

第三节 钢的冶（精）炼、浇注方法和钢锭缺陷（选择）

由生铁炼成钢主要就是降低含碳量并把硅、锰、硫、磷的含量调到适当的范围。工人师傅常把这个过程简单地概括为：降碳、调硅锰、去硫磷。。为什么要除掉硫和磷呢？因为硫和磷是两种有害的杂质元素。硫的存在会使钢产生“热脆性”，即钢在热态加工或使用产生裂纹现象。磷的危害则相反，它使钢产生“冷脆性”。磷的“冷脆性”曾是世界上几起疑案的“主犯”。

1938年3月14日，比利时的哈塞尔特城被包围在寒冷的气氛中，温度低达零下15度。横跨在运河上的阿尔伯钢桥，显得格外雄伟、壮丽，就像是哈塞尔特忠诚的卫士，突然，从桥下传来了惊天动地的金属断裂声，紧接着是桥身剧裂抖动，桥面出现了裂缝。人们惊恐万状，人和车辆争先向桥的两侧奔去……，在不到几分钟的时间内，钢桥折成了几段，坠入河中。

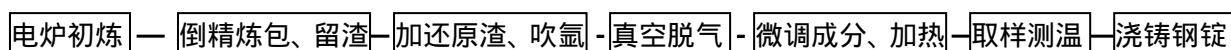
1954年寒冬腊月的一天，爱尔兰海面上寒风凛冽，一艘三万两千吨级的英国油轮——“世界协和号”乘风破浪地航行在广阔的海面上。忽然，有个水手气喘吁吁地向船长报告：“船长先生，快去看吧，油轮的中部出现了裂缝！”话音未落，一阵刺耳的巨响击破长空，油轮顿时一分为二。

谁是这两起重大事故的肇事者呢？科学家经过深入的研究后宣布：罪魁祸首是钢铁中的磷！钢铁中磷的含量如果过大，遇冷就会变脆。因此在炼钢时要加入造渣剂氧化钙，目的是为了除去铁水中所含磷、硫两种元素。

当然，降碳不会是无限制地降，去硫磷也达不到彻底清除的地步。

1. 电炉炼钢

通常的炼钢 - 精炼 - 铸锭工艺路线如下。



电炉炼钢一般采用氧化法，分为三个工步：熔化期、氧化期、还原期。

熔化期：将废钢、生铁等炉料熔化、并在中后期不断补渣料，造碱度1.8~2.0的炉渣并加适量氧化皮或碎矿石，去磷50~70%。随后在熔清前扒去大部分老渣、造新渣进入氧化期。

氧化期：任务是去磷、去气、去夹杂、升温。

还原期：任务是（用铝终脱氧、硅钙合金终脱氧或钛终脱氧来）脱氧、脱硫、控制成分、调整温度。

碱性电炉炼钢 由于采用高温电弧加热，冶炼过程中炉气可以控制。当采用双渣氧化法冶炼时，在熔化期后，有一个加铁矿石使熔池激烈氧化沸腾的氧化期。而采用返回法冶炼时，为防止钢液中的合金元素大量烧损，则没有加矿石的氧化期。熔毕后可直接进入还原期。

碱性电炉冶炼的特点：

（1）还原期可以造白渣或电石渣进行扩散脱氧。不产生残留于钢液中的脱氧产物。从而提高了钢液的纯净度。

（2）在双渣氧化法冶炼过程中，在氧化期可以将钢液中的磷充分除掉。而在还原期，由于炉渣的碱度高，熔池温度高，其脱硫能力则大得多，这样可以做到最大限度的除去硫和磷。其含量降到0.015%以下。由于碱性炉渣的缘故，钢液中的含氢量一般达到5~7ppm（ppm即百万分之一）。

碱性电炉具有极好的重复生产能力，特别是在多炉合浇时，各炉的出钢温度和时间便于调整，显示了它的经济性、灵活性和易于控制的优点，它已成为冶炼工业的宠儿。

真空碳脱氧法（以VCD表示）现今，真空脱氧方法已在国内外普遍采用。这种脱氧方法是用低压来提高钢液中碳的活动性，排除钢中的氧。

钢液中的氧是以 Fe_xO 的形式存在。如果钢液上部一氧化碳的分压 P_{CO} 减小，则钢液中氧和碳的浓度 $[\text{C}]$ 、 $[\text{O}]$ 也将随之降低，即钢液中的碳可以使 Fe_xO 还原，从而使钢液脱氧。这说明碳的脱氧能力随

