

中频感应电炉操作技术讲座

第一讲 中频感应电炉的筑炉技术

763 B

洛阳矿山机械工程设计研究院 (河南 471039) 沈剑峰

中频感应电炉的坩埚是在一系列物理、化学作用条件下进行工作的。在工作过程中, 它要承受熔炼过程中的高温作用; 加料时, 金属炉料对其的冲击; 炉渣的化学侵蚀以及间断生产时所产生的急冷急热的温度变化等。使用中坩埚因裂纹、局部侵蚀和局部剥落等因素而造成损坏, 甚至引起“穿炉”。所以, 坩埚质量 (包括坩埚打制的质量和使用过程中的维护质量) 的好坏将直接影响生产的顺利进行。

一、坩埚的打制技术

1. 坩埚打制前的准备

(1) 打制工具 (见图 1) ①捣固锤。由钢板与圆钢焊成, 用来打结炉底和炉壁。捣固锤的锤头根据捣打坩埚不同位置而制成相应的形状, 如图 1a 所示为打结炉底用捣固锤, 图 1b 为打结炉壁用捣固锤。②捣固叉。见图 1c, 其作用是用来划毛已捣固好的打结表面, 使后续打炉料和已捣固好的打结表面在打结时能紧密结合。捣固叉由圆钢焊接制成, 制作时, 齿头不应太尖利, 以免划破、损坏石棉布等绝缘隔热材料, 造成打炉材料在坩埚打制或使用中的泄漏。此外, 为方便使用, 叉头最好具有一定的随形弧度, 以便划毛坩埚模边缘的炉衬。

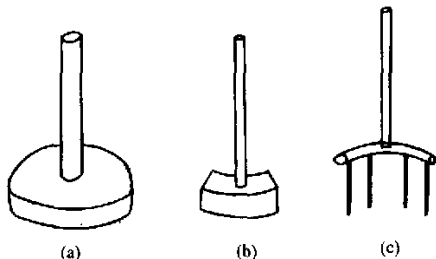


图 1 打制工具

(a) 捣固锤 (b) 捣固锤 (c) 捣固叉

(2) 坩埚模 坩埚模 (见图 2) 用于打结时形成坩埚 (炉膛) 的尺寸。根据其制做材料的不同,

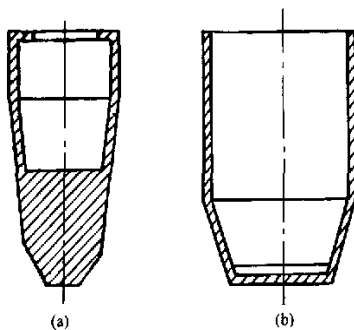


图 2 坩埚模

(a) 铸钢模样 (b) 钢板焊制模样

分为金属模与石墨模二种。①金属模。金属模由钢板卷制焊成或铸造而成。一般做成中空的, 根据使用状况, 又分为一次性金属模 (即炉子打结完毕, 坩埚模不必从炉膛中起出, 随同炉料一起熔化掉) 与永久性金属模 (即每次炉子打结完毕, 将坩埚模从炉中取出, 反复使用)。②石墨模。石墨模由石墨电极加工而成。主要是利用石墨模在烘烤、烧结过程中的感应加热作用, 充分烧结坩埚。但由于其不易取出, 一般不使用。

(3) 坩埚模制作时应注意的有关事项 坩埚模决定了坩埚 (炉膛) 的尺寸, 因而直接影响着坩埚的使用状况。若坩埚模圆度在坩埚打制时发生变形, 不仅不易取出, 而且会造成炉衬各处厚度不均, 从而影响坩埚使用寿命。如坩埚模尺寸设计过小, 则造成炉衬厚度过大, 坩埚厚层内的磁力线起不到感应加热的作用, 降低设备的电效率及功率因数 γ 值。若坩埚模尺寸设计过大, 则炉衬厚度不足, 会造成坩埚散热严重, 经受冲击的能力降低, 缩短坩埚使用寿命。因此, 坩埚模在制作时, 除了要具有准确的几何尺寸, 还应有较好的几何形状及外壳强度。为方便起模, 坩埚模应具有一定的锥度, 其外表面要无锈、光滑, 焊接处要尽量磨光。为便于烘炉时坩埚内气体的排出, 允许在金属模上均匀地钻一些 $\phi 3 \sim \phi 5 \text{mm}$ 的出气孔, 但不得影响



其强度。

(4) 隔热绝缘层 隔热绝缘层是坩埚炉与感应圈内壁之间的填充层,用以提高感应圈的耐压性能,减少炉子的热损失。通常用做填充层材料的有云母纸、石棉布、石棉板和玻璃丝布等。

