

合金的熔煉和鑄造

第一章 铝合金的熔炼

§1 熔炼的目的

1-1. 为精炼金电解槽中产出之铝——自电解槽中所产出之铝锭往往含有较多之氧化物、炭质、气体及电解质之夹杂物，此乃由于在电解及浇铸铝锭时，一切条件都难于控制，因此必需借熔炼过程，在比较严密的条件下，借助物理性的精炼作用，以除去铝锭内所掺杂之氧化物、气体及其他夹杂物等等，使其质量提高，铝锭经一次熔炼后可称为“铝块”，铝块的质量比电解槽直接出来的铝锭要好，但价值要高，不过用铝块入炉在质量上比较好，但在一般工厂宁愿用铝锭以求降低成本，实际上近来电解槽之生产技术日见进步，电解槽中所得之铝锭已堪与铝块相比拟因此电解工厂中这一道工序就可节约。

1-2. 为获得成份均匀的金属——由于电解槽较小，一次出铝不过几百公斤因此在一个电解车间就有很多的电解槽，而每个电解槽的操作情况不可能完全相同，因而每个槽电解出来之铝的质量也就不可能完全一样，因此为了得到均匀成份的金属就要经过熔炼。

1-3. 为了配制中间合金——中间合金是为了配制工作合金作准备的，因内有一大部分合金元素不能直接以纯金属的形式加入工作合金中而应先作成二元或三元中间合金，然后再加入，例如

Al-Cu, Al-Mn, Al-Mg-Br 等等。

1-4. 配制工作合金——为了得到一定牌号合金的铸锭成形铸件，则先要借熔炼配制工作合金，然后再铸锭或铸铸件。

1-5. 废料重熔——在生产过程中，会出现很多的切屑，铝屑，铸锭切边，浇冒口等等废料，由于有色金属都比较贵所以要进行回收，以便利用它们作为炉料，因此就要将它们进行重熔，以便使它们具有较高的纯度和一定的化学成份，重熔有的在铸造厂的熔炼工段内进行有的则在专门的废料回收工厂中进行。

§2 熔炼铝合金的一般过程

由于铝合金有铸造的铝合金和变形的铝合金两大类，铸造的铝合金熔炼后就铸造成形铸件而变形的铝合金则熔炼后就铸成铸锭，即为压力加工准备坯坯。

因此由于情况不同在熔炼时所用的设备及工艺对二者来说也就不同，变形合金主要在反射炉内熔炼，因为产量比较大，而铸造铝合金大多在坩埚炉内熔炼，由于产量不大，由于使用的设备不同因此二者的熔炼工艺也就不同，但是就一些基本的原理还是有其共同之点，现就变形铝合金来说其熔炼的一般过程是这样的：

- (1) 仔细清除熔炉内的残渣；
- (2) 进行装料；
- (3) 在适当的温度将中间合金与纯金属加入；
- (4) 搅拌；
- (5) 转炉，精炼及静置；
- (6) 浇铸。

§3 熔炼铝合金的设备

3-1 铝及铝合金熔炼炉之一般选择

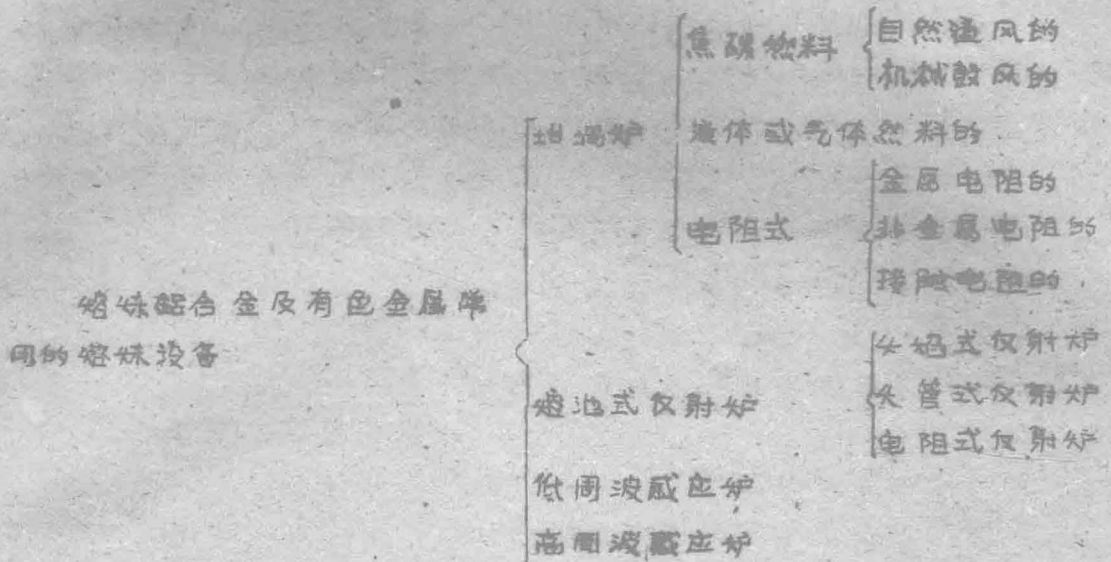
虽然所供应之原料质量良好，但如所用熔炼之设备的选择或设计不合适，则所得之结果仍然恶劣，因为大部分的金屬熔铸皆需熔炼过程中加以控制，铝虽然属于低熔点之金属，所需温度不高，筑炉材料甚属简单，但因铝在热熔状态时有种种特性，