着真空度的提高，即一氧化碳分压的降低而增大。一氧化碳的分压降到约 1.013kPa(千帕)(7.6Torr 毛) 时，碳的脱氧能力比铝和硅还要高。这就是钢液进行真空脱氧的物理基础。

炼钢操作中，钢液在沸腾状态出钢，出钢温度比一般镇静钢高 20 ~ 30 。出钢后不用硅铝进行终脱氧，在真空条件下利用钢液中的碳同氧形成一氧化碳被除掉。钢液碳含量大约降低 0.05%。

可采用各种钢液除气的方法进行真空碳脱氧。如出钢除气、倒包除气、提升除气 (DH 法) 、循环除气 (RH 法) 。但是，常见的则是和滴流除气法相结合进行真空浇铸钢锭。

滴流除气进行真空碳脱氧，由于反应激烈，使滴流不断爆裂、细散，从而获得了高的去氢率、脱氧率和良好的分离、排除夹杂物的效果。提高了钢液的纯净度。

(1) 真空碳脱氧的脱气结果 根据试验比较，真空碳脱氧可以将未镇静钢液中氧含量降低到 0.0020%。而半镇静钢液和镇静钢液经真空处理后，氧含量分别为 0.0032% 和 0.0040%。和普通真空除气比较，真空碳脱氧的脱氧效率要高得多。在 RH-VCD 处理前后不同钢种中的氢含量的变化，钢包-真空滴流铸锭的真空碳脱氧对除氢的有利作用，见图 2 - 31。

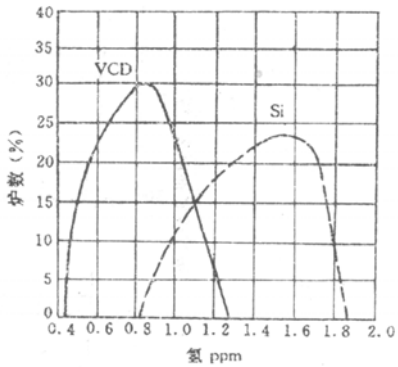


图 2 - 31 真空碳脱氧有效去氢作用

由图可知，由于真空碳脱氧的反应极为迅速，使钢液分解为细液滴，因为氢通过液滴表面易于排出，比用硅或铝脱氧更为有效。真空碳脱氧的除氮结果也比较好。真空碳脱氧的氮含量一般处于 40 ~ 70ppm 之间。

(2) 真空碳脱氧的纯净度 由于真空碳脱氧法利用钢液中的碳和氧之间的反应的脱氧，因此氧化物夹杂比用硅或铝脱氧然后进行真空铸锭的钢中更加少得多。也可以从横断面的硫印和热酸浸试片上看出，前者细小的非金属夹杂物更为均匀。由图 2 - 32 看出，真空碳脱氧钢的夹杂物数量和真空除气者相比显著降低。

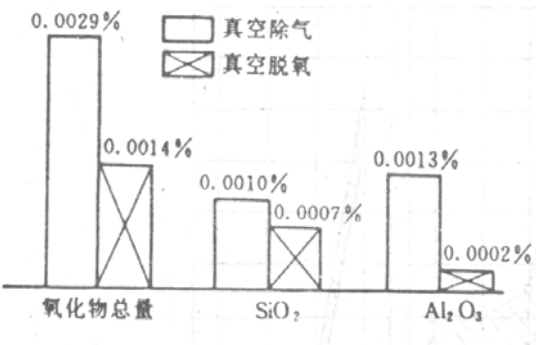


图 2 - 32 真空碳脱氧和真空除气钢中氧

(3) 真空碳脱氧对钢锭偏析的改善 对循环除气真空碳脱氧处理和没有经过真空碳脱氧处理的 150t 相同尺寸的碳钢锭进行了比较。它们是用在钢锭冒口端横截面的硫印上，计算 A 偏析散射点数量和面积的方法测得的。由图 2 - 34 可知，钢液真空碳脱氧处理，可显著减轻钢锭 A 偏析 (注：化学成分和组织的不均匀性称为偏析，A 偏析具体概念见后面的钢锭解剖组织介绍)。

