

# 大型铸锻件文集

太原重型机器厂研究所情报科

5

1990、1991合刊

机械电子工业部大型铸锻件情报网

## 大型铸锻件文集 5 / 90—91

---

### 机械电子工业部大型铸锻件情报网网刊

**编辑单位：**太原重型机器厂研究所情报科

**责任编辑：**杨德仁

**印刷单位：**太重福利厂

**印刷日期：**1991年3月

---

改进发电设备大型锻造钢锭内部性能的新熔炼操作	王步升译 ( 1 )
大同特殊钢公司涉川工场改进锻锭的制造技术	宋新萍译 ( 6 )
大型锻件空心坯的偏析现象	王步升译 ( 13 )
锻砧圆弧半径对延伸的影响	杨德仁译 ( 21 )
Fe—Ni合金A 286冶炼方法及其冶炼质量	宋新萍译 ( 27 )
燃气轮机大型A 286合金叶轮的制造	宋新萍译 ( 33 )
燃气轮机的大型A 286合金叶轮的性 能	宋新萍译 ( 39 )
用435吨钢锭制成200吨发电机轴的生产性能	程 实译 ( 45 )
超导发电机转子锻件	孙 鹏译 ( 53 )
超纯35Ni CrMo V钢低压汽轮机转子锻件的生产性和性 能	程 实译 ( 61 )
大直径发电机护环的温液压胀形	储元宏译 ( 65 )
大型发电机护环的温液压胀形	储元宏译 ( 70 )
核电站汽轮机叶片毛坯制造技术的前景	储元宏译 ( 78 )
汽轮机叶片热处理规程的改进	王步升译 ( 81 )
大型汽轮机叶轮淬火时的强化冷却	储元宏译 ( 83 )
大型汽轮机叶片制造技术的某些综合研究结果	储元宏译 ( 86 )
利用超塑性接触效应的叶片精制毛坯的制造工艺	王步升译 ( 90 )
自由锻造中计算机的应用	孙 鹏译 ( 95 )
17.5MN压机自由锻造的现代化	杨德仁译 ( 102 )
活动柱塞式自由锻压机和成套传动系统的生产经验	杨德仁译 ( 109 )
模锻螺旋压力机 ( 1 )	陈少虹译 ( 115 )
模锻螺旋压力机 ( 2 )	陈少虹译 ( 121 )
提高锻造炉内氧气的性能改善经济效益	张 光译 ( 127 )
精密铸造技术的进步	张 光译 ( 133 )
对铸铁件缺陷采用的对策	张 光译 ( 139 )

# 改进发电设备大型锻造钢锭内部性能的熔炼操作

A. choudhury等

## 内 容 提 要

为避免A偏析，要保证的是低硅含量，而不是真空碳脱氧过程，即避免A偏析是与脱氧操作无关的，因此在脱氧操作中可以使用铝。钢锭中的铝含量必须保持在100ppm以下，以消除其蠕变断裂性能的恶化。

本文给出了试验熔炼钢水用铝脱氧的结果。用铝脱氧能够熔炼出磷、硫和氧含量很低的锻造钢锭，使锻件具有较好的韧性。

### 序 言

为了生产透平和发电机轴的锻造钢锭，必须要求其微量元素的含量很低。用正确地选择原材料，只能使砷、锡、铈和铜的含量保持低水平，而磷和硫的去除则需要冶炼和精炼期间采用适当的冶炼措施方可完成。与早期大约100ppm的硫和磷的含量比较，近年来，对硫和磷含量的要求分别低于50ppm和70ppm。为了使锻件具有所要求的机械性能，除了要求材料具有均匀的金相组织，相对低的偏析和低的夹杂物含量是无其他方法的。

然而，上述这些要求，只用典型的电弧炉炼钢操作是不能满足要求的。为此，要求进行新的冶炼操作的研究，这些研究包括在电炉中脱碳和脱磷后，用钢渣隔离出钢。而合金化，脱氧和脱硫要采用适当的钢包冶炼法，即要在钢包中进行。为此，西德的布尔巴赫·埃希·迪德朗日联合钢铁公司（A R BED）在1982年安装了新的钢包脱气装置，并配备了真空铸造设备。图1示出了这种工艺的处理程序。所冶炼的锻造钢锭的全部钢

水，在电炉中脱碳和脱磷后都出钢到白云石衬的钢包中。而后将合金元素和碱性渣混合加入钢包中，而钢水的预脱氧在出钢期间在钢包中进行。而后在真空脱气装置中脱气，同时除了在该装置中除氢外，还要进行最后的脱氧和脱硫，以使钢水中的氧和硫的含量达到很低的水平。当最终调整好所要求的化学成分之后，需要用适度的氩气进行净化以去除悬浮的氧化夹杂物。随后在真空条件下，或是在氩气保护下进行浇注。

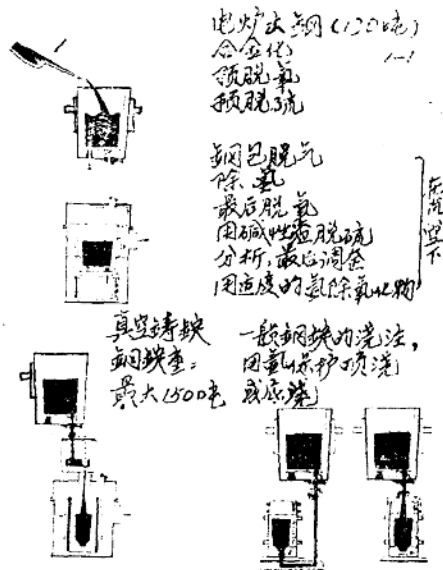


图1 生产锻造钢锭用钢水的处理程序图

### 真空碳脱氧对锻造钢锭均质性的影响

为了生产转子用锻造钢锭，用户的技术规范要求，钢水要进行低硅含量而不用铝的真空碳脱氧(VCD)。实践证明，真空碳脱氧能将钢中(特别是对NiGrMoV钢)的A偏析的形成限制到最低的程度。当硅含量低于0.06%时，A偏析几乎可以避免(1)(2)(3)。实践表明，采用真空碳脱氧的钢，其回火脆性的敏感性较低(3)(4)(5)。