例如：

- (1) 极易吸收气体，而使成品产生气泡。
- (2) 由于其氧化性强而比重小，因而不易将铝与氧化物分离。
- (3) 在合金溶化状态时又易于发生偏析倾向，而易使成品之化学成分不均匀，等等，倘若所使用之熔炉的设计构造合理，则上述困难均可减轻或基本克服。

过去，用于熔炼铝及铝合金的炉子种类很多，几乎所有的炉子都曾被用于熔铝，例如：坩埚式，鱼锅式，火焰反射式，电阻热反射式，及感应电热式等。

现将多种炉子分类排列于后



坩埚式及钵埚式均为坩埚式，设备简单而价廉但坩埚导热效率低，而容量小，石墨坩埚容易逐渐氧化，消耗率甚大，铁质易有铁质渗入金属内，影响质量。实际上无论是坩埚，钵埚等设备在近代化铝加工工厂中都已经不大采用，仅钵埚尚见于一般小规模之翻砂工厂，铸重压力加工用之铸锭之熔炉，大都已采用反射式炉，因为坩埚，钵埚之容量均小，不适于浇铸大型铸锭。

近代一般熔铝工厂，多倾向于使用反射炉，反射炉又分为火嘴反射炉和电反射炉等。

下面我们来分别看一看各种炉子的情况。

3-2 坩埚炉

坩埚炉由于构造简单，灵活性大，投资少，操作也不复杂等等优点，所以直到现在为止在小型有色熔铸车间仍是一种广泛使用的熔炼设备，可以浇铸小型铸锭和成型铸件，在大号生产有色金属和合金的铸锭时，坩埚炉已经没有被采用了，坩埚炉可以使用焦炭、煤、液体燃料及电热等等。

电阻式坩埚炉在航空工厂得到了广泛的使用。

小焦炭坩埚炉

它是一个自然通风的焦炭坩埚炉，这种炉子使用不多，它是利用烟囱的抽风作用而使空气自然流动。

它为机械鼓风焦炭坩埚炉，较常用，因效率比较高。

焦碳堆埚炉的气氛亦是还原性的，因为空气通过了很厚的焦碳层，所以在埚埚面之CO较多而还原性气氛对铝合金来说是利好的。

此炉身适用于有色合金的熔炼中。

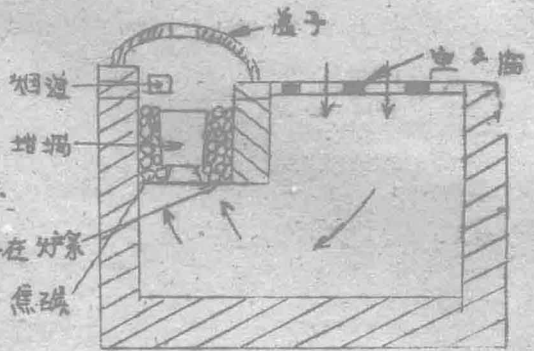
为了避免炉内燃料由于死角之存在对炉而不充足为燃烧，因此一般地炉之形焦碳状应与埚埚之形状互相配合如左所示。

2. 最好，

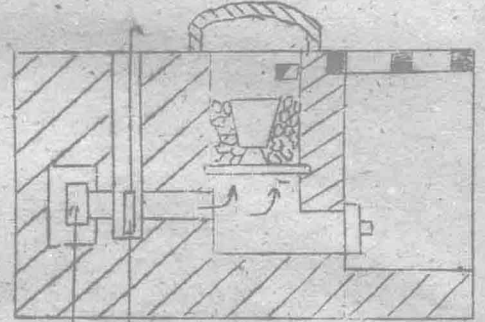
(2) 液体燃料埚埚炉

对埚埚炉来说有条件使用液体燃料时则最好使用液体燃料，因为控制比较容易。液体燃料以重油为主，如有煤气，天然气，高炉炉气等未混当然也可利用。

如炉内使用喷嘴，则喷嘴与埚埚之间的相互位置十分重要，主要应则是应当保证燃烧的焦炭位置适当，以及废气之充分利用，为此宜使喷嘴之喷射方向应当为埚埚之切线方向，如喷嘴直接喷射到埚埚上，则易引起局部过热，并且使埚埚烧坏。