2. 坩埚用材料

根据打结坩埚用耐火材料的性质,分酸性、碱性和中性三种坩埚用耐火材料。

(1) 酸性耐火材料坩埚 由于其主要化学成分为硅砂,所以不适合冶炼高锰钢、含铝及含钛的钢种。表1列出了常用酸性坩埚材料配比。制作酸性坩埚采用硼酸作粘结剂,加入量为1.7%~2.0%。硼酸的化学成分及粒度要求见表2。

表1 酸性坩埚材料组成(质量分数)

材料名称	炉衬材料			炉领材料			
硅砂粒度/mm	5~6	2~3	0.5~1	硅石粉	1~2	0.2~0.5	硅石粉
配比(%)	25	20	30	25	30	50	20

注:硅砂化学成分: $w_{\text{SiO}_2} = 90\% \sim 99.5\%$, $w_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \leq 0.5\%$, $w_{\text{CuO}} \leq 0.25\%$, $w_{\text{Al}_2\text{O}_3} \leq 0.2\%$, $w_{\text{H}_2\text{O}} \leq 0.5\%$ 。

表2 硼酸规格

名称	化学成分(质量分数)(%)		粒度/mm
	B ₂ O ₅	水分	
硼酸	7.98	0.5	<5

(2) 碱性耐火材料坩埚 碱性耐火材料坩埚适合冶炼铸铁、碳钢和各种合金钢。主要化学成分为镁砂。镁砂分冶金镁砂与电熔镁砂二种。表3列出了几种常用碱性坩埚材料的组成。要注意的是,在使用冶金镁砂时,应先经过磁选,消除其中的含铁杂质,保证坩埚的绝缘性能。冶金镁砂的化学成分见表4。制作碱性坩埚所用的粘结剂有硼酸、水玻璃等,其加入量见表5。

表3 碱性坩埚材料和粒度组成(质量分数)(%)

序号	坩埚材料组成		粒度/mm			
	冶金镁砂	电熔镁砂	5~20	3~5	1~3	<1
1	100	—	20	25	35	20
2	70~80	30~20	—	30	45	25
3	50~20	50~80	20	25	35	20

表4 冶金镁砂的化学成分(质量分数)(%)

MgO	CuO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO
>90	<4	<4	<1.5	<1.5

表5 碱性坩埚用粘结剂的加入量 (%)

名称	硼酸	水玻璃	粘土
硼酸粘结剂	1.5~2.5	—	—
水玻璃粘结剂	—	5	—
水玻璃-硼酸粘结剂	1	5	—
粘土-硼酸粘结剂	1.5~1.8	—	2~2.5

(3) 中性耐火材料坩埚 中性耐火材料坩埚适用于生产铸铁、碳钢和各种合金钢。主要成分为高铝矾土熟料。生产中采用特级或一级高铝矾土熟料。表6列出了几种常用中性坩埚材料的颧度组成。高铝矾土熟料技术条件见表7。

表6 中性坩埚材料组成(质量分数)(%)

序号	一级或二级高铝矾土熟料粒度/mm					
	10~13	5~10	1~5	1~3	1~0.088	<0.088
1	40	20	10	—	—	30
2	—	—	—	48	20	32
3	—	—	40	—	30	30

表7 我国高铝矾土熟料技术条件

化学成分 (质量分数)		限制	级别			
			特级	一级	二级	三级
Al ₂ O ₃ (%)			>88	80~90	60~80	60
Fe ₂ O ₃ (%)		≤	2.5	3.0	3.0	3.5
CuO (%)		≤	0.6	0.6	0.8	0.8
耐火度/℃		≥	1770	1770	1770	1770
吸水率 (%)	一等品	≤	5	5	5	5
	二等品	≤	7	7	7	7

制作中性炉衬时常采用磷酸(60%浓度)、水玻璃等作粘结剂,其加入量见表8。

表8 制作中性炉衬时粘结剂加入量 (%)

名称	硼酸	水玻璃	磷酸
硼酸粘结剂	1.5~2.5	—	—
水玻璃粘结剂	—	9~11	—
磷酸粘结剂	—	—	9~11

二、坩埚打结材料的混制及坩埚打结

1. 坩埚打结材料的混制

坩埚打结材料的混制是采用人工或机械将耐火材料和粘接剂充分混匀。坩埚打结分干法打结和湿法打结。采用坩埚干法打结工艺，制得的坩埚致密度高。但由于打坩埚时，粉尘较大，不利于操作者的健康，所以通常采用湿法打结工艺，即在混制坩埚材料时，加入适量的水。但应注意的是：加入水份以后，在烘炉时，由于水汽逸出而使炉衬的致密度受到影响，炉衬的干燥时间也需延长，同时还有损感应器的绝缘性能。