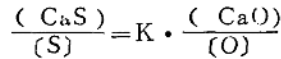
Suzuki和Taniguchi(6)最近发表的文章表明，对NiGrMoV钢的低硅含量真空碳脱氧能减轻其A偏析的生成，同时这种脱氧的方式能够在凝固前部细化树枝状晶体，并可抑制A偏析的形成。真空碳脱氧对回火脆性的影响，在参考文献(7)中解释为低硅含量的影响。R. Tarmann指出，当硅含量高于0.10%时，NiGrMoV钢的回火脆性就会变得更大些。

从上述的这些论点，可以作出这样的结论：真空碳脱氧对A偏析及回火脆性的有益效果并不在于这种脱氧方法的本身，而仅仅是由于低硅含量的结果，所以，对于真空碳脱氧，硅含量低是必要的。

以低硅含量而不用铝的钢水真空碳脱氧期间，是在真空中通过碳和氧的化合而形成CO的反应来完成脱氧的。在脱气后，钢水中的含氧量要降到极低的水平以避免在凝固期间CO气体的逸出。在真空处理期间，通过CO的反应来消除溶解氧，然而达不到理论上的平衡。尽管高真空度的存在(其压力=10<sup>-4</sup>托)CO的反应仍停止在相当高的含氧量水平，如图2所示(按照A. Tix和Coworker(8))。高的含氧量必然导致在钢水的凝固期钢中氧化物的含量也高，而且在钢锭的底部可引起明显的氧化物富集。

另外，钢水用真空碳脱氧，在钢包处理期间要达到很低的含硫量是困难的。为了使

钢水得到很低的含硫量，必须在出钢期间往钢包中加含高碱性渣的氧化钙，同时，在钢包脱气期间要对钢水进行强烈地搅拌。这样，去硫的反应是按下列方程进行，即：



式中  $\frac{(CaS)}{(S)}$  表明了钢渣与金属之间硫的分布情况。从上述方程式可以得出，在钢渣中CaO的含量高(即高碱度的渣)，在钢水中的含氧量低时可以促进钢水中的硫向钢渣中转移。在以含硅量低的办法对钢水进行真空碳脱氧时，如不加任何强的脱氧剂，由于钢水中有相对高的含氧量，那么，脱磷是不完全的。要使钢水中的含磷量达到50ppm也是很困难的。

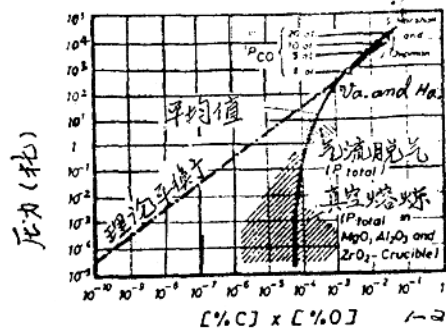


图2 在温度接近1600℃时，[C]×[O]与压力的关系(根据A. Tix和Coworker(8))

### 铝脱氧的试验熔炼结果

根据上文所讨论的问题，有必要检验NiCrMoV全镇静钢的锻造钢锭的初生金相组织，这种钢在冶炼时是以低硅含量，而用铝脱氧的。图3示出了100吨钢锭顶部的试样，其整个横截面宏观金相组织及硫印的情况，钢锭的含铝重为0.012%，含硅量为0.02%。从图3可明显地看出，无A偏析。该结果进一步证实这样一个结论：即A偏析的形

成并不取决于脱氧的型式，而仅与硅含量有关。本文还研究了其他一些铝和硅含量相类似钢锭的，也证明了这些结果的正确性。

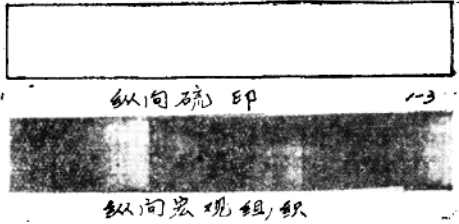


图3 用铝脱氧对钢锭顶部初生金相组织的影响

图示为：

钢锭重100吨，钢种为26Ni CrMo V，脱氧剂含量为0.02% Si, 0.24%Mn, 0.012% Al, 含硫为0.009%。

由于铝脱氧后，钢中溶解氧的含量很低，因此，用适当的碱性渣以低硅含量用铝脱氧能够使钢水经济和有效地脱硫。但，据知，用铝脱氧能削弱材料的蠕变断裂性能（特别是对CrMoV钢(9)、(10)）。J. L. Ratliff和Coworker指出，酸可溶解的铝量低于0.010%时，并不影响CrMoV钢的蠕变断裂性能。已经查明，只有当酸可溶解的铝的浓度大于0.010%时，铝才会有有害的影响。这就是说，在整个的冶炼期间脱氧的应用并不能完全禁止。而必须保证，在最后凝固的钢锭中铝含量不能超过0.010%。为满足这种要求，在整个的冶炼期间正确地控制铝含量是非常重要的。所以，正确的新的冶炼操作应包括如下阶段：

- 1) 在电弧炉中脱磷，使含磷量达到低于60ppm。
- 2) 出钢到碱性内衬的钢包中，加铝脱氧，并将碱性渣混合物加入钢包中。
- 3) 在钢包脱气装置中以强烈搅氩气的方式使钢水脱气和脱硫。
- 4) 用适量的氩气冲离钢水中的氧化夹杂物。

5) 在整个冶炼期间，用EMF一元件(Cells)断续地测量钢水中溶解氧的含量，以控制其铝的含量。

6) 在真空中或在氩气保护下进行浇铸。

用上述的这种方法已冶炼了大量的Ni-CrMoV和CrMoV钢，迄今，这种方法都得到了用户的认可。而所得到一些结果在下文还要进行讨论。

图4给出了钢包处理钢水期间，钢水中铝含量的变化(图4中的上图)。在出钢期间铝的加入量及其随后的加入量，必要时，可用EMF元件来测量钢水溶解氧的办法进行控制。图4的下图表明了总的铝含量和酸溶解铝之间的关系。从图中可明显地看出，总的铝含量在90ppm时，是符合酸溶解的铝量在60ppm和80ppm之间的情况的，这对材料的蠕变断裂性能并没有任何有害的影响(9)。