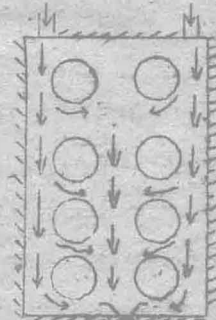
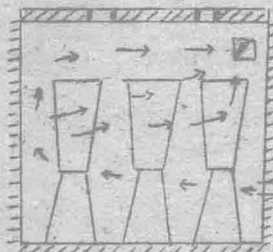
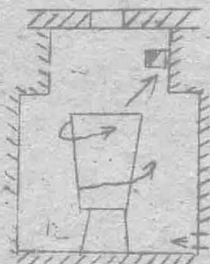
自然通风的焦碳埚埚炉



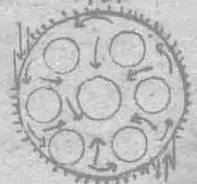
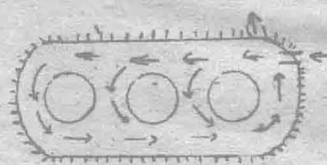
注风管 调节挡板
机械送风的焦碳炉



燃烧不完全之区域



埚埚炉示气多
使用液体燃料之

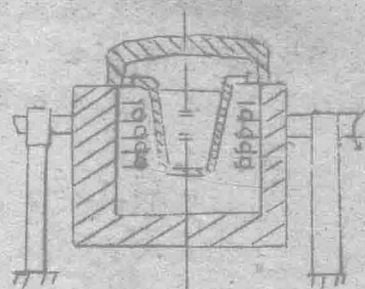


坩埚之数目愈多，各坩埚之温度愈不均匀，有时可能超过 $40-50^{\circ}\text{C}$ 者，甚至 $100-150^{\circ}\text{C}$ 者，因此坩埚愈多时，有时使用两个以上的油咀，较小而多的油咀要比用大而少的油咀所得的温度要均匀得多。

(3) 电阻式坩埚炉

电阻热式坩埚炉用于实验室及小量生产之用其优点是温度容易控制，受热均匀，气氛正常，电阻材料置于坩埚四周之炉壁上，一般用两种电阻发热材料，即：丝状及带状。

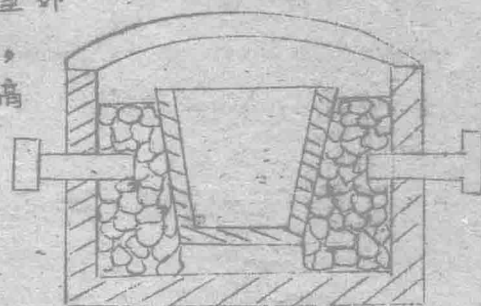
电阻热式坩埚炉既然在坩埚外加热，因之效率比其他电热方式要低，只能适用于小型坩埚炉。



电阻式坩埚炉示意图

(4) 非金属电阻发热之坩埚炉

非金属电阻发热材料包括：石墨、炭粒及炭化硅等，这种电炉除了应用于实验室外，在一般有色金属熔铸生产中是不大用的，不过它的优点是简单，而且可以获得较高的温度。



a-石墨电极之炭粒电阻坩埚炉

炭粒炉的温度可达很高 $1500-1600^{\circ}\text{C}$

接触环电阻炉使用很少，

坩埚炉所使用的坩埚：

由于坩埚炉中的坩埚很重要而且我们也常遇到，所以我们来看一看它的情况，我们对坩埚提出来了下列的要求：

(1) 要有足够高的耐火度——坩埚的耐火度要高于溶化金属所要达到的最高温度。

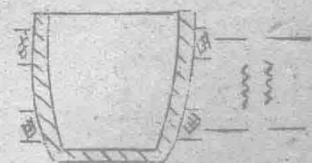
(2) 适当的强度——因为坩埚内盛满了

很多的金属，所以受到静压力的作用，

同时在浇铸时还要将它提出来所以坩埚

通常通称高温炉都有一定的强度，所以在坩埚成份中加有耐火泥。

(3) 不与金属产生化学作用——有的材料就会与熔融的金属产生化学作用，如碳坩埚在高温下： $3\text{SiO}_2 + 4\text{Al} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Si}$ ，Si就会溶入铝中。



b-带有接触环之电阻坩埚炉

而坩堝受到了破坏。

(4) 坩堝材料不溶解到液体金属中——铸钢坩堝的鉄在高温下就会溶入鉄中，因而要在坩堝表面涂上一层涂料。

(5) 不易被氧化——在常温和高温皆要如此，石墨坩堝在高温下会逐渐氧化，所以应当加入耐火泥以降低石墨的消耗，即提高坩堝的使用寿命。

(6) 足够的导热性——这样可以使热的利用好，石墨的导热性比较好，仅次于生鉄，此外用炭化硅材料更具有良好的导热性。

(7) 要有充分的致密性——致密性高才不致于被金属渗入到坩堝壁中去。

(8) 膨胀系数要小——能抵抗温度的变化而不破裂。

在工业上实际使用的坩堝材料有下列数种：

1. 石墨坩堝——通常由20—60%之石墨材料与耐火泥混合制成，其强度比铸钢坩堝要差得多，使用时寿命亦短的多。

在使用新的石墨坩堝时，若不经过预先处理，一下就用大火，则坩堝会立刻开裂，所以新坩堝必须要经过预先处理：即在24小时内慢慢烘干，温度逐渐的升高，起先到200°，然后到400°，最后在600°—900°下焙烧。