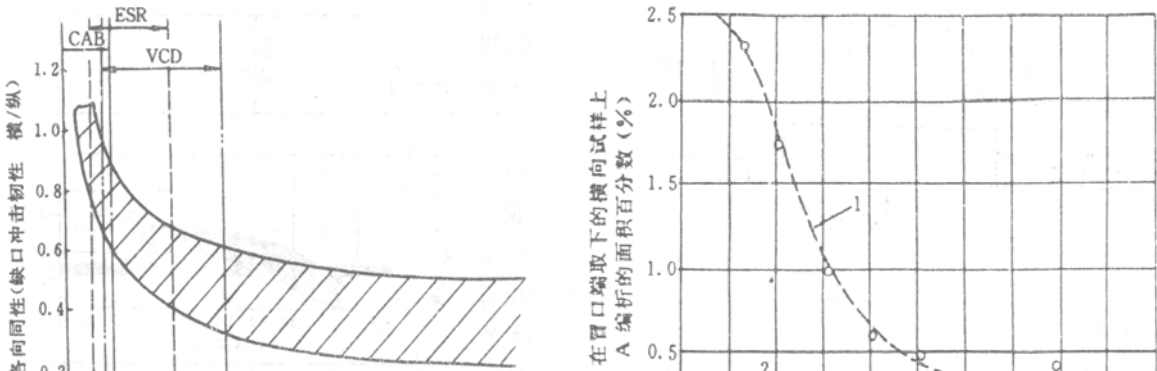


图 2 - 34 中：

- 1——未经真空碳脱氧处理 (C 0.32%, Si 0.12% Mn 0.79%, P 0.011%, S 0.009%, Al 0.011%, V 0.07%)
2——经真空碳脱氧处理 (C 0.45%, Si 0.12% Mn 0.88%, P 0.007%, S 0.010%, Al 0.003%, V 0.05%)

经过真空碳脱氧工艺处理的钢锭的宏观偏析程度显著降低。部分原因是由于真空碳脱氧的钢锭中 Si 含量的明显减少，从而缩小了凝固范围。

钢液的真空碳脱氧处理，对微观均匀化相当有利，如同宏观均匀化一样。与用 Si-Al (硅 - 铝) 脱氧的钢比较，真空碳脱氧处理的钢锭的枝晶结构细得多。真空碳脱氧处理的钢的枝晶比用 Si-Al 脱氧钢的枝晶尖得多；真空碳脱氧钢枝晶结构其截面的任何部位均密实；枝晶体的二次枝晶增加得适当，形成有序的结构。相反，Si-Al 脱氧钢却形成“疏松”的枝晶结构。这种结构的二次枝晶的增长不如真空碳脱氧钢迅速，且较小较粗。

(4) 真空碳脱氧钢对力学性能的影响 由于真空碳脱氧减少了非金属夹杂物的数量，提高了钢的纯净度，减缓了钢的宏观与微观的偏析，直接促进了机械各向同性和冶金均质性的改善。

真空碳脱氧提供了良好的均质性。而用 Si 脱氧的锻件，由于 A 偏析影响，切向塑性降低较大。

真空碳脱氧的钢能够显著减低脆性转变温度。因此，凡是要求脆性转变温度的大型锻件，几乎都采用真空碳脱氧技术进行钢的二次精炼。

除了 NiCrMoV 钢之外，其他合金钢如 CrMoV、2.25Cr1Mo (即 $12Cr_2Mo_1$)、1.25Cr0.5Mo(Si)(即 $14Cr_1Mo$) 和 20MnMoNi55 钢，降低钢中的 Si 含量，对改善其回火脆性敏感性同样有效。而真空碳脱氧工艺的优点是降低了钢中的 Si 含量，从而减轻了钢的回火脆性。

2. 精炼

钢包精炼法 钢包精炼，由于设备先进而显示出它的独特优点：容易控制钢液温度；严格控制钢的化学成分；精确控制钢液的脱氧、脱硫，控制硫含量低于 0.005%；由于工艺灵活性大，适应性强，炼出的高质量的钢种覆盖面大；同时以减少炼钢炉的时间来提高生产率；并可在炼钢与浇铸之间，提供一定的缓冲作用。从而获得了很好的经济、产量和质量效益。因之，近 20 年来，钢包精炼法在国内外已广泛采用。