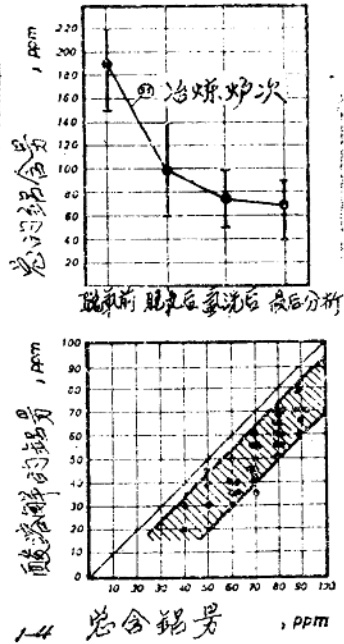


图4 冶炼转炉钢的钢水在钢包处理期间铝含量的变化

在图5中,对用铝脱氧的冶炼工艺与不加铝的真空碳脱氧的工艺之间的差别得到了证实。它表明,用EMF元件所测量的溶解氧的含量取决于130吨的钢包脱气处理终了时的溶解铝的含量。该图也包括C—O平衡和用真空碳脱氧(11)时,实际所达到的含氧量,同时该含氧量是作为含碳量的一个函数。图5进一步证实:真空碳脱氧熔炼的氧含量不可能达到理论的C—O平衡。就以含碳量为0.25~0.30%的典型的透平机主轴钢来说,在真空处理后其含氧量在40ppm~60ppm之间。用铝脱氧时,钢包处理当含铝量低于100ppm时,其含氧量将大大降低。这些含氧量是符合在1600℃时的Fe—O—Al平衡的理论值的。

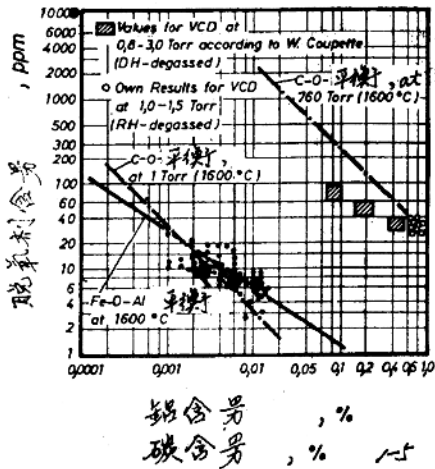


图5 溶解氧与脱氧剂之间的关系

图例说明:

■—按照W. Coupette在0.8~3.0托时的VCD值(DH—脱氧)

○—在1.0~1.5托时的VCD结果(RH脱气)

同样,用铝预脱氧比用真空碳脱氧时其氧的总含量要低得多。从图6中也能看出,

用铝预脱氧时其钢水中平均氧的总含量约为17ppm,而用真空碳脱氧时其氧的总含量为55ppm。用铝脱氧后,即使铝含量降低到40~90ppm,钢的氧化物的清洁度也比只用真空碳脱氧好得多。

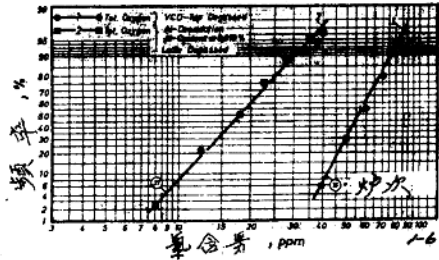


图6 采用不同的脱氧方法,脱氧转子钢中的含氧量

图例说明:

●—1—●总的氧(用VCD顶部脱气)

■—2—■总的氧: 铝脱氧, 铝=0.01%, 钢包脱气。

图7给出了用铝脱氧及用钢包脱气与用真空碳脱氧时,钢中最终磷和硫含量的比较。由图7的上图表明,在熔炼炉中脱氧期间,用两种方法的去磷情况相接近,即用两种方法处理的最终平均含磷量皆为65ppm。开始时的含硫量几乎相同,而用铝脱氧最终含硫量的平均值是在30ppm的范围之内,由图可以看出,用铝脱氧比用真空碳脱氧的含硫量低得多。从前面所讲到的化学方程(反应式)也能进一步证明,钢水在真空碳脱氧处理中,要想使含硫量达到很低的水平则要求更换上新的钢渣,持续处理的时间长。假如没有中间加热设备(即钢包加热器)发生在这样长的处理期间的高温损失,即会使这种处理方法的使用受到限制。

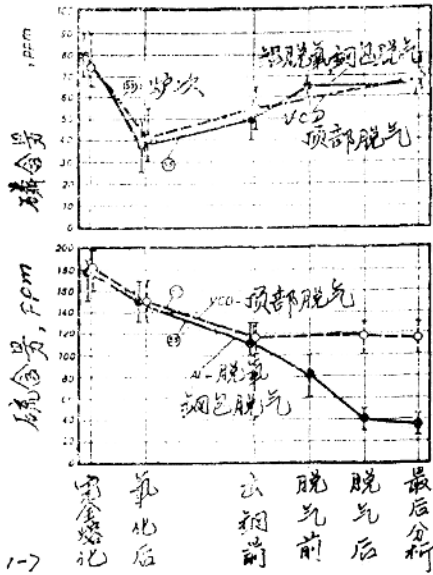


图7 用不同的脱氧方法熔炼透平机转子钢时，磷、硫含量的变化

即在铝镇静钢水中的氩气泡可补偿真空碳脱氧熔炼中的CO—气泡。

氢是在锻造钢锭中不希望有的一种化学元素，而必须用适当的脱气方法将其浓度降低到最低的水平。在早先的一些文献中指出，用真空碳脱氧熔炼法的脱氢能力比用铝和硅熔炼的脱氢更有效(2)。图8给出了采用不同的脱气方法脱气前、后氢含量的结果。从图8可看出，用真空碳脱氧熔炼(顶部脱气)的最终氢含量和用铝脱氧熔炼的(钢包脱气)最终氢含量是一样的。这是由于在钢包脱气期间尽管钢水中的含氧量低，但是，强烈的氩气泡能够提高脱氢的能力。