混制好的打结料可用手握成团，且不粘手，料团上留有清晰的手纹。

2. 坩埚打结工艺

(1) 炉子底部及上口砌耐火砖，砖缝 $\leq 2\text{mm}$ ，并用混制好的打结料填充。

(2) 彻底清除感应器表面的灰尘与细小的粘附铁屑，然后铺设隔热绝缘材料，并使其紧贴在感应器的内壁上，用胀圈胀紧。铺设时，避免隔热绝缘材料横向搭接，纵向搭接宽度应在 100mm 左右。

(3) 采用薄层加料，逐层打结工艺。随着炉膛直径的变化，每次加料高度约 $30 \sim 50\text{mm}$ 。捣固叉要能从上层插到下层。一次加料量如果过多，会使上下层交界处粗料富集，而出现分层。

(4) 加料时，尽量低倒，均匀分散、铺平。不可倒成一堆。

(5) 打结时，捣固锤垂直下捣，先轻后重，落点均匀，用力一致，保证打结处致密。打结致密的衡量标准是以捣固叉插入困难，手腕感到有明显反击力。打结过程中，不可将石棉布等隔热隔层损坏。

(6) 打完一层后，用捣固叉轻轻拨松打结层表面，然后再加入下一层打结料，继续打结。

(7) 打结炉底层时，先边缘后中心，有次序地逐排打结。

(8) 打完炉底层后，安装好坩埚模，做到安放平衡、端正。为防止坩埚模在打结时移动或上浮，在坩埚模定位以后，模内可放入压铁压紧，模的四周要用木楔楔牢。

(9) 打结炉衬时，先绕着模具外缘均匀打实，

然后，再逐次向外打结。打完一层后，用捣固叉轻轻拨松打结层表面（以利打结层上下层密结），然后再加入下一层打结料，继续打结。直至炉领处。

(10) 打结炉领与炉嘴时，为提高其烧结强度，抵抗金属炉料的冲击，可往打结料内再添加一定量的水玻璃粘结剂（一般加入量为 10% ）或添加粘土—水玻璃（加入量为 $20\% + 3\%$ ）作为粘结剂。

(11) 炉口、炉嘴用小锤锤实，用压勺压光、修平，靠坩埚内侧要留有倒角。

(12) 打结过程中，严防杂物（尤其是金属）掉入炉内。

(13) 连续打结，一次完成。

(14) 打结完毕，用压缩空气或刷子清除掉落在感应器表面上的灰尘、砂粒等杂物。

打结好的坩埚应是炉衬厚度均匀，各打结层密结，无偏层、分层现象，并具有一定的体积密度，且炉衬各部分都均匀一致。

3. 坩埚的烘烤、烧结

坩埚烧结就是通过使耐火材料的基体在高温下发生再结晶，使杂质达到最合理的重新分布，从而使坩埚成为一个整体，并且有合适的烧结结构及光滑的表面，以满足冶炼要求。

为达到上述目的，烧结时要求做到：低温缓慢烘烤，高温满炉烧结。使用的第一炉炉料应洁净、无锈且含杂质少。最好往炉内加入 5% 左右的碎玻璃，以使炉衬烧结成釉质表面。 250kg 中频感应电炉坩埚烧结工艺见图 3。

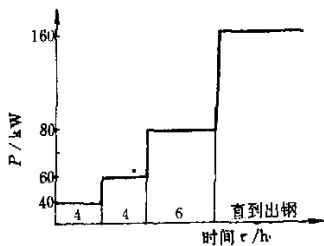


图 3 烧结工艺曲线

烧结好的坩埚应是烧结层占炉衬厚度的 30% ，最小应有 $10 \sim 15\text{mm}$ 。如果烧结层太薄，则无法承受加料时的机械冲击与高温时钢液的冲刷。反之，烧结层太厚，则往往会裂穿，（但应指出，很厚的烧结层是在炉子使用后期才会出现的），过渡层约



占炉衬厚度的30%~40%，作为缓冲层的松散层占30%~40%。

三、坩埚的日常使用和维护

1、坩埚主要的日常使用规范

(1) 坩埚使用初期烧结层很薄，任何机械冲击与强烈的电磁搅拌都会引起坩埚破裂。因此，不允许倒空炉内钢液再加料，以防加料时产生较大的应力冲击。同时采用适当的功率熔炼，避免过强的电磁搅拌损坏坩埚。