普通的电弧炉、碱性平炉主要用于熔化钢液，并把钢液加热到出钢温度，钢液在炼钢炉仅仅只进行一部分操作，主要是脱碳和脱磷。待精炼的粗钢液注入到钢包炉中，然后用一种或几种钢包精炼工艺对其精炼。可以采用的钢包精炼工艺方法有：氩气搅拌、感应搅拌、喷枪喷射、加线料、加合金元素、合成渣精炼、钢包电弧加热、钢包化学再加热、真空除气、真空碳脱氧和真空浇铸等。

钢包精炼的目的是使钢的质量满足下列要求：宏观浸蚀和超声波的内部质量检测；显微纯净度包括夹杂物形态、大小和数量的质量检测；气体含量的控制 (氢、氧和氮的含量)；低硫含量的控制；力学性能如夏氏 V 形缺口韧性、横向特性和塑性的质量检测结果等。

用电弧加热钢包真空精炼的设备主要有瑞典 65 年开发的电磁搅拌 ASEA-SKF 钢包炉、美国 62 年开发的真空电弧加热精炼 Finkl-Mohr 钢包炉和用氩气搅拌的 LF 钢包炉——它是 ASEA-SKF 钢包炉的变形产品（见图 2 - 35）。其结构大体是相同的，一般具有加热、真空处理、倒渣工位，轨式连接，均可包下吹氩。它的技术特点可以概括为：还原气氛下的埋弧加热；透气砖吹氩搅拌；真空脱气及高碱度渣精炼。

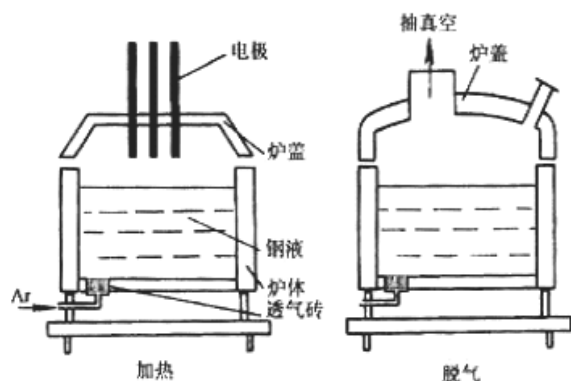


图 2 - 35 LF (V) 炉示意图

钢包精炼本身具有良好的热力学及动力学条件，因此能够很准确地控制钢液化学成分，有利于最大限度地满足锻件工艺要求的极窄的化学成分范围，而且有很高的再现性和冶金质量的稳定性。其主要功能是：

加热。用最低有用功率保证钢包中的钢水温度稳定（可在真空脱气后开到加热工位加温）。由于 LF 炉的升温功能，它能更准确地调整和控制钢水温度，扩大钢包冶金功能。

搅拌和渣精炼。可以均匀温度和成分，促使夹杂物上浮排除。LF 炉已成为电炉与浇铸之间的一个重要设备。

精炼功能：通过形成碱性渣，进行钢液的还原精炼。（在日本，电炉粗炼的还原期都放在精炼包做，这样可加快效率、节约能源）

气氛控制功能：采用气密封结构和炉内惰性气体保持还原气氛。

脱气功能：通过蒸汽泡的上浮逸出，使钢液在真空下保持翻腾、交换液渣面，达到脱气效果。

用钢包炉冶炼低合金和高合金钢的一般操作，通常是在电炉的熔氧化期，用双渣法脱磷，然后倒包去渣。把电炉钢液倒入钢包炉，进行吹氩、预热和成分的预调正，并造还原渣。钢液在高真空下 133.3pa (<1torr 毛)，用氩气进行强力搅拌去氢、去气。然后进行强还原精炼，进行大量的脱氧和脱硫，并调整钢液的化学成分和温度。最后，用真空滴流除气铸锭或氩保护下注法浇成钢锭。其质量效果：氧<20ppm、氢<1ppm、硫<10ppm、磷<30ppm。