不可以用石墨坩堝熔炼含硅量很高的AlSi合金。

(2) 粘土坩堝——用粘土作成，导热性较差，一般比较少用。

(3) 刚玉坩堝——内含80% Al_2O_3 ，不易腐蚀与耐很高的温度。

(4) 镁砂坩堝——耐腐蚀性较好，耐火度也高但价格比较贵。

(5) 炭化硅坩堝——緻密，导热性好，但太贵。

(6) 捣筑及烧结坩堝——在感应炉中都是使用酸性或碱性耐火材料捣筑的坩堝(以后我们还要详细讲到)。

(7) 铸钢坩堝——导热性好，寿命长，并可作大坩堝，由于导热性好，所以可以节约热能，减少熔炼时间，但与石墨坩堝相比则金属容易被鉄所污染。

对于鉄及鉄合金来说，最常用的为铸钢及石墨坩堝。

工业上所使用之坩堝容易通常以熔化一公斤之鉄所佔的体积为单位，例如15号坩堝即可熔化鉄150公斤，但通常实际可装料总要比标准小一点，以便使用熔剂，如15号坩堝，实际上只可熔到120—130公斤。

现在市面上最大之容量可到200号，铝与铜比重之比较为3:1，因此熔铝坩埚之选择可大约按此折减。

金属熔锅

金属熔锅因其材料为钢铁，所以未混容易，所以在有色金属熔炼中应用也比较普遍，另一方面也因它价廉，而一般容量又比坩埚要大，通常可装铝达1—2百公斤，所以一般小型工厂内使用甚为普遍。

金属熔锅与一般坩埚之不同点在于：
锅的加热是在下面的，而坩埚加热是在侧边的，所以锅的对流作用较好，使熔炼金属温度均匀，其次锅的直径比高度大于1，再次燃烧后的气体产物跑不到锅上面去，因此气氛比较好，等等。



锅

坩埚

我们这次看到的熔铝锅就是使用的锅。

3-3 火焰反射炉

火焰反射炉是熔炼有色金属普遍采用的设备，其容量因厂而异，从几吨以上，到现在为止，火焰反射炉仍是铝及铝合金熔炼铸锭车间熔炼设备中最主要的设备。

反射炉中火焰的热量，是由炉顶反射到液面，因此热的传导是由上而下，火焰或废气之热气流往往直接与液面相接触，因此燃烧效率较高，燃烧速度也最快，最强烈，因此适于大量生产。

另外反射炉的结构形式最为简单，它只需要耐火材料很少需要金属材料，这样就可使投资大大减少，但如反射炉的容量增大，则最大的困难是炉顶的耐火材料，因为反射炉必须依靠火焰之反射，炉顶就承受了最大的热，因此炉顶材料就成为关键问题之一。

如果火焰或其废气之直接接触金属液面而传热，则此接触面积愈大，则热效果就愈大，但另一方面增大了接触面积也就增加了金属在炉气中之暴露面积，这对于熔铝是不利的。

又由于热是由上而下，就容易使液体缺少对流的传热，往往造成上热下冷的情况，如炉床的深度就有一定的限制，但炉床太浅亦不好，因为金属暴露的面积就要增大。

由上面所说的情况看来，反射炉之设计与选择甚为重要，在正确

地造反反射炉之设计及形式之先，必先要介绍下面几种情况：

(1) 对炉内气氛的要求——希望液体上面气氛要安静，因为液体很容易吸收气体，气氛愈安静则吸气程度就愈轻微，氧化作用也就愈小，其次要求气氛为无氧化的或中性的气氛，

(由以上所说可以看出用电热式的炉子最好)



