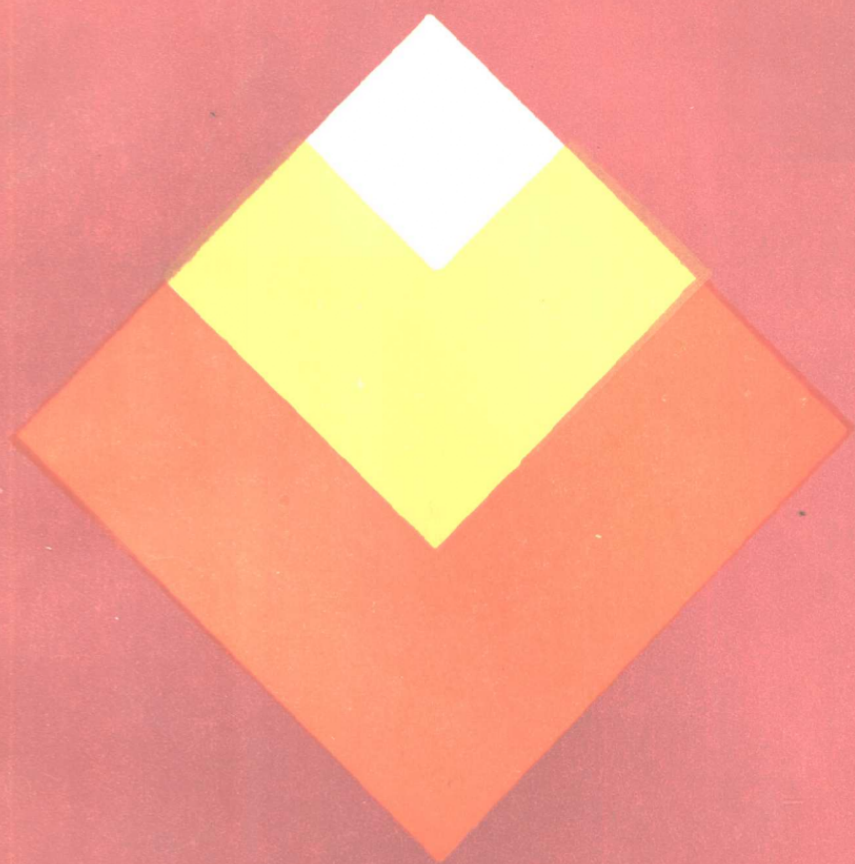




电熔耐火材料工艺

冶金工业出版社

电熔耐火材料工艺

〔苏〕A.B.波洛托夫 等著

赵 正 民 等译

刘 景 林 校

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书专门论述了用低温等离子弧方法生产熔铸耐火材料的工艺原理、工艺流程和主要设备,介绍了这一领域的科研与试验成果,并与传统的生产方法进行了比较。本书可供从事耐火材料生产、科研和设计的工程技术人员使用,对高等院校有关专业的师生也有参考价值。

电熔耐火材料工艺

〔苏〕A. B. 波洛托夫 等著

赵正民 等译

刘景林 校

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街黄板厂北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金测绘印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 $3\frac{1}{2}$ 字数 92 千字