电渣重溶 电渣重熔炼钢技术（ESR）是在水冷结晶器中，借助于熔融炉渣的电阻热，使电极熔化制造钢锭的方法。

电渣重熔精炼方法，它利用熔融炉渣防止大气氧化钢液，同时炉口有热风屏蔽。由于使用低铝（<0.01%）控制技术，在获得低铝的同时，又有低氧和低硫的特点。使铝含量控制在 0.006%~0.008%范围内、氧含量 O_2 <30ppm、硫含量S<20ppm。由于低氢控制技术的开发，可以使钢液中的氢含量 2ppm，锻件中的氢含量 1ppm。从而提高了钢的纯净度。通过冶金控制和凝固控制，成分均匀性达到：碳偏差 $C \pm 0.01\%$ ，硅偏差 Si、锰偏差 $Mn \pm 0.015\%$ 、铬偏差 Cr、钼偏差 $Mo \pm 0.02\%$ ，硫偏差 S、磷偏差 $P \pm 0.001\%$ 等，因此，电渣锭的成分均匀性很高。电渣重熔炼钢见图 2 - 36。

1971 年日本特殊钢（现大同特殊钢）公司开发并实际应用 LF 炉外精炼法，其后在世界上许多国家和地区的公司得到应用。LF 精炼法在钢液温度严密调整和工序时间管理方面能发挥最大的效果。另外，LF 精炼在钢包内保持非氧化性气氛，从钢包底部进行吹氩搅拌，使钢液连续循环流动，钢包内钢液成分偏差极小，可达到精确控制成分的目的。有的 LF 炉具有抽气设备，可在真空下精炼。为区别，人们把有真空设备的 LF 炉称为 LFV 或 LRF(V)炉。

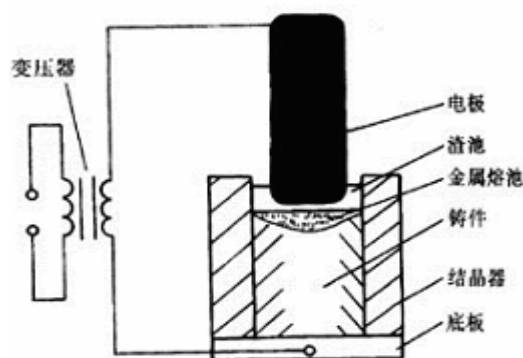


图 2 - 36 电渣重熔精炼

(Δ ：念作“台尔它”，元素的最大值减去最小值的偏差范围)

电渣重熔精炼的优点：在任何时间只有一部分钢呈液态，这样就使近单向凝固面得到保持，并达到了控制凝固的目的。由于强制冷却快速凝固，使电渣锭的二次枝晶间距，远比普通锭小。直径 1856mm 的普通锭心的二次枝晶间距为 6 ~ 8mm。而直径 2300mm 的电渣锭顶部中心的二次枝晶间距仅为 2mm，与普通锭柱状晶区距锭表面 28mm 处的二次枝晶间距相当。这样，钢锭形成 A 偏析的条件已不存在。实际电渣锭的低倍检验，不仅没有宏观偏析，显微偏析也得以改善。由于其化学成分和力学性能比常规法锻件更为均匀，故各向异性小，冲击功大大提高，韧性得到提高。

电渣重熔锭的偏析程度显著降低，最大碳偏差 0.03%，且冒口的正偏析与水口的负偏析都不明显。低硫钢锭和真空碳脱氧钢锭在底部显示碳的典型负偏析，冒口端有正偏析。该偏析差在整个锭身部分最大约为 0.12%，且在冒口部分迅速增大。在这些锻件上，从冒口和水口端的纵向、横向和中心套料棒上进行硫印检查，在低硫和进行真空碳脱氧 VCD 处理的锻件上，都显示出冒口部分形成的典型的 A 偏析。而电渣重熔锻件未见宏观偏析。

电渣锭不但非金属夹杂物的数量少，且细小、弥散。由于优良的结晶条件，从根本上改善了非金属夹杂物从钢液中析出以及沿晶界分布的特点。残余的夹杂物不易凝聚，在凝固过程中进一步细化且弥散度大。夹杂物的评级大多不超一级。大截面转子超声波探伤 26Cr₂Ni₄MoV 钢起始灵敏度 \leq 1.1mm 也能通过。

