12' 50" (6.3吨/分)	5'	钢水散流良好, 事故性破坏真空, 使冒口有3/5在大气下浇注
A2672+B3155 +0384	大包20' 小包8' 10"	1550	16' 10" (5吨/分)	9' 30"	真空度偏低, 钢水扩散不够好, 沸腾弱, 室内模糊

② 质量检查结果分析

a、化学成分与成分偏析 见表8。

由表8中看出, 真空碳脱氧工艺生产的转子锻件其成分偏析最小, 碳偏析为0.03~0.04%对比之下, 真空脱气、液渣保护浇注的钢锭偏析较为严重。这是因为真空碳脱氧浇注过程钢水扩散细化, 多呈小雨滴状均匀下落, 锭模体内温度场比较均匀, 而大气浇注钢水为胶状集中浇入锭模中心, 造成相异的温度分布及传热和凝固条件。

b、钢中含[H]、[O]及夹杂物。见表9及10。

表9 钢中含〔O〕、〔H〕量

炉号	取 样	〔O〕 (PPM)	〔H〕 (厘米 ³ /100克)
A2299 及 B3037	出钢前 浇注前	68 46	3.55及 7.69 —
68T 钢锭 真空碳脱氧	锻件中心套料	冒口端	0.60
A2514 + B3065	锻件中心套料	12 17 15 14 14 14 8 13 12 10 14	—
A2672+B3155 +C384	"	14 18 13 14 3	—

表10 钢中非金属夹杂物含量

炉号	工艺及取样	夹杂总含量 %	夹杂组成 (%)						
			Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	MnO	FeO	MgO	CaO
68T 钢锭 A2299+B3037	真空碳脱氧 中心套料	0.0026	30	3.0	20.0	2.0	30	5.0	3.0
68T 钢锭 A2301+B3039	"	0.0032	48	2.0	30.0	4.0	18	6.5	2.5
28T 钢锭 A152	大气浇注冒口 端取样	0.014	53.5	—	6.62	0.77	12.8	7.12	/
38T 钢锭 B574	大气浇注、本 体解剖取样	0.0125	44.0	—	5.95	3.72	30.4	7.2	/

因真空浇注过程中取样困难，表9中只列举了浇注前〔O〕及〔H〕的数据。锻件中〔H〕、〔O〕量与夹杂物分析试样取自中心套料。〔O〕量用真空熔融法测定，夹杂物用电解化学法分析总量，夹杂物组成以光谱测定。由表中可以看出，真空碳脱氧工艺生产的转子钢纯洁度较高，含氧量低为12~22 PPM，内生夹杂物少，为0.0026~0.0032%，与大气浇注钢锭相比，夹杂物降低约4倍。

为了研究局部区域夹杂物的大小与形态，用金相显微镜对中心孔套料进行观察，寻找视场中所能见到的最严重的夹杂，以了解内生夹杂物与外来夹杂物的实际情况。A2514+B3065炉号1#~7#试样观察结果，硫化物严重者为1~2级，氧化物多在1级以下，但2#试样有三条，尺寸约0.18~0.5毫米长的长串硅酸盐夹杂物。A2672+B3155+C384炉号1#~5#试样观察结果，氧化物小于1级，硫化物严重者达2~2.5级，近水口端的5#试样有个别长条夹杂，最长尺寸为0.6毫米。在炉号A2672+B3155+C384转子水口端低倍试样上所发现的外观像残余缩管的缺陷，呈人字形，偏中心孔壁60毫米，沿缺陷纵向拨开，发现内夹有大量夹杂物，金相显微观察发现夹杂物尺寸很大，作粉末X光衍射结果判断为： $3CaO \cdot Al_2O_3$ 、 $FeO \cdot (AlCr)_2O_3$ 、 $MnO \cdot Al_2O_3$ ，还有 $FeO \cdot SiO_2$ 及极少 Fe_2O_3 、 SiO_2 。经分析判断，人字形缺陷是大块夹杂物造成的裂缝，这是因锻造切尾率少，钢锭底部的夹杂物沉积锥混入锻件所致。此外，由于耐火材料质量较差，流钢系统浸蚀较大，在转子锻件上发现了大块的外来夹杂物是完全可能的。质量检验表明，转子钢的氧含量与电解夹杂物很低，内生夹杂物的危害因真空碳脱氧的效果可以排除，但外来夹杂物没有

上浮排出给转子质量造成严重威胁。

○、超声波探伤

炉号 A 2 5 1 4 + B 3 0 6 5 锻件在初探与复探中皆未发现 $\phi 2$ 当量缺陷。质量甚好。炉号 A 2 6 7 2 + B 3 1 5 5 + C 3 8 4 锻件在水口端发现 2 2 个缺陷。最严重缺陷面积 $4 0 \times 1 2 0$ 、深 1 8 6 毫米。当量 $\phi 2 \cdot 5$ 。其余小缺陷 $\phi 1 \sim 2$ 当量。因集中在 $\phi 5 3 7$ 毫米小颈端部。采用局部磨削法基本消除。

②、机械性能

1 2 · 5 万千瓦发电机转子热处理工艺为：8 3 0 °C 喷水激冷。表面终冷温度 8 0 °C。6 4 0 °C 回火。机械性能见表 1 1。

由表中看出。钢的塑性、韧性较好。多向异性不明显。径向或切向冲击值达 $2 0 \cdot 5 \sim 2 5 \cdot 0$ 公斤-米/厘米²。比大气浇注的约提高 $1 / 4 \sim 1 / 3$ 。这是钢具有高纯净度的结果。

③、脆性转变温度与断裂韧性 见表 1 2。