1987年11月第一版 1987年11月第一次印刷

印数00,001~3,300册

统一书号: 15062·4395 定价1.00元

符 号 说 明

- I ——电弧电流, A
 U ——电弧柱电压降, V
 L ——电弧长度, m
 Q_0 ——辐射率
 G ——电极消耗, kg/s
 K ——数量系数
 (t) ——导热系数
 T_0 ——电弧温度, K
 r_0 ——电弧半径, m
 i ——电流瞬时值, A
 E ——电弧电压梯度, V/m
 L ——感抗, Hz
 R ——有效电阻, Ω
 Dd ——炉子实际炉膛直径及模拟炉膛直径, m
 $D_э$ ——电极直径, m
 d_0 ——电极孔直径, m
 H, h ——炉膛高度, m
 σ_0 ——电导率, S/m
 S ——电极受氧化的表面积, m^2
 V ——流速, m/s
 g ——电能单耗, J/kg
 B_0 ——磁场放电时的磁感应强度, T
 P ——压力, N/m 2
 U_i ——电离电势, V
 X ——电离程度
 e ——电子电荷, 1.6×10^{-19} C
 $\lambda(T)$ ——波长, A
 n ——反射系数
 s ——“斯塔尔柯夫”宽度
 l ——电极长度, m
 $P_{\text{нот}}$ ——电损失, W
 $P_{\text{Д}}$ ——电弧放出功率, W
 $P_{\text{акт}}$ ——有效功率, W
 ρ ——电阻率, $\Omega \cdot m$
 s' ——装置的视在功率, W
 η ——装置的电有效系数
 γ ——气体密度, kg/m 3
 L_0 ——传热系数, W/m $^2 \cdot K$

译者的话

本书是根据苏联科学出版社1981年出版的《ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОПЛАВЛЕННЫХ ОГНЕУПОРОВ》一书翻译的，书中专门论述了用低温等离子弧方法生产熔铸耐火材料的工艺原理、工艺流程和主要设备，介绍了作者在这一领域的科研与试验成果，并与传统的生产方法进行了比较，肯定了新方法的优点。

作者对等离子弧熔融时石墨电极热机械性耗损问题作了理论性的探讨，并提出了防护的措施，阐叙了用这一新方法制取光学和电真空部门、钢铁冶金与有色冶金部门用的高级熔铸耐火材料，以及国民经济某些特殊部门用的石英玻璃等的技术问题。

本书可供从事耐火材料生产、科研和设计的工程技术人员使用，对高等院校学生、研究生等也有一定的参考价值。

全书共分三章。第一章由张大志翻译，第二章由赵正民和张玮翻译，第三章由安时天翻译，全书由刘景林校对。

由于译者的水平所限，译文中难免有差错，敬请读者批评指正。

目 录

前言

第一章 熔融与熔铸耐火材料的现代生产方法	1
一、配料成分的选择	6
二、配料混合物的制备工艺与向炉内送料	9
第二章 等离子弧熔融的物理原理	12
一、电弧炉熔融过程的模拟试验	12
二、熔融耐火材料时的物理现象	17
三、电极材料向熔体中的质量传递	29
四、降低电极材料向熔体内的质量传递	36
五、提高耐火材料熔体中能量的相对密度的方法	47
六、空心电极	52
第三章 用等离子弧法生产耐火材料	62
一、无碳锆刚玉耐火材料的生产	63
二、特高级熔铸耐火材料的生产	79
三、耐火材料的浇注	88
四、特种耐火材料的生产	95
参考文献	101

第一章 熔融与熔铸耐火材

料的现代生产方法

目前，全世界在冶金工业和国民经济其他领域中耐火材料的单位消耗不断下降。这主要是因为采用了新型高寿命的但又昂贵的耐火材料的缘故。统计数据表明〔1〕，由于采用高寿命耐火材料使平炉冶炼速度提高10%，尽管耐火材料成本也提高了30%，但还是值得的。

各种热工设备的特殊的操作条件，决定了对耐火材料制品质量的要求，因而需要研制新型耐火材料。例如，国外高炉炉衬用耐火材料品种已由过去的五种增加到十五种〔2〕。

研究新的和完善现有的工艺流程，都要求创造高质量的耐火材料，以满足现代生产要求。苏联及其他国家已完成的研究工作证明，将熔铸材料用浇注法或陶瓷法制造的耐火材料用作冶金热工设备侵蚀严重部位的炉衬是有前途的〔3〕。