(2) 每次开炉前，严格检查坩埚情况，如坩埚的直径和高度变化、炉衬有无裂纹或损坏、炉底有无凹坑以及炉口、炉嘴是否损坏等。一旦发现坩埚损坏，应及时予以修补。

(3) 为减轻坩埚侵蚀，应使坩埚工作温度不超过钢液的出钢温度。锈蚀严重的炉料不要使用，回炉料上的型砂须清理干净后方可使用。

(4) 长期使用不经处理的硬水，会使感应圈内逐渐形成水垢，造成冷却水道截面积变小，冷却水流量不足，从而降低对坩埚的冷却效果。因此，要定期检查感应圈冷却水道畅通状况。如有堵塞，及时清理。如条件允许，最好对硬水进行软化处理。

2、坩埚的维护和修补

坩埚使用过程中，尤其是到使用中后期，每熔炼一

炉后，均应仔细检查坩埚状况，若发现裂纹或局部损坏，应及时进行修补。

坩埚维护和修补一般分为冷补工艺规范和热补工艺规范。

(1) 坩埚冷补工艺规范 开炉前，先将损坏部位的炉渣，残钢清理干净，将裂纹扩大呈60°的缺口，用水玻璃或硼酸水溶液刷一下，然后将混匀的打结料填入此处，用木锤打紧，最后将表面抹平，用随形的金属料块压好，再加入其余料块，即可送电进行生产。炉底的处理与炉壁的处理有所不同。当炉底出现凹坑需要修补时，首先铲除凹坑内的炉渣、残钢，然后将打结料填入坑内，用平锤打实。修补处高出周围炉衬20~30mm，打实后用刮板刮平，用比较平整的炉料压上，再轻轻地加入其他炉料，低功率送电烘烤。熔化一炉后，炉内需留有钢液，避免下炉加料时金属料块碰坏炉底。

(2) 坩埚热补工艺规范 对熔炼过程中出现的局部损坏，可采用热补工艺予以修补。其工艺要点是：将炉内钢液全部倾空，迅速清除掉坩埚损坏处的钢液和钢渣。将预先混好的补炉料填于此处，并迅速打紧，用随形的金属料块压好、防止后续炉料将其损坏。加入其余金属料块，送电烧结一会，就可继续进行生产。

(待续) (20020810)

(上接第12页)

中国焊接市场的繁荣、对中国企业的发展起到积极作用。外国人积极进入中国的现象说明中国市场大有可为，中国焊接行业的企业家们应自勉，努力迎头赶上，在中国焊接市场上中国企业要有立足之地，中国技术要发扬光大，要在竞争中独领风骚。

从上述情况可以看出，近年来中国焊接行业一直是沿着逆变技术不断发展，在与国外品牌竞争中不断提高国内企业竞争力的道路上前进的。中国焊接行业的前途就是要牢牢把握先进的东西，不断提升自己的水平，才能在困难中前进。

通过2002年北京·埃森焊接展，我们看到另一方面的问题，就是中国焊接市场并不大，年市场容量仅30多亿人民币，而国内焊机销量不到20亿人民币。这么小的市场，那么多的制造企业，无疑加剧了竞争的残酷性，随着产品的成熟和进步，以价格战为主的竞争正在蔓延，这种竞争是不可避免的。但这种竞争还会有一个较长的时间，焊机制造企业要充分认识这一点，只有经过市场洗礼之后中国焊接企业

进行整合，不断形成市场细分、强强联合、专业化发展的局面，竞价问题才能得以缓解，因此我们要正视这种局面，采取有效的措施，在竞争中取胜。

在国外品牌蜂拥而至，国内企业大打价格战的情况下，时代集团的对策是什么？

首先是继续高举逆变技术的旗帜，把逆变技术做深做透，做到高、精、尖，让逐渐成熟的逆变焊机成为中国用户的首选。IGBT逆变焊机曾以高技术产品的面目出现在中国用户面前，很快为独具先进意识眼光的用户所接受，并且陆续占据了中国的主导地位，随着成熟的逆变焊机从高技术新产品变为家喻户晓的通用产品，产品的成熟使企业间的技术差距、产品质量、产品成本、用户影响及售后服务等方面逐渐趋同，随之而来的就是价格战，这是一条不可避免的道路。

其次，把当前通用逆变焊机质量和服务做得比别人好，在扩大市场、拓展用户上下功夫，技术的成功和销售的成功都是不可或缺的，相比较而言，销售取得进一步的成功更为重要。我们要花更大的精力研究销售队伍建设

和市场运作，创造新的销售服务模式。

第三，不断推出新的高技术产品。我们已经推出单片机控制的脉冲气保焊机、DSP控制的氩弧和手工焊机、交直流方波焊机等一系列的数字焊机。数