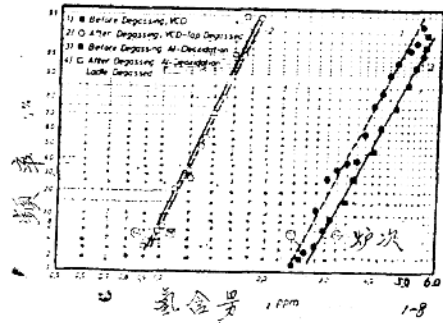


图8 用不同的脱氧方法脱气前后钢中含氢量(对汽轮机转子钢)

图例说明:

- ①脱气前，用VCD法;
- ②○脱气后，用VCD顶部脱气;
- ③■脱气前，AL—脱氧;
- ④□脱气后，AL—脱氧，钢包脱气。

图9给出了用不同的脱氧方法对转子钢韧性的改进。这种改进主要是由于降低了钢中的含硫量，和得到了较好的铝脱氧的氧化物的清洁度。

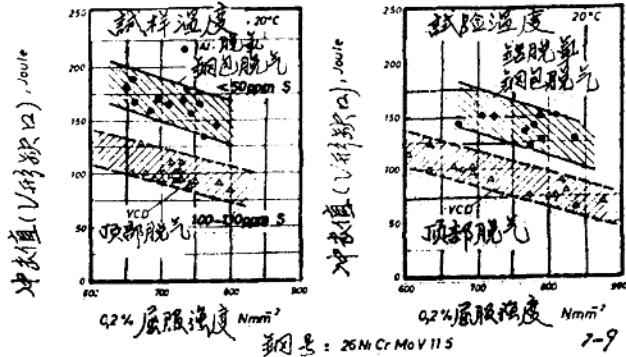


图9 用不同的脱氧法冶炼的透平机转子钢的冲击性能



# 大同特殊钢公司涉川工场改进锻锭的制造技术

森井廉等

## 概 梗

为了满足客户的需求和降低产品成本，涉川工场对锻锭的炼钢技术在多方面进行了改进，今后仍将会不断进行此类改进工作。

本文介绍几种改进的实例，如下：

- (1)、锻锭产品产量：移动热冒口套筒  
钢水分开浇铸
- (2)、优质纯净钢：超低硫钢  
钛钢
- (3)、低氢钢：特殊的石灰（也称热石灰）温度控制  
精炼方式的选择
- (4)、净化铸造：隔离热冒口粉尘  
空气氩密封  
浇口与浇道砖的选择

### 1、绪言

大同特殊钢公司涉川工场（以下简称为该工场）具有如表1所示的多种熔炼、精炼、铸造工艺方法，采用这些工艺方法，能够铸造出从炭素钢至超合金钢多种材质、单重为0.2~30t目形状变化多样的钢锭，从而

生产出各式各样的锻造产品

表1 涉川工场的炼钢设备

	设备	生产能力及设备台数
熔炼	电弧炉	15t×2, 30t×1
	感应炉	2t×1
	酸性感应炉	2t×1
	真空感应炉	2t×1
第二次精炼	氩氧顶吹转炉	20t×1
	真空钢包炉	30t×2
	钢包除气炉	30t×1 (包内真空除气)
重熔	真空电弧重熔炉	(2t, 3t, 10t)×1, 6t×2
	电渣关熔炉	(0.5t, 1t, 2t, 6t)×1
铸锭	铸锭小车	70t×1
CC连铸	连得机	1 (方坯和扁坯)
其它	Sl-H	1

### 结论

为了避免钢锭中的A偏析没有必要采用真空碳脱氧。因为A偏析的形成仅与硅含量有关而与脱氧的形式无关。在出钢期间用铝脱氧曾进行过大量地熔炼试验，试验表明，用铝脱氧时，其最终钢中的氧和硫的含量比用真空碳脱氧低得多。用EMF元件对溶解氧进行正确地控制，那么，钢中最终的含

铝量就调能到100ppm以下，据报导，当钢中的含铝量低于100ppm时，就不会对透平机转子钢的蠕变断裂性能产生有害的影响。由于用铝脱氧的钢，其硫和氧的含量都低，因此用这种钢制造的转子有较好的韧性。

### 参考文献（从略）

王步升译自《第10届国际锻造会议》文集  
1985, 9, 23~25

该工厂生产特性显而易见是根据用户多样化的需求，以少量多品种且附加成本较高的锻件产品为主。而且在生产过程中、需采用相适应的改善技术和操作的方法来适应一系列的生产中的环境变化状况、尤为重要是二次精炼的充分能使高质量钢的大批量生产化方面取得很大的进步。

本文论述了该工场与锻造用钢锭有关的技术改善方面的概要，其中包括了改善技术的原委和经过。

## 2、涉川工场的改革

该工场，在昭和51年至昭和52年间，随着大同、日特和特殊这三家公司的合并，集中安置了30tAF、VLF、VIF以及其它的重熔设备。变成具有特殊钢生产厂特点的工场。

自此之后，于昭和54年设置了AOD炉，于昭和56年设置了废钢预热装置，于昭和57年对VIF炉进行了改造，于昭和60年设置了钢包车和2台VIF设备，并且仍然在不断谋求着设备的扩充。

这期间，技术改善的主要项目是，确立低氢钢和高纯净钢的制造技术，就是到现在工厂也仍在不断地进行着技术改善工作。

## 3、锻件成品率的提高

锻件是按指令制造的，但由于锻件产品众多特异形状的要求等因素的影响，使成品率降低的因素很多。因此必须制定提高成品率的对策，这其中就包括降低从钢材开始的半成品的对策。

### 3.1 灵活铸型

通常锻造用的钢锭，针对产品的不同要求，对钢锭的单重及形状的种类要求不同。对于每一种铸型来说，都有实质性困难，同时也是不经济的。解决困难的方法就是要开发、利用现有方法，即所谓灵活铸型法，使