美国柯哈特耐火材料公司（Corhart Refracries Co.）于1928年首先开始研制熔铸耐火材料。此类耐火材料的寿命较高，受到各国专家们的重视。

目前，在熔铸耐火材料的研究方面，主要是探索如何提高耐火材料制品的抗损毁性。探索的内容包括完善耐火材料生产工艺制度，研究在制造与应用过程中发生的物理化学过程，改进耐火材料质量，选用新原料以及利用新原料研制新型耐火材料和制品。根据研究工作结果，在熔融耐火材料工艺方面形成了两个基本方向：生产熔铸材料及用熔融材料生产再结合制品。

根据专利文献介绍，法国、日本和美国使用各种不同结构的炉子组织生产熔铸耐火材料。文献〔4〕叙述了在带盖电弧炉内对熔体进行搅拌并保持在中性或氧化气氛下来制造高质量熔铸耐火材料的方法。大家熟知的方法有：使用倾动式电弧炉制造高

质量的“柯哈特—11AK”及“柯哈特—104”耐火材料,电炉功率为1200~1300 kW [5];采用碳极电弧炉用60%铬矿和40%镁砂(MgO—93%)制造铬镁质耐火材料[6]。但是,在上述报道中,缺少生产工艺各环节基本参数的数据,其中包括作为耐火材料制造工艺主要环节之一的熔融过程。

当前,熔融耐火材料所采用的设备有:旋涡熔化炉,高频熔炼装置,等离子炉及电弧炉。装有镍铬合金质、碳化硅质或其它类型发热体的电炉,不能用于熔融耐火材料,因为达不到必要的温度。感应电炉的加热是通过电流在熔融的配料中产生涡旋感应而实现的,可以达到必要的温度。因为配料本身不是导体,必须采用导电材料石墨或碳来制造坩埚。这种电炉的缺点较多,如碳向熔体中扩散,而且扩散量很难检测,坩埚破损较快,炉体成本高,以及单位电耗大等等。因此,感应炉在工业上没有被广泛应用。

应用最普遍的是电弧炉,其造价低廉,操作方便,既能保障获得必要的熔化温度,又能使炉衬保持完整熔融成本经济。

可使用功率为100~2500kW的单相或三相电弧炉熔融高级耐火材料,只有在大功率电弧炉内用“排放”法和“铸块”法制取熔体,才能达到较好的电能消耗指标。

苏联采用OKB-2126型和OKB-2130型三相电弧炉生产熔铸刚玉质和锆刚玉质耐火材料。

在对熔融时发生的物理现象进行研究的基础上,根据实验方法选择出最佳熔融制度和参数,以改进耐火材料熔融工艺流程[10、13]。已经证实[11、14、15],电弧熔融参数,对熔体性能及制取的产品质量都有显著影响,例如熔融氧化铝时,若将其电压由120V升高到180V,则刚玉结晶粒度缩小到0.08~0.18mm [15];若将电压升至230伏,则铸件的密度降低[11]。

熔融方镁石时,当电压在70~90V范围内时,其熔融制度最稳定。曾试图把电压提高到150~200V来强化熔融过程,此时靠近电极附近的氧化镁发生还原反应。看来,在较高的温度下氧化

镁被石墨电极的碳素强烈还原 [16、18]。显然，在熔融的含铬材料中所观察到的铬尖晶石被还原成金属的现象，也与上述情况有关 [19~21]。虽然普遍认为电极的碳素同熔体的相互作用会引起这种现象，但是在各种不同的熔融制度下材料还原的原因并没有查清 [19、20、22]。

由于对耐火材料质量的要求越来越高，主要注意研究如何减少碳向熔体中迁移的过程 [11,12,23,24]。已经查明，“KOP-95”型刚玉铸件的体积密度在很大程度上与其中的碳含量有关。为降低制品中碳的含量，建议使用高纯氧化铝和在较高的电压条件下进行熔融 [11]。但是，这种方法受到原料来源的限制，会降低刚玉铸件的密度，而且对于诸如方镁石等材料来说，此类方法更不适用。因此，正在不断地完善熔融方法，制定在熔融过程中消除熔体增碳的措施。