(a) 加热固体之反射炉



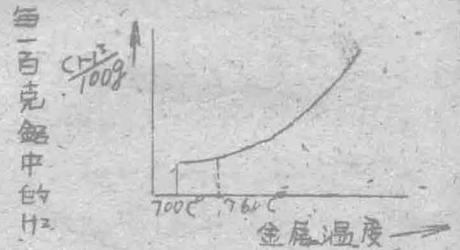
(b) 加热液体之反射炉

火焰反射炉之炉形

由图可以看出火焰的气氛流动最刺激，同时金属受到火焰的强烈，温度就较高，所以吸气也比较多，而在这一方面都是有利的，

至于採用电阻热之反射炉，电阻器都装在炉顶上而热辐射均匀的反射到液面上，所以气氛最为安定，气氛基本上为中性，因而避免了由于燃烧产物所带入合金中的气体。

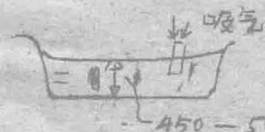
(2) 炉温控制和其分佈情况——温度要适宜，太高则合金吸气多，铝在小于 700°C 时，基本不吸气，大于 760°C 时则吸气大大增加，所以从这个观点出发在炉内，金属的在何地方都不希望超过 760°C ，其次温度分佈要均匀，常常在炉条喷嘴附近会过热 ($>760^{\circ}\text{C}$) 所以喷嘴应当多一点而直径应当小一点，以达到温度的均匀再其次是熔池应当有一定的深度，以使固体炉料不要露露在液面之上，而应当沉没在熔池中，因为在半熔化状态最易吸气，通常最适宜于得到均匀分佈炉温之最大反射炉容量约为八—十五吨，并设热液深度在 $450-500\text{mm}$ 左右，如以上所说过的一样，熔池深度亦不能过深，因为金属上热下冷，冷热交换困难，下部过冷时易发生凝固的危险。



大反射炉容量约为八—十五吨，并设热液深度在 $450-500\text{mm}$ 左右，如以上所说过的一样，熔池深度亦不能过深，因为金属上热下冷，冷热交换困难，下部过冷时易发生凝固的危险。

(3) 要防止杂质混入铝及铝合金中去——

铝液中之氧化物杂质，其中大部份为所加之熔剂除去(扒渣去除)但仍有一部分杂质渣由于其比重较大而凝聚于炉底，



为防止它们混入合金中，因而炉底形状应有利于杂质之集中，而出铝口则设在炉底之上而

此外耐火材料之选用对杂质之渗入问题也极有关系，有两种元素最容易渗入铝合金中，即铁及铜，故之掺入大都由于所用炉衬不良所致，因此最好使用上等耐火材料筑炉，铜之掺入是由于炉壁之破裂长时之冲刷及侵蚀以后裂纹增大，含铜之铝液往往易渗入此裂缝内，等到下一次熔炼时，铜元素即会重新熔入而进入铝液内，因此应该尽一切力来保护炉壁寿命，



(4) 仅射炉的流铝

小炉子：熔池在炉门附近，可以用手工舀出金属进行浇铸。

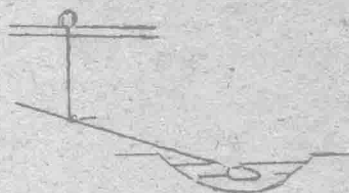
2. 大炉子：熔池不能太靠近炉门，因会使温度过低，则金属将发生凝固，所以一般离炉门较远，则此时就可以用吊包来舀取金属进行浇铸。



3. 流口式：打开金属出口则金属就会流出来，另外在金属流口下面还有一个出渣口。

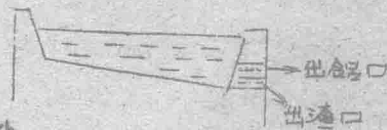
耐火材料仅射炉燃料之选择

适用于熔铝之燃料不外乎固体燃料(煤及焦炭碎燃料(重油)气体燃料(煤气等)究竟选何种燃料为适宜，应视具体条件而定。



1. 固体燃料：煤及焦炭

煤是最廉价最普遍的燃料，其主要缺点为温度不易控制，煤燃烧后生成的炭氢气体最易侵入熔铝内而造成严重的气泡，此外



因熔化温度低而燃料的消耗另也大，在普通之仅射炉中每吨燃料与铝之比率为1:5，除非是旧式生产的小工厂，一般都不使用煤为燃料

焦炭虽亦为固体燃料，但它在熔铝工厂内应用却很广，良好的干燥焦炭中之炭氢化合物已驱至殆尽，因此废气很少，废气吸收同亦可以减至最低程度，在北美有些地区都乐于采用焦炭仅射炉，因其价值总比其他燃料便宜，由于焦炭熔点高，因此温度之控制稍良于煤而易于液体燃料焦炭的搬运不易，处理困难，并且亦容易发生局

部过热，因此亦可为其他燃料所代替。

(2) 气体燃料及液体燃料：煤气及重油。

气体燃料之种类很多，如发生炉煤气，天然煤气，高炉煤气等。其中天然煤气及高炉煤气都受地区的限制，应用最广泛者为发生炉煤气，如工厂内有发生炉煤气站，则採用发生炉煤气当然是最经济的。

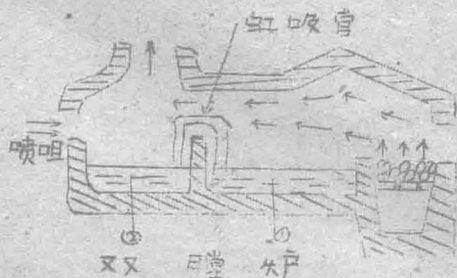
液体燃料以重油为主，在石油生产丰富之地区採用甚广。

气体燃料与液体燃料之熔炉有一共同的优点即其炉身之结构最简单，熔化率大，重油反射炉每吨燃料可熔化铝7吨之量，煤气炉与熔一吨铝需煤气约1200—1300公尺每小时熔铝可高达40吨以上，如能採用预热装置，则熔化率又可提高，另一方面温度控制比固体燃料容易。