冒口范围内或铸型内的冒口套筒下降，即通过调整冒口套筒的位置，可以调整钢锭的单重。

### 3.2 钢水分开浇注

近年来，接受订货批量的细分化显著，而且对交货日期增加了严格的要求，这就必然导致了对于逐步增加的尺寸大效率高的小型炉的开发利用。

增设小型炉进行生产，会造成制造费用不适宜的现象。尤其是表现在该工厂的情况是，15t和30t炉相比，单耗、效率的级差就很大。

因此，为了减少制造成本，应偏重于30t炉的生产，对应于小批量生产，应实施将30t炉的钢水分开来浇铸。

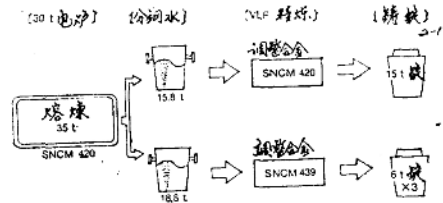


图1 熔炼钢水分到两个地方的典型生产的示例

其方法如图1所示，30t炉熔炼钢时需2台15t钢水包来接受钢水，2台VLF装置进行处理。这一生产方法的特点是为了能够连续出钢，电弧炉的成本费用大致能维持了与30t炉通常的成本相同，且可进行小批量的熔炼生产、现在的生产频率是15次/月。

## 4、高纯净钢的大批量生产化

在关于高纯净钢的论述中包含了多样内容，其中包括有对低硫钢和含Ti钢的VLF的适用效果的论述。

### 4.1 低硫钢

钢中的硫对于耐氢裂性、各向异性以及热加工性的影响很大。图2 示例便是钢中硫对旋转轴改善各向异性的影响情况。

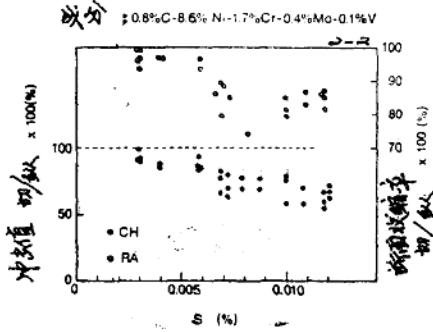


图2 硫对旋转轴各向异性的影响

对于热加工时极易产生裂纹的钢材，要求钢材低硫化，在这种情况下，必须要求极低的硫含量即 $\leq 30 \text{pbm}$ 。对于此类材质，VLF的用处是大的，在可能大量生产化的同时，也可谋求工程生产的稳定化和成品率的上升。

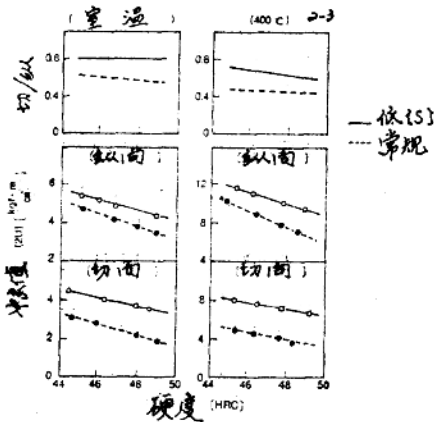
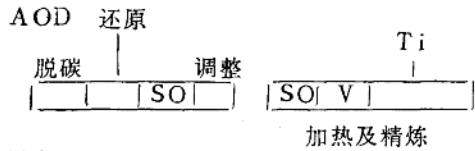


图3 常规模具与低硫模具的韧性的比较情况

再者，对于模铸等热成型用金属模用的

工具钢，需要提高模型的使用寿命，模型的使用寿命由高温强度来决定，为了确保高温强度，提高其韧性是必要的条件，为了改善其韧性，在谋求热处理最佳化的同时，必须实施极低硫化法，其效果十分显著如图3所示，总之可以看出新对策中所使用的材料与以往使用的材料有明显的差别，新材料中尤其是切向上的改善效果较为显著，同时材料的各向异性也得到了改善、并在防止模型产生裂缝方面效果极大。

#### 4.2 含Ti钢



温度	1500	1680	1550	1595	
(%C)	1.75	0.016	0.017	0.018	0.018
(%Cr)	24.52	23.34	24.03	24.78	24.83
(%Ti)					0.68
(%N)	0.04	0.017	0.017	0.012	0.011
(%O)		0.004			0.0022

图4 446Ti钢熔炼的记录

由于LF具有强还原性气氛以及具有高碱性熔渣，故而容易产生低氧化状况，VLF精炼则可得到低氮化状况。另外，由于LF处理减少了温度的影响，因而在浇注时能降低钢包内温度，而且容易长时间保持住浇铸的温度，具有能进行低温精炼等特点，这些特点都是生产洁净钢时的有利之点，特别是对于含Ti钢内杂属的处理对策，主要针对TiN的对策效果极大。图4显示了VLF生产中的情况，事先在低N的情况后，添加Ti，把TiN控制到低水平作为目标。图5显示的是低温精炼生产情况，按照Ti和N的溶解度积，Ti能有助于N的析出，无论哪一种情况都是由于上述VLF的功能进行

作业的实例。

AOD	还原 脱碳	Ti Al	VLF	精炼	Al Ti
		SO	SO	V	H
温度	1500	1720		1600	1530
(%C)	1.5	0.03	0.03	0.03	0.03
(%Ae)			0.20		0.25
(%Ti)			2.2		2.2
(%N)	0.04			0.007	0.005
(%O)			0.0009		0.0006

图5 A286钢的熔炼记录

### 5、低氢钢制造过程的各项改善

在制造锻件时，稳定地熔炼出低氢钢是必须具备的条件，要很好保证所有产品的低氢量，就会引起生产成本的大幅度上升，因此，保证低氢产品生产的经济技术开发已成为多年来急待解决的技术问题，其中在操作方面通过管理的细致化或改善取得的实际成绩如下所述。