为降低耐火材料熔体中的碳含量，可以采用空气或氧气鼓泡，加入氧化剂，在熔体上面形成氧化气氛 [25]，用超声波振动 [26、27] 及二次热处理方法使熔体脱气。然而，采用这些方法并未能获得明显效果。

为了熔融锆刚玉耐火材料也采用了无触点法、感应法和间接法来加热配料 [12]，前两种方法是不能采用的。用间接法加热所取得的试样，其碳含量为0.4~0.6%。

将间接加热方法同引入氧化剂的方法结合起来进行了试验。在所制取的试样中最低碳含量接近0.4%。可见这种方法同样也不能完全把碳从耐火材料中排除掉。

在高频等离子试验装置上试验了用等离子法加热锆刚玉配料 [12]。采用输出功率为150kV的高频等离子振荡器作为等离子源。所取得的试样呈白色，夹杂有浅黄色暗影，结构致密。试样中的碳完全被排除掉，但是，这种方法的电能单位耗量极大。

在工业上采用“排放”法熔融刚玉是可行的 [7, 8, 28~33]。苏联在1965年掌握了“KOP-93”型熔铸刚玉制品的生产工艺，其 Al_2O_3 含量为93~94% [30、31]，而近几年又掌握

了“KOP-95”型制品的生产工艺，其 Al_2O_3 含量为95~96%， Al_2O_3 中有93~95%呈 $\alpha-\text{Al}_2\text{O}_3$ 形态存在[10]。

对其他国家所采用的耐火材料生产方法及使用状况的分析表明，这种无碳的熔铸的高级耐火材料要比压制成型的制品好得多。要强化冶金、化工，玻璃熔化和其它工艺流程，没有这种耐火材料将是非常困难的。因此，在苏联组织生产此种高质量熔铸耐火材料是十分迫切的。

同用烧结料制造的颗粒结构制品相比，熔铸耐火材料的主要优点是抗侵蚀性较高。在各种冶金设备中使用这种耐火材料时，其抗侵蚀性首先取决于其成分。用镁砂、工业氧化铝和铬矿制造的制品，其化学成分可用下列八元系统来表示： $\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}$ 。其中承担使用性能的主要成分是 MgO 、 Cr_2O_3 、 Al_2O_3 和它们的化合物[34]。此时在耐火材料中形成的耐火相，即方镁石、尖晶石和它们的固溶体，对各种碱性试剂呈现出不同的抗侵蚀性。

试验表明[35、38]，方镁石及其与高铝尖晶石组成的复合物对碱性试剂，特别是对 $\text{FeO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系冶金炉渣具有很高的抗侵蚀性。在中性与酸性试剂作用下，高铬尖晶石及其与方镁石的复合体是稳定的[37]。因此，在碱性炉渣侵蚀的设备中，使用此种耐火材料的较为成功，例如可用于生产磷铁、铬铁及镍铁的转炉中。

耐火材料被侵蚀的过程，是由于熔体内原始相和新生成物的溶解作用与化学反应的结果[35、39]，同时，腐蚀层的生成速度及强度是材料抗侵蚀性的最重要因素[38]。然而，由于缺乏可靠的通用的抗渣性测定方法，对耐火材料受炉渣侵蚀的状况很难做出客观的定量鉴定，从而使大量的关于抗渣性的试验不可能获得一致的解释和说明[39]。

在耐火材料中，硅酸盐、金属，特别是玻璃相的生成对耐火制品的性能造成有害的影响，首先会使其荷重变形温度降低[40~42]。利用比较纯的原料和采用先进的熔融方法，可减少耐火