气体与液体燃料都必须採用噴咀，噴射燃料，因此就易产生一种缺点，即噴咀放射燃料后有空气之混合如不均匀，造成燃燒不均，易使一部分液面遭受过热，而引起严重的吸收气体，因此噴咀之选择是最需要注意的问题，务使燃料与空气之混合比例恰当，使炉内火焰及气氛在什么时候都呈中性或微氧化性而避免还原性。

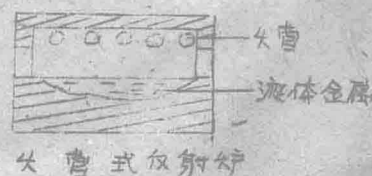
3-4 火管式反射炉

火管式反射炉也曾被用来做熔铝的反射炉，火管式炉是使火焰通过一排管子，管子装在炉顶热借辐射反射于下部液面，这样的反射炉效率不高，最高温度不超过780℃，但用于熔铝仍然适合，火管当然应该用耐热合金钢制造(要耐温度1100—1200℃)，火管式反射炉之最大优点是火焰既不与金属接触，而炉内气氛及压力始终平稳正常，有利于熔炼质量的提高。



① 第一腔——熔化炉

② 第二腔——静置炉



火管式反射炉

3—5 双膛炉

第一室称为熔化炉室，第二室称为静置炉室，前者将铝全部熔化，金属液用虹吸方法灌入静置炉室，双室之优点甚为明显，它可以使熔化和浇铸二项工作分开，而可同时进行，因此铝液可在第二室内调整温度，扒渣，而在熔化室内之炉底杂质也不易被带入，因而金属质量大大提高，在实际生产中，除非产量十分庞大，双膛炉之推广应用并不罕见，由其对于合金种类繁复之少为定论，双膛炉之容量较大，

双膛炉用来熔化工屑之类的废料是非常好的。

3—6 电阻式反射炉

在上面我们已经谈过电热的优点很多，归纳起来不外，温度容易控制，热的金属液不与波动很利害的气体废气接触，氧化损失可减至最低程度，在电阻热反射炉中，通常此项损失不超过1%，而在其他燃料之反射炉中则高至12%乃至2%以上，因此凡欲获得良好之产品质量最好采用电热作热源。

不过电热亦有它的缺点即其熔化工速度不大每小时熔铝能力有时还不到一吨，而其容量亦往往受到限制，一般用镍铬电阻丝之反射炉容量在7—9吨者已属最高容量，超过此容量者不仅经济，因此一般要求大容量之熔铝炉者仅有不倾向于使用电阻热反射炉。

电阻式反射炉之电阻丝都装在炉顶上，借辐射作用而反射到液面上，根据情况不同又分为可以倾斜式的和固定式的。

(1) 可以倾斜式的

倾斜式熔铝炉称为倾斜炉，它常用于容量不太大的电阻热反射炉中。

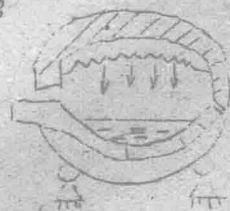
其优点是出铝迅速便利，停止出铝也极容易通常有三种倾斜方式：

(a) 转动轴在浇口

由于浇口的转动很小所以可以直接进行浇铸，因而金属的出炉温度就可以低一点。

缺点是此炉子的动力要求比较大。

倾斜式电阻反射炉



(b) 转动轴在炉子的重心

此种情况由于浇口要转动所以要经过浇包来浇铸因而金属的出炉

温度要高。

②重心平行移动的

由于浇咀也要移动，因此也是间接浇铸的。

②和③种炉动力比①皆要小。

其中①和②是比较常用的。

④固定式电阻反射炉

当需要容量比较大时，就可採用固定式电阻反射炉，出铝方式可以採用流口式和虹吸式。

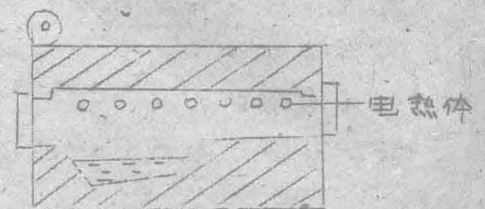
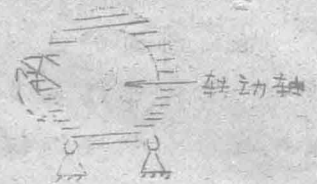
靜置炉型被混合炉——在規模較大之鋁合金加工厂的熔鑄车间多采用靜置炉，靜置炉为电加热的，鋁合金先在火焰炉中熔化，然后再将合金液注入靜置炉，靜置炉的用途用于：