#### 5.1 热石灰

我们已经知道，钢水中的氢量受季节因素的影响很大，其中影响之一也是针对生石灰而言的，工厂的夏季属高温时期，这期间生石灰的水分呈上升趋势，不可忽视其对氢量的影响。因此AF及LF中，都使用烧成后 $\geq 300^\circ\text{C}$ 的情况下取出，在铁制容器内封装以防吸湿的石灰的。

#### 5.2 温度管理

如上所述，该工厂的炉容量比较小，因此在真空处理时应以 $3^\circ\sim 7^\circ\text{C}/\text{分}$ 的高速度下降温度，真空处理时间的长短对操作生产影响很大。

一方面如图6所示，很明显钢中的氢量极易受大气温度的影响，顺便再提一句，冬季水蒸汽的分压是 $2\sim 3\text{ mmHg}$ ，而在夏季

则交在 $20\text{ mmHg}$ 这一水准，由此可见含氢量随季节的变动相当大。

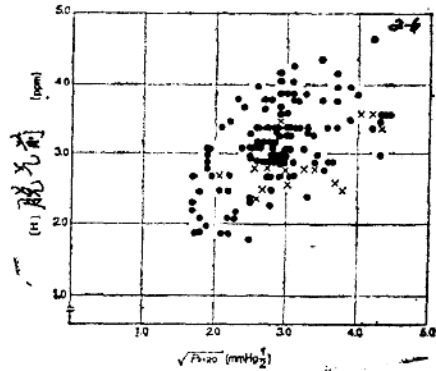


图6 脱气前大气中 $P_{H_2O}$ 和(H)之间的关系

大气温度并不一定只是直接与水起反应时才有影响，生产材料一旦吸收水分也会理所当然地在与钢水的反应中产生相应的影响，因此，如果生产材料的管理具有一定水平，那么大气温度（水蒸汽分压）的管理，就会使钢中的氢值的管理精度上升。

在每次装炉料时测定大气中的水蒸汽分压值，随着分压值变化，真空处理时间的长短也发生变化，为设定这一时间，需考虑材料的材质、用途及以后工序的热处理条件等，在 $10\sim 17$ 分钟的范围进行种种设定，这种设定方法适用于熔炼全部炉料来生产锻件的情况。

#### 5.3 VLF精炼法

VLF精炼，有在处理前半段时间进行真空处理和在后半段时间进行真空处理的两种方法，这两种处理方法都是得失兼有。图7显示的是这两种操作方案及操作内容之间的比较情况。

	方法 I (开始排气)	方法 II (开始加热)																																							
VLF 操作下典型的流程方式	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">助熔剂</td> <td style="text-align: center;">合金</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SO</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">H</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">(15)</td> </tr> <tr> <td>温度</td> <td>1650</td> <td>1550</td> </tr> <tr> <td>[H]</td> <td>3.0</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1.0 ppm</td> </tr> </table>	助熔剂	合金		SO	V	H	(15)			温度	1650	1550	[H]	3.0	0.3			1.0 ppm	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">助熔剂</td> <td style="text-align: center;">合金</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SO</td> <td style="text-align: center;">H</td> <td style="text-align: center;">SO</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">V</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">(15)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1620</td> <td>1680</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3.0</td> <td>3.7</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>0.7 ppm</td> </tr> </table>	助熔剂	合金		SO	H	SO		V		(15)				1620	1680		3.0	3.7			0.7 ppm
助熔剂	合金																																								
SO	V	H																																							
(15)																																									
温度	1650	1550																																							
[H]	3.0	0.3																																							
		1.0 ppm																																							
助熔剂	合金																																								
SO	H	SO																																							
	V																																								
(15)																																									
	1620	1680																																							
	3.0	3.7																																							
		0.7 ppm																																							
脱氢	由于助熔剂湿度不同, 导致脱氢效果明显不同。 脱气后经常吸收氢气	脱气期间由于无渣和没有添加助熔剂脱气效果稳定。另外, 当脱气后未吸收氢时, 在LF生产的最后阶段氢量低于方法I的氢量。																																							
脱氮	与氮情况相类似	如同在加热期进行脱硫和脱氧, 脱氧效率极高。此法含氢量约比另一法低30ppm。																																							
脱硫	脱气期间, 通过强有力的搅拌作用, 脱硫反应迅速完成。	脱硫速度比方法I低得多。																																							
控制化学成份	严格的化学成份控制能很容易达到。	同左边																																							
操作时间	操作生产时间取决于初始温度和洗铸温度, 但时间较短, 在涉川工场大约是45分钟。	操作生产时间是60分钟或更长一些, 这是因为处理温度升高, 因此导致稍微增补热量的损失。																																							
EAF操作	排气后时间必须缩短, 因而应保持EAF出钢温度足够高。	没有必要严格控制EAF出钢温度或化学成份。																																							

图7 LF精炼时两种方法间正比较

加上前面所述内容, 我们便可以一边选择适宜的精炼方法, 一边实施高效的低氢对策。

## 6、非污染制锭法的开发

二次精炼的充分, 可使钢水的纯净度产生飞跃的进步, 与之相适应, 制锭时在防止

污染上取得了进步。

6.1 氧化膜防止剂兼断热式头部保温剂  
头部保温剂过去一般使用发热的保温剂, 而这种发热保温剂在投入使用时能在一定程度上起到补充散去热量的作用。用铝热剂反应激烈地加热钢水还抵不上随之而来的弊病的情况。而且, 在粉末型等场合下, 这种反应存在的变动因素在所谓质量稳定化这点上, 又有若干不稳定因素。

针对以上诸情况所开发的对策是，断热型的保温剂兼用氧化膜防止剂应预先安置在铸锭内。这种保温剂不发热，而且也不存在从铸造末期无过热的钢水散热的弊病。因此，保证钢水恰当的过热度，就能保证钢锭稳定且良好的质量。

该工场，通过从昭和58年开始使用此类保温剂以来，不仅使夹杂物引起的不良情况大幅度下降，而且加上本保温剂具有的卓越保温性，从而减少了缩孔引起的不良情况的效果也得以确认。

### 6.2 空气氩密封

以往，实行使用多孔环的氩密封，在希望密封完善时，需使用空气氩密封。因此便可以密闭注入的钢水，通过测力传感器来监视、控制浇铸流量。本方法，对含活性元素的含AL钢等材质具有特殊的效果。