材料其中包括电熔材料的变形程度，提高它们的热震稳定性与化学稳定性 [29、43]。

同样，耐火材料的物理结构也是影响其抗渣性的最大因素之一。高密度耐火材料的抗渣性比较好。

可以确认 [44]，任何品种耐火材料的抗渣性都与其气孔率有直接关系。所以，由熔融砂制取的粒状结构制品的抗渣性要比整体结构材料差。

耐火材料最重要的特性是它们的透气性及受熔液的浸润性，这些特性决定着熔剂的侵入深度。熔剂的渗透与迁移程度多半取决于构成耐火材料的颗粒的大小与形式，气孔大小与特点，以及结构组分的总气孔率和真气孔率。各国科研人员对耐火材料抗侵蚀性的上述原因的研究还很不够，无法判断这些因素在耐火材料，尤其是熔铸耐火材料损毁方面的作用。

用熔融砂制成的粒状结构制品，尽管其热震稳定性显著提高，但它的抗侵蚀性却比整体结构的熔铸耐火材料低。

在黑色与有色冶金工业及铁合金冶炼工业十分发达的条件下，诸如在氧气悬浮旋涡电热熔炼装置、混合炉、生产铬铁与磷铁的转炉中，熔铸耐火材料的使用效果将是非常好的，它能承受侵蚀性炉渣的作用。

我们研究的目的是制订制造熔铸耐火材料的工艺流程，包括耐火材料成分的选择原则、熔融配料的制备与向炉内送料、配料在等离子弧制度下的熔融，向铸模内浇注熔体、制品的热处理及机械加工。

在制造无碳锆刚玉砖、高级耐火熔铸材料以及石英大砖表面热加工方面，我们成功地采用了等离子弧熔融方法。

在苏联从事玻璃熔窑与冶金工业用的熔铸耐火材料试验研究工作的部门有：国立玻璃研究院、全苏耐火材料研究设计院、苏联科学院冶金研究所和乌克兰耐火材料科学研究院 [45~51]。根据上述科研成果，在下列工厂组织了电熔耐火材料的生产：阿拉克斯（Аракс）（埃里温，Ереван）、技术玻璃厂（萨拉托夫，

Саратов)、 “镁砖” 公司 (萨特卡, Сатка), 舍尔宾斯克 (Шербинск) 厂、波多尔斯克 (Польск) 厂和博洛维奇耐 (Борович) 火材料厂等。

一、配料成分的选择

如文献 [52] 所述, 多组分配料有可能提高耐火材料在各种不同条件下的使用寿命。有时, 耐火材料要经受激烈的温度变化、化学活性气体、蒸气、粉尘, 以及各种流动侵蚀性熔剂的作用。由于各种侵蚀因素十分复杂, 除了构成耐火材料的矿物本身的稳定性之外, 能够保障材料具有抗侵蚀性能的结构特点也具有特殊的意义。

配料组成的选择, 要根据耐火材料使用时周围的介质来决定。例如, 熔化普通成分平板玻璃的熔窑, 用纯氧化铝要比二元系的硅酸铝材料更耐用。近年来却认为采用 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2 - \text{SiO}_2$ 三元系制品更适合上述目的。

生产铬铁与中碳钢的转炉和混铁炉内, 耐火材料与侵蚀性炉渣接触的部位是最关键的区域。在这些区域的耐火材料损坏很快, 致使整个设备的寿命大大缩短。试验证明 (见第三章), 满足上述需要最有前途的材料是用镁砂与铬矿制造的、具有直接结合结构和各组分配比一定的熔铸耐火材料。构成耐火材料的晶体应该是细小晶体, 但不得超过临界尺寸 [52]。

高铝电熔制品主要用于玻璃熔窑 [7, 8, 33]、轧钢加热炉均热段炉底 [53] 和铝合金熔炼炉 [54]。电熔刚玉砂可用于磨料工业、[14, 39], 以及用来作为制备坩埚、捣打料、混凝土、填料的耐火材料组分 [55]。