- ①在靜置炉内进行精煉处理。
- ②通过靜置作用分离浮渣或沉淀以获得比较均匀纯洁的金属。
- ③可在靜置炉内适当的控制所要求的流鋁温度。
- ④利用靜置炉之配合，可使熔化工操作不受流鋁操作之延迟影响，而增加熔炉之效率，通常可用流包或虹吸法将鋁液自熔炉送入靜置炉中。

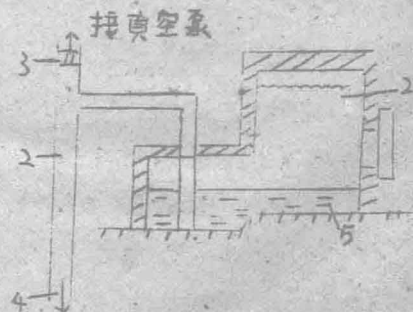
靜置炉的容量与熔化工相同，靜置炉可以有傾側裝置的或固定式的，固定式靜置炉内金属的流鋁可以採用流口式的或虹吸式的。

- 1——靜置炉
- 2——虹吸炉
- 3——泡沫材料塞子
- 4——金属出口
- 5——熔融鋁液

⑤电热体的材料及其安装
常用的电热材料如下表所示



固定式电阻反射炉



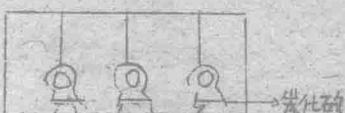
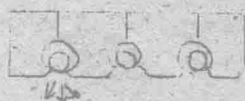
靜置炉及虹吸流鋁情况

电热体用的合金

合金名称	主要化学成分 %					电热体最高允许温度℃
	CY	IXI	Al	Mn	Fe	
H X 9.5	9-10	88.7~91.0	—	—	—	1000
H 2K X M4-16-15-15	14-16	62.5~71.8	—	1-2	14-18	1000
34341	16-18	—	4-6.5	—	其余	1100
34340	23-24	—	4-7	—	其余	1200

电热体的安装：主要是在炉顶上的安装。

丝状电热体一般是用型砖支持住，有时在搅拌时熔池内的液体会飞溅到炉顶上和电热体上，因而损坏它。在造渣时通入的气体也会损坏它，为保护之则隔上一块炭化硅的隔板，因而精炼最好不要在电阻式反射炉中进行。



丝状电热体及安装

带状的电热体也是用型砖支持着，由两图可以看出带状电热体之散热面积远较丝状电热体为大且较平均，不易局部过热，寿命亦较长，因此常采用带状电热体，而少用丝状电热体。

容量较大之电阻炉常将电阻丝系统分为若干组，每组都有单独的控制系統，如此可根据炉内各段之不同温度要求，分别加以控制。

电阻炉电能消耗

热能来自于电流，根据电流的热效应有：

$$Q = 0.24 I^2 R t \text{ 卡}$$

电阻炉的热效率——电阻丝的热被加热金属利用的程度，一般电阻反射炉为 70—80%

一般电能消耗为：450—650 度/时/吨铝。

3—7 低周波感应炉

低周波感应炉与其他熔炼炉有很大的不同，由于在熔池内通过了很大的电流，因而出现了电动力现象，这些现象在其他的炉子内完全没有或不太显著，而这些现象在低周波炉子内部有十分重要的意义，低周波炉在成型铸件中才被采用。



带状电热体及安装

(1) 这种炉子有很大的优点：氧化损失很小(1%)

成份均匀，因为金属在自行搅拌；电流的热效率高(80-90%)；生产率也很高，因为熔化速度很快；设备所占的体积也不大。

同样亦有这样一些缺点：对熔铝来说氧化铝容易将熔渣堵塞难于清除，因而使生产率降低；换炉困难，一个炉子熔一种合金较好，停炉不能太久，否则开炉比较困难。

(2) 低周波炉的一般工作原理：

低周波炉的工作原理与变压器的情况是相同的，

由变压器的原理中我们有下面的关系式：

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

式中 I_1 —— 一次线圈中的电流

N_1 —— 一次线圈中的匝数

I_2 —— 二次线圈中的电流

N_2 —— 二次线圈的匝数

$$\therefore I_2 = I_1 \cdot \frac{N_1}{N_2}$$

在感应炉的情况下则 $N_2 = 1$

$$\therefore I_2 = I_1 \cdot N_1$$

由于 $I_1 \cdot N_1$ 很大所以 I_2 就很大，即通过熔渣内的电流很大，因而产生了大量的热这种热就使金属熔化和过热，在熔渣中生成的热可以用下列公式来计算：

$$Q = 0.24 I_2^2 R t (\text{卡})$$

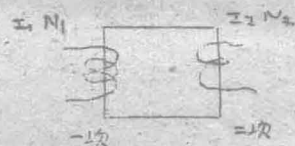
由于熔渣内热的金属和上面熔池内冷的金属不断的循环，从而使整个熔池皆被加热

(3) 低周波炉内金属的运动

熔渣内的金属被电流加热，熔化，则它必须需要与上部熔池冷的金属交接位置才能把整个炉内的金属的温度升高，熔渣中热金属为什么能与上部冷金属对流呢？下面我们就要来研究这个问题，有三种力能使金属由熔渣进入熔池，而熔池的金属进入熔渣，从而造成了金属的对流。