电渣锭的致密度高，钢锭利用率达到 80% 以上。

真空氧气脱碳 (VOD) 法 由西德莎尔等钢厂在 1965 年开发，VOD 法是在真空减压条件下

顶吹氧气脱碳，并通过包底吹氩促进钢液循环，在冶炼不锈钢时能容易地把钢中碳降到 0.02% ~

0.08% 范围内而几乎不氧化铬。并对钢液进行真空处理，加上氩气的搅拌作用，反应的动力学条件

很有利，能获得良好的去气、去夹杂物的效果。见图 2 - 37。

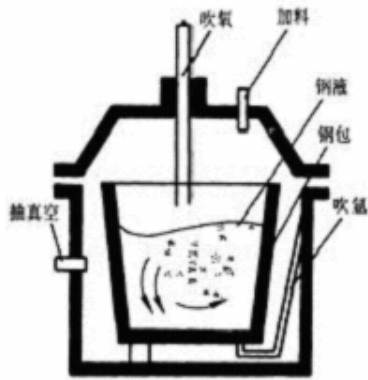


图 2 - 37 VOD 炉

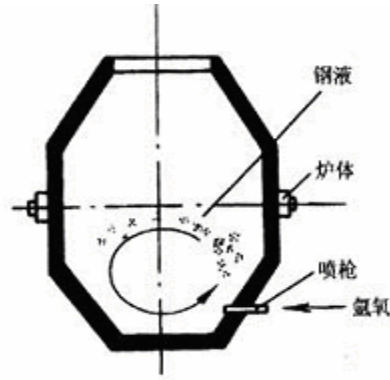


图 2 - 38 AOD 炉

氩氧混合脱碳 (AOD) 法 基本功能是： 去碳保铬。 脱硫。美国 1968 年开发。AOD 法的含义是用氩、氧混合气体脱除钢中的碳、气体及夹杂物，可以用廉价的高碳铬铁炼出优质的低碳不锈钢。这是一种在非真空下精炼含铬不锈钢的工艺（见图 2 - 38）。它是将氩氧混合气体用消耗式喷枪吹入钢液中，氧首先与钢中碳起反应生成一氧化碳 CO，降低钢中的碳含量。此时生成的 CO 分压较高，由于存在氩气泡，分压较高的 CO 即扩散到氩气泡中，降低了碳氧反应所生成的 CO 分压，促进了碳氧反应的继续进行。如果氩气充分而且分布良好，只要熔池中有足够的氧，脱碳反应就不会停止，因而可获得超低碳的钢（脱碳量为 0.7 ~ 1.6%）。

目前广泛采用的其它炉外精炼有以下几种：

（1）**VD 法** VD 炉没有热源，一般不用造渣精炼，常规做法是将精炼包吊入真空坑抽真空十几分钟后即吊出注锭，一般无底吹氩，液渣面交换差（渣面下 ~ 300mm 钢液的脱气效果好，深部脱气差），注温比 LF 低。VD 法的基本功能是： 脱气和真空碳脱氧。 脱硫。

（2）**RH 法** 是利用抽吸管提升钢液进真空腔而使钢液脱气，其基本功能是脱碳和脱氧。扩展功能可以使钢水深脱碳，强化脱硫处理。

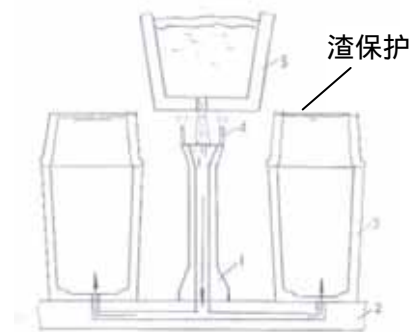
（3）真空下利用**喷枪**来喷粉处理，喂线（FW），钙处理，脱硫效果很好。

3. 钢锭浇注

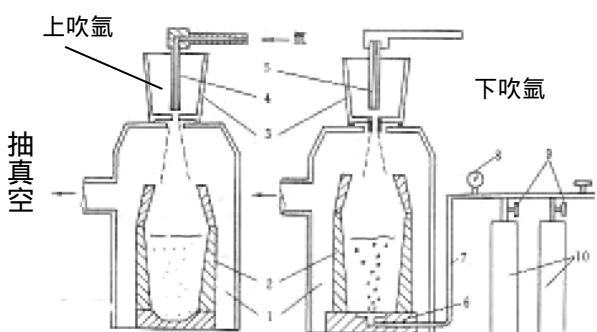
最常用的钢锭浇注如图 2 - 39 和图 2 - 40。氩气注口保护底部下注法通常用于浇注中小型钢锭，不过欧洲的一些企业比较倾向于用这种方法浇注大的钢锭，如意大利的 TSF 底注 90t 锭，德国的萨尔钢厂甚至用底注法浇出 245t、用于锻造转子的优质锭。目前常用的真空上注法多用于浇注要求高的优质大钢锭，如图 2 - 20 所示，其中上吹氩用得最多（如用于要求很高的 30Cr1Mo1V 汽轮机转子钢锭），工艺上常用“MSD (Ar)”来表示。不加 Ar 的“MSD”就表示采用的是不用吹氩的真空上注工艺（常用于一般要求的工程配件）。空心塞杆吹氩时可以打散钢液流股，使液滴散落途中在 0.5 兆的真空下更充分地脱气，同时大大有利于夹杂物上浮，并减少偏析，提高纯净度和均匀度。150t 以上的大锭都用多个