为克服制造具有特殊性能的耐火材料的工艺上的困难和提高产量, 可以利用多组分配料的熔体来生产浇铸耐火材料。铝硅锆系 (锆刚玉型) 耐火材料的广泛生产, 与上述情况有密切关系。根据配料的组成、铸件的矿物构成与相组成的不同, 制成具有不同的用途的制品, 其商品名称为: Бакор, Жаргаль, Монофракс, Магмалокс, ЦАК, ЭПГ等。ЦАК型及 ЭПГ型制品的矿物组成为斜锆

石25~40%，刚玉40~45%，玻璃相15~25%；Жаргаль型制品的矿物组成为 α -刚玉30%， β -刚玉55%，斜锆石15%；Магмалокс型制品的矿物组成为刚玉43%，斜锆石5%，莫来石37%和玻璃相15%。

苏联已掌握了含锆为20、33和41~48%的Бакор型熔铸耐火材料的生产工艺技术。这种耐火材料目前已被认为是玻璃熔窑用的最理想的材料[29, 52]。据报道，这种耐火材料在轧钢均热炉和电炉炉顶上的使用效果是令人满意的[56, 57]。

从上述数据中看出，为玻璃窑生产了足够数量的熔铸耐火材料。但是，还不能完全满足冶金和其它工业部门的需要。这些部门要求熔铸耐火材料具有更高的耐火度和抗侵蚀性。用方镁石、尖晶石及二者的复合材料制造的特高级熔铸碱性耐火材料能满足上述要求。生产熔融方镁石的国家有捷克斯洛伐克、南斯拉夫、美国、奥地利、挪威、法国、联邦德国、苏联和一些其他国家。

苏联从事这种产品生产的是“镁砖”公司。到目前为止，尚不能制取熔铸方镁石。鉴于这种情况，向用氧化镁制造的制品中添加一些能在更低温度下形成低共熔体的氧化物，例如加入氧化钙时温度为2573~2643K，加入 Al_2O_3 时为2203~2303K，加入 Cr_2O_3 时为2343~2520K，加入 ZrO_2 时为2343K，加入 SiO_2 时为2033K[16]。

从国外的经验来看，在冶金工业中应用最广泛的电熔耐火材料是用氧化镁、铬矿与含铝原料制造的。

在三十年代，曾大力推广以镁砂、铬矿和铝土矿为原料，并引入碳氢化合物脱氧剂的尖晶石型“西门子”（Сименсит）熔铸耐火材料[58]。

“西门子”耐火材料同砌筑在按废钢法操作的100~150t平炉内的硅砖相比，前者的寿命要高二十倍[59]。对于冶金工业来说，组织生产铬尖晶石型熔铸耐火材料具有很大的意义[29]。

美国研制成功含55~59% MgO 及19~25% Cr_2O_3 的熔铸镁

铬质耐火材料，即“柯哈特—104”的生产工艺 [60]。在一些工业发达的国家，都在大规模生产类似的熔铸耐火材料 [61]。用它的废料砂压制成烧结型“柯哈特—104”制品，在炼钢电弧炉炉墙及平炉前墙垛中试用时，其寿命较高。

苏联同样也发展高温冶炼用，特别是钢水真空处理用的熔铸耐火材料的生产。但是，目前此种耐火材料的生产是非常有限的。苏联许多科学研究部门都在从事熔铸耐火材料方面的研究工作。最早的研究工作始于1932年。通过对铬矿、镁砂、矾土、纯橄榄岩和其它原料进行还原熔融的方法制造出“西门子”型熔铸材料 [29]，其成分中含有大量的金属和硅酸盐。但是在原理上证明了制造铬尖晶石型熔铸耐火材料是可能的。

1961年发表了乌克兰耐火材料科学研究院试验厂对镁砂、铬矿及尖晶石进行熔融的试验结果 [13]。目前，镁砖公司生产出含82~86% MgO 和6~9% Cr_2O_3 的熔铸方镁石—铬质耐火材料。其矿物组成中含有94~96%方镁石及三价氧化物的固溶体，3~5%硅酸盐和1~3%铬铁 [19]。