1) 电动机效应

由于炉底石中线圈的电流方向和熔渣中电流的方向相反，因而在两个线圈之间的空间内磁场的方向相同，根据左手定则可知在熔渣



中金属受到恒向的排斥力，从而在熔道外表面的压力增加，而内表面的压力降低，因而金属就由熔道的外表面进入熔池，而冷金属就由熔道的内表面进入熔道。

有时为了加强金属的循环，而将熔道与熔池过渡的地方作成平淌的。

2) 热的动力

在 a, b, c 三点取三块小面积 dS 在 dS 上通过的电流为 dI ，则电流密度为 $\frac{dI}{dS} = j$ ，在这里很明显的可以看出 j 最大因而其中产生的热量也就最多，因而金属的比重下降也就最多，因而在熔道内的金属就要上升，从而造成了金属的循环。

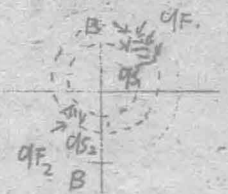


3) 压缩效应

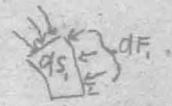
压缩效应是由于熔道中电流和这个电流本身所建立的磁场之间的相互作用而产生的。

感应炉内的电流分布

设熔道的断面为圆形，而其中电流方向为进入纸内，则此电流的磁场方向为顺时针方向，根据左手定则在 dS 上就受有斥力的作用，这个力是朝向中心的，同样在 dS_2 处亦受有朝中心的斥力的作用，因此由于这种力的作用就使熔道中的金属由中心进入熔池，而熔池内的金属就由熔道边处进入熔道。



由于以上所说的三个原因就使低周感应炉内金属处在不断的循环中。



功率为 125 与 250 瓩的单相低周感应炉在生产中获得了广泛的应用，125 瓩的炉子可熔 450 公斤铝，生产率为 200 公斤/小时，功率为 250 瓩炉子的容量为 900—1000 公斤铝生产率为 400—500 公斤/小时，在单相炉中电能消耗为 400—500 瓩/小时。

3—8 高周感应炉

高周感应炉在这里就不讲了，留到以后去讲。

§4 熔炼铝合金时的物理化学原理

4—1 金属与气体的作用

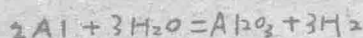
相同的气体对不同的金属来说可以是氧化性的，也可以是还原性的，例如对钢来说， CO 、 H_2 、 CmH_m 是还原气体，但对轻合金来说则

不对，或不完全对，因为CO对铝、镁来说不是还原气氛而是氧化气氛，对铝、镁来说 H_2 、 CH_4 为还原气氛。

1. 铝与氧化气氛的作用

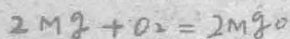
对铝镁来说， O_2 、 H_2O 气、 CO 、 CO_2 、 SO_2 皆为氧化气氛，

铝或铝合金与氧的作用很强，金属在与氧发生作用时就在其表面生成一层氧化膜，熔融金属表面上所形成的氧化膜的密实性，在熔炼这些金属的过程中起着很大的作用，铝与氧化气氛发生下述反应：



铝在加热过程中在温度 $700-750^\circ C$ 以下的长时期中要遭受氧化，此后在氧化膜厚度达到 2000Å 时，氧化膜的厚度增长就停止，在这种情况下就变成了比较密实的氧化膜 Al_2O_3 ，阻止了合金的继续氧化，因此这就有可能不使用保护熔剂而进行合金的熔炼，这对简化熔炼工艺来说有极大的好处。

铁的氧化膜不结实(MgO)、



而且很疏松，因而不能起保护作用，同时 MgO 膜的导热性又差，因而发生恶性循环，从而导致了铁的燃烧。

2. 铝与还原气氛的作用

如上所说， H_2 、 CH_4 对铝来说为还原气氛，

H_2 在高温下将变成氢原子而溶于合金中，



CH_4 亦能被铝分解而产生氢，亦溶于铝中。

关于[H溶于铝中的问题在下面将作比较详细的讨论，溶于铝合金中的[H将引起气泡，而溶于铜合金中的[H将引起氢病，此现象是在还原气氛中加热含有 Ca_2O 的铜及其合金时发现的，由于[H扩散到 Ca 内部而与其内部的 Ca_2O 发生下列反应：