### 6.3 底盘砖的材质改善

现在，采用完全下注的制锭法，从这点出发，不怎么考虑底盘砖材质对钢锭质量的影响的情况也是存在的。

现在，对于特定的重要产品，在生产中需使用含约90%的高氧化铝的砖，这种砖的耐熔损性极佳。铸造后的状态几乎看不到熔损或变质现象。不过，一般产品生产若使用这种砖则它的单位价格便会升为原来的3倍左右，会带来经济上的困难。因此，研究含氧化铝65%砖的改善。使用这种材质砖时，主要的问题是2~10mm厚度的反应生成物，这暗示着在铸造中会有低熔点物质析出和钢水的侵入。

我们注意到形成低熔点物质的主要原因是熔剂成分物质的存在引起的，所以我们试着在生产中减低熔剂物质的量。为此我们中止使用作为粘结剂一部分的碱性成分。取而代之的是选定低碱的粘土，从而在整体上减少了碱分。因此，从担心砖的烧结变慢这点出发，将烧成温度约提高50℃。

这样制造出的砖，如表2所示，将碱分减半，使会造成压缩强度大幅度上升的情况，结果是，前述的反应层厚度将会减半，而且材质的耐熔损性提高。

表2 改进前后流道砖性能的比较

		改进前	改进后
容积密度		2.3	2.3
外观孔隙率		25.9%	25.0%
压缩强度		330kg/cm <sup>2</sup>	510kg/cm <sup>2</sup>
化学成份	SiO <sub>2</sub>	30.0%	31.5%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	64.3%	64.7%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5%	1.5%
	CaO	0.2%	0.2%
	MgO	0.2%	0.1%
	K <sub>2</sub> O	1.0%	0.4%
	Na <sub>2</sub> O	0.5%	0.1%

## 7、低硅钢的制造

制造钢锭时会不可避免地产生钢锭内的成分偏析现象，这一现象不仅是造成机械性能低下的原因，而且对更高质量要求的产品来讲也是致命的缺陷。防止产生这类偏析的方法是要采用最可靠的重熔法。此外也部分采用单方向凝固和旋转铸造同时并用的方法。大型产品较为廉价的制造方法是所谓低Si化法。可以说，因为低Si化，在固相率相同情况下，导致钢水易动性降低，可抑制偏析现象的产生。

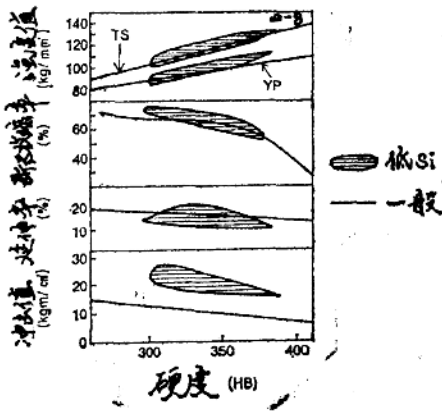


图8 SNCM630 (L方向) 的机械性能

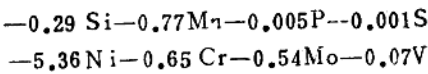
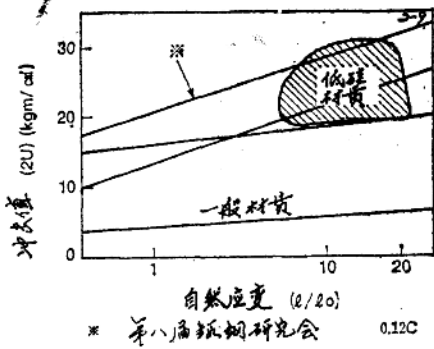


图9 冲击值与锻造比的关系

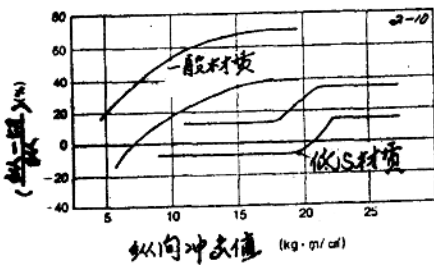


图10 低Si及一般材质间SNCM630的各向同性的比较

图8~10展示了低Si化( $\leq 0.10\%$ )产生的效果即材质的冲击值及各向同性等特性。由于低Si化,二次树枝状晶体间距缩短了,这些由图11可见。这里可考虑为树枝状晶体间距缩短的效果。

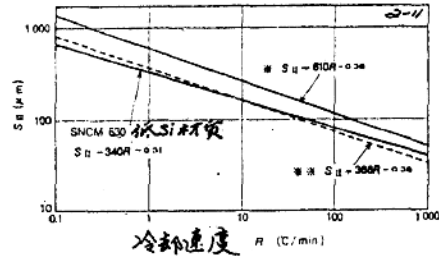


图11 低Si成分的SNCM630的二次树枝状晶体间距的比较

C·Fleming等对残存偏析指数  $\delta_i$  与一次树枝状晶体间的关系作了研究,定义了下面的关系式:

$$\delta_i = (C\theta_M - C\theta_m) / (C^0_M - C^0_m) = F(D_i \cdot \theta / l^2)$$

$C^0_M$ : 树枝晶间的溶质最大浓度 (在 $\theta=0$ 时)

$C^0_m$ : 树枝晶间的溶质最小浓度 (在 $\theta=0$ 时)

$C\theta_M$ :  $\theta$  时间后, 溶质最大浓度

$C\theta_m$ :  $\theta$  时间后, 溶质最小浓度

$D_i$ : 溶质元素  $i$  的扩散系数 ( $\text{cm}^2/\text{h}$ )

$l$ : 晶体间溶质最大浓度与最低浓度间距离

$$(S_{11}/2 : \text{cm})$$

$\theta$ : 热处理时间 (h)

假定以上结果也可以适用于二次树枝状晶体, 试着计算低Si材质及一般材质  $M_n$  的残存偏析系数, 见图12所示。图中明确表示, 随着低Si化, 可缩小二次树枝状晶体的间距, 预计使热处理的效果明显升高。