对加入铬矿、纯橄榄岩及其它矿物的熔铸尖晶石 MgAl_2O_4 的性能和制造方法进行了系统的试验研究 [20、22]。在 OKB-514 型单相电炉内采用隐弧法进行熔融。向镁尖晶石炉顶砖中加入20~60%的尖晶石，使平炉顶寿命提高30~40% [62]。人们发现，加入铬矿时很难制出规定成分的尖晶石，因为铬尖晶石被还原成金属。

据报导，用还原熔化炉内熔融硅酸铝原料生产刚玉 [63]，以及用旋涡熔化炉熔融铬镁混合物时 [64]，都可以生产出类似的尖晶石。

苏联生产熔融耐火材料时，主要使用萨特卡矿的镁砂。其平均成分是： MgO 92.5%， CaO 2.2%， SiO_2 2.1%， $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 3.1%。而生产高纯度方镁石材料时，则使用塔夫斯矿的镁砂，它的化学成分是： MgO 97.5%， CaO 0.9%， SiO_2 0.5%， $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 1.1%。

制造熔铸耐火材料时所使用的铝土矿，其化学成分不够稳定： Al_2O_3 60~74%， SiO_2 1.4~20%， Fe_2O_3 2~23%。因此，在生产高纯度熔铸耐火材料时，采用工业氧化铝，其化学成分是： Al_2O_3 98.0~98.5%， SiO_2 0.25~0.1%， MgO 0.7~0.3%。灼烧为1~2%。它基本上是向 α -氧化铝过渡的 γ -氧化铝，以及氧化铝水合物残留物[65]。

国外，铬矿是制取熔铸碱性材料混合料的必备组分。对不同矿床来说，铬矿的化学成分、矿物组成、物理性能和组织结构是截然不同的。在文献[66~68]中列举了铬矿的分类。

苏联在生产铬质耐火材料时，主要使用金彼尔赛矿的铬矿。该矿体的化学成分彼此不相同。铬尖晶石晶粒被蛇纹岩或者碳酸盐—蛇纹岩胶结在一起，有时与氧化铁水合物混杂在一起。金彼尔赛矿的铬矿中发现有35种矿物。其主要的组分是铬尖晶石，约占45~80%，叶蛇纹石1~12%，方解石1~8%，水镁石1~8%和氧化铁水合物[69]。组分的氧化物含量的波动范围较大： Cr_2O_3 40~60%， SiO_2 5~15%， $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 10~25%， Al_2O_3 6~19%， CaO 0.4~4%。与萨兰内矿相比，金彼尔赛铬尖晶石矿中的镁铬铁矿(MgCr_2O_4)较多，而铬矿(FeCrO_4)量较少。苏联和其它国家的研究人员在镁质及铬质原料方面进行的许多研究工作都得出相同的结论：必须对铬矿进行选矿，以便提高耐火材料的质量。鉴于此种情况，目前正在建设一些选矿厂，生产出的精矿含 Cr_2O_3 49~53%。

在国际市场上，可作为热工设备内衬用的熔铸耐火材料近30种，其中只有四种可用于冶金工业。从国外公司有关熔铸耐火材料生产与使用的大量经验看，这些耐火材料在冶金工业中的应用是很有前途的。

配料必要组分的选择，取决于耐火材料的生产工艺流程及其使用条件。耐火材料各组分的百分比，要通过对耐火材料在每种使用条件下侵蚀性介质的试验来确定。

二、配料混合物的制备工艺与向炉内送料

采用化学成分波动范围小，均匀性高的配料是制造优质电熔耐火材料的条件之一。在采用多组分混合物的耐火材料的现代化生产方法时，后一种情况是极难达到的。制备配料混合物的流程如图1所示。