钢包及精炼包组合浇注（即俗称的“拼浇”，日本称其为“MP”法）时，按次序调整好各包钢水成分（尤其是碳份）、温度，逐一把钢水注入中间包，并控制中间包液面，同步稳定浇注。

绝大多数钢锭的浇注温度为 1580 。真空度为 67Pa（即 0.5 托）。



1 - 中注管 2 - 底板 3 - 锭模 4 - 氩保护器 5 - 浇包



1 - 真空室 2 - 锭模 3 - 中间包或钢包 4 - 空心塞杆 5 - 实心塞杆
6 - 吹氩底板 7 - 管道 8 - 压力表 9 - 阀 10 - 氩气瓶

图 2 - 39 氩保护底注示意图

图 2 - 40 真空上注示意图

4，钢锭缺陷剖析

水压机用锻造锭大多是多角形的，而 30t 以上的合金结构钢钢锭大多是电炉冶炼的。对自由锻液压机来讲，3000t 以下的压机最大可锻至 40t 锭。我国诸多大型重机厂都已装备真空精炼、真空浇注的双真空锭制造设备，一般对 30t 的钢锭施行真空上注工艺并热送锻造车间，而小一些的则实施氩保护下注或大气浇注工艺。真空浇注的脱气率约 55%，纯净度也高，质量比后者好得多。

目前流行利于夹杂物上浮、高径比 1.4 的矮胖锭型。图 2 - 41 为短冒口电炉锭的内部结构图。

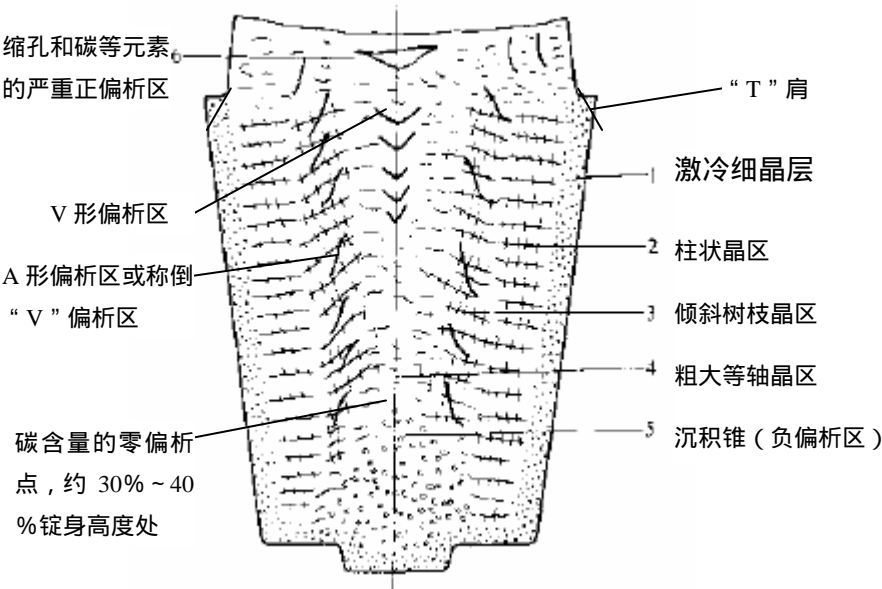


图 2 - 41 钢锭内部宏观组织示意图

图解如下。

1, 激冷层 由钢锭表面细小等轴晶组成, 厚约 6~8mm。若钢水脱气不完善, 有可能会出现皮下气孔等小缺陷。

2, 柱状晶区 钢水结晶时, 其生长方向和温度梯度最大的方向(同散热的方向)大致一致的树枝晶。其厚度一般为 50~200mm。这个区域的质量较好, 轴类锻件成形后大概在 $2R/3$ (即表层往里约三分之一半径)。经过墩粗和大压缩量拔长, 柱状晶都能得到打碎, 从而细化组织, 使材料各向同性。