# 大型锻件空心坯的偏析现象

J. P. Badeau 等

## 内容提要

由空心坯制造空心锻件（如：筒体、外壳、容器等……）比采用传统方法使用一般铸坯具有如下一些优点：

成品锻件的质量改进方面：

- 可避免内孔出现主偏析和局部偏析（A偏析）；

- 能限制主偏析的比例，从而能快速地凝固；

- 能获得较好的各向同性。

降低制造成本和时间方面：

- 简化了锻造操作；

- 降低了铸坯/成品锻件的重量比（即减少了锻件的材料消耗）。

上述的全部优点已被原子能和石化工业方面应用的许多锻件得到了证实。

只要对浇注和锻造技术参数进行完善地控制，即可达到上述的良好效果。

## 序言

由传统的铸坯制造空心锻件通常需要锻造操作者进行很好地控制。即采用这种工艺不可避免地会出现下列问题：

- 需采用较重的大型铸坯。而采用这种凝固率低的大截面铸坯，很容易产生主偏析。

- 在锻造期间需要热穿孔。这种穿孔后的工序是：在芯棒上延伸、扩孔和机加工，可以消除大部份的主偏析。

但是，这些操作能导致A偏析区域向锻造孔的表面扩展。所以，在法国克拉索重型锻造厂(Creusot Heavy Forge FRANC-E)制造的大部份空心锻件（即为原子能和石化工业方面应用的锻件）都在用户进行了

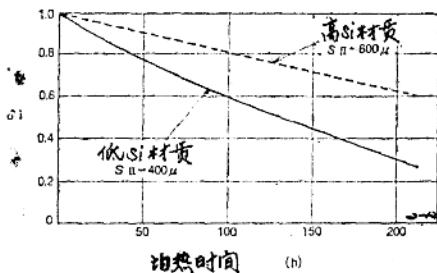


图12 (1200°C) 低Si和一般材质的均热时间与Mn偏析速率间的关系

我们可以依上述方法来熔炼低Si材料，现在LF用高碱性渣精炼时，由于低氧，很容易稳定地生产出高纯净度的材料。因

此，过去限定将低Si材料用于生产回转件等最重要的产品现在开始扩大到用在曲轴上。

## 8、结论

本文就有关该工场锻造制造技术的改善情况作了简要的介绍，对锻件产品来说，不只限于材料的供给，与最终成品有着深深关系的因素还很多。所以必须充分理解掌握好用户的需求。确立这样的观点后，在今后生产高品质产品的同时，应先细细掌握用户需求，努力改善生产技术。

宋新平译自《电气制钢》第58卷第1号（日文）

储元宏校



镀层处理。在这种情况下，由于镀层的表面金相组织不均匀，因此在焊接涂镀期间导致形成了裂纹状缺陷。

迄今，通过对铸坯浇注模型、几何形状、出钢、浇注以及材质纯度等的研究，对传统的铸坯已进行了很大的改进。然而，这些研究表明，还不能完全控制A偏析和宏观偏析的出现。这就是克 拉 索 厂 (Creusot Plant) 与重型锻造厂 (Heavy Forge) 和法国材料研究中心 (Materials Research center FRANCE) 合作研制开发这种浇铸工艺——即空心铸坯的浇铸的一个主要原因。

这种浇铸工艺的概念并不是新的，有许多钢厂已完成了试验，并且也能生产这种型式的铸坯（即空心铸坯）。如英国钢公司早在60年代即用空心铸坯生产优质锻件。克 拉 索 厂 1981年开始研究该项工艺，使该工艺的可靠性有了进一步地提高，并在1982年进行了专利注册（见参考文献4）。

### 在Creusot—Loire Industrie厂空心铸坯的浇注

#### 1、浇注的目的

浇注空心铸坯的主要目的是使所得到的空心锻件，其内孔不允许存在偏析。Creusot—Loire Industrie厂对该工艺的最佳制造工艺参数的研究，就是使空心坯的内外表面的凝固速率保持相近。所以，首要的目标就是尽可能的使所得到铸坯其壁厚保持对称。

由于空心坯的设计在其锻件的顶部存在宏观偏析，在这种情况下，也想力图尽可能地减小这种偏析。第二个研究的目标是，当装配一些不同的锻造壳体时在其锻件的顶部不允许存在焊接的问题（与用传统铸坯生产的锻件相比）。

所确定的其他研究目标是，所得到的这种工艺应能满足如下要求：

- 提高其质量的可靠性；
- 与传统用的铸坯相比不应产生有害的铸造缺陷。

从以上两个目标看，这可以说是对生产空心铸坯的直接要求。另外，考虑到对制造成本和时间的影 响，还应满足以下要求：

- 简化锻造工序；
- 减少材料消耗。

#### 2、初步研究

在开发任何技术之前，都需要进行各种理论性研究。在这个阶段不需要详细地完成全部工作内容，但应完成下列的几项主要工作：

- 通过计算及其内外壳表面冷却的比较进行热交换模拟研究。

较精确地研究中心气流的速度与铸坯规格的关系（见图1）。

- 研究浇注期间钢水的过热。
- 通过液压模型模拟铸坯的底部浇注。

通过上述研究，所开发的浇注工艺，在

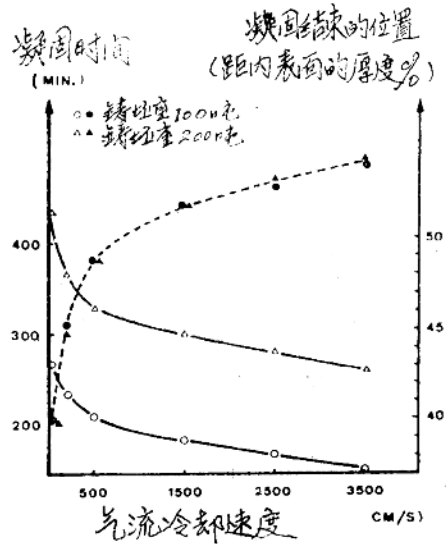


图1 气流冷却速度对凝固位置和凝固时间的影响