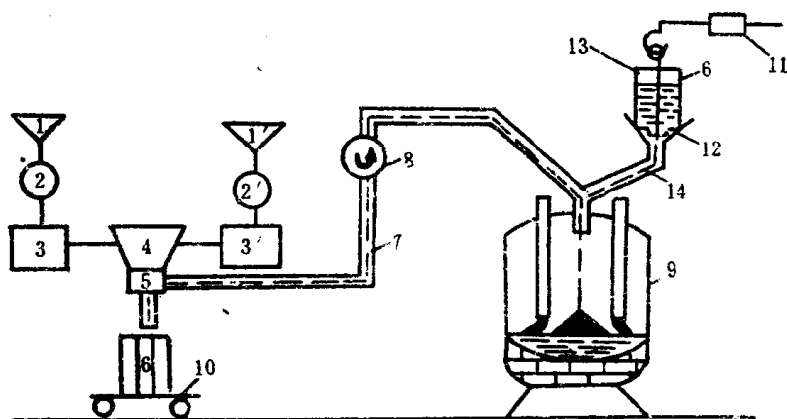


图1 配料的制备与向炉内送料示意图

由料槽(1)流出的每一种组分装入自动秤(2)上，称好规定数量的料，按照规定的程序沿输送机(3)送进混合机(4)，在这里要控制配料的化学成分。制备好的混合料经贮存器(5)，装入活底运料箱(6)，或者沿输送管道(7)用气泵直接送入熔炉(9)内。

在前一种情况下，活底运料箱放在小车(10)上，将其运输到熔化车间，用电葫芦(11)吊起倒入料槽(12)，此时阀门(13)借助粉料的自重被打开，混合料就顺着支管(14)自动流入熔炉内。

这种向炉内送料的方法有不少缺点：1) 送料距离较大，主要取决于车间之间的距离；2) 运料用的铁轨占用了不少生产场地；3) 活底运料箱装卸料时造成车间空气中含尘量增加（鉴于生产是连续性的，工作人员不得不戴防尘罩操作）；4) 由于运料箱阀门不能完全密封，装卸料时难免漏料；5) 送料过程不易控制；6) 配料在熔体表面分布不匀，投进电炉中心的料要靠熔体的热传导进行缓慢熔化，因而降低了熔融能力。

第二种用压缩空气向炉内投料的方法是比较先进的，但也有缺点。除了采用活底运料箱时的1、5、6项缺点之外，主要是气泵系统操作不可靠，粉料管道内容易出现堵塞。这种堵塞现象往往引起工艺流程混乱，甚至造成停炉。另外，在这两种情况下，在配料、输送和向炉内加料过程中，粉尘飞扬较大，损失了昂贵的原料。同时，因各组分的比重不同，引起细颗粒配料发生偏析。采用成球方法可以在一定程度上克服这些缺点[70]。但是，这就要求相应地装备用于成球和热处理的一些辅助设备，结果使工艺流程复杂化，并且提高了产品成本。

通过对配料制备车间及熔化车间的设备进行合理布置（如图2所示），便可克服上述投料方法的缺点。配料的制备过程同第一种方法（参看图1）相同。制备好的混合料靠自重从贮存器(5)，经设有电气传动装置(7)的闸阀(6)，沿三条管道(8)投入电弧炉内。这三条加料管道是从炉墙(9)与电极(10)之间引入的。

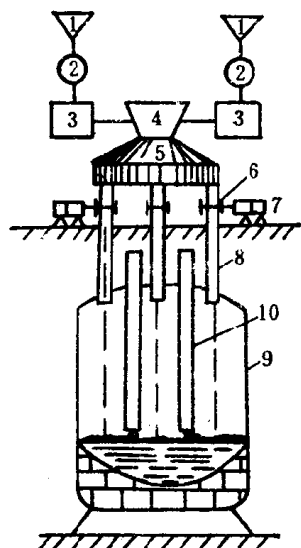


图2 等离子弧熔化设备布置示意图

这样布置车间的设备，不仅能克服上述缺点，而且还可以使配料投料过程和熔融过程同步化，减少了占地面积，设备与操作人员，提高了工艺流程的生产率，降低了产品成本。