3, 倾斜树枝晶区 钢水凝固时此区的温差较小, 固液共相范围大, 随着结晶的成长和合金元素、杂质元素的浓缩, 树枝状晶间的残液由于比钢锭中心区未凝固的钢液的密度小(较轻些)而向上流动而形成倾斜, 同时也在该区域内形成了 A 偏析。A 偏析在纵剖面上呈带状, 在横剖面上呈点状。它一般是正偏析。在钢锭上部的 A 偏析出现在 $R/2$ 附近, 下部为 $R/3$ 附近, 由于偏析区里存在大量硫化物, 易产生偏析裂纹, 也会大大降低热处理效果, 同时使力学性能变得极不均匀, 冲击试样缺口若取在偏析部位的话将直接造成 Akv 值降低到 10J 以下, 最不好的是对筒体等空心件, 冲孔扩孔后这些偏析区可能会“露头”, 将大大降低材料的各种性能尤其是抗腐蚀性能。

Si 含量高的易产生 A 偏析, 而加 Mo 达到 0.25% 以上的几乎没有 A 偏析。

4, 粗大等轴晶区 由于外层结晶、热阻增大、传热下降, 这一区域以差不多一致的结晶速度形成粗大而近似球状的结晶。在钢锭上半部, 由于钢液较稠、流动不畅, 先凝固的部分形成搭桥, 而其中未及凝固的残液被下部凝固而收缩的部分“吸引”、下垂, 形成 V 形偏析区。这部分的疏松、残余缩孔很严重, 主要靠锻压来压实心部组织。

5, 沉积锥 呈锥形分布的粗大等轴晶区, 该区是由钢水顶的结晶“雨”以及从侧壁生长的树枝晶枝臂的熔断后形成。由于夹杂物附着在沉积锥的等轴晶中, 这部分组织是不纯净的, 应在锻造时予以切除, 从某厂现行冶金水平、双真空转子钢的锭尾解剖的质量统计看, 对超声波探伤 $\zeta 2$ 当量标准的锻件起码应有 4% 的彻底率。

6, 碳偏析 在钢锭的凝固过程中会发生选份结晶, 钢锭的上下左右的许多化学成分是不一样的。尤其是碳——钢锭的下部含碳量比牌号标称的名义含碳量低, 例如 45 钢的底部含碳量只有 0.43%, 上部则高得多, 冒口端有可能达到 0.48% 或更高, 了解这些对制造工艺的编制、执行有重要意义, 例如轴类件井式炉做最终热处理时常会选择出炉后底部端先入水淬火, 这可利用入水口的温度差平衡整体性能。(可参考铁碳平衡图的 A3 线随碳量变化而变化的情况说明)

7, “T”肩 “T”即 Top, 锭身顶上部分, “T”肩即靠冒口的锭身肩部(见图所示)。凝固过程中夹杂物会随着结晶前沿的推移而向中心聚集, 所以一般冒口顶部加保温、发热剂、在模内正常冷却、凝固的钢锭的心部材料比外面的差, 但是“T”肩部分由于冷得快, 一些浇注后即时上浮的夹杂物就会在这个“死角”先凝固, 当这部分材料最后锻成轴类件时, 会在端头近外径部份形成薄层夹杂区, 如果加工不去, 可能会造成不良影响, 所以对锭身肩胛凸缘明显的部分(包括棱角、锭身内弧角, 约长 200~330mm)要预先烧剥去处。

8, 冒口 一般占 20% 左右。冒口部分聚集着大量夹杂物和低熔点物质, 碳的正偏析极其严重(例如含碳量要求 0.33% 的真空浇注 75t 锭的冒口中心轴、接近锭身处的碳量即达到 0.39%, 冒口顶则达到 0.52%, 同类大气浇注锭则分别为 0.51%、0.80%), 这说明, 即使是双真空锭的冒口材料原则上也不能用于锻件本体, 应切去。如果强行使用冒口料的话, 除了成分超标外, 还会使探伤超标、性能超标, 并有可能在调质时淬裂或回火时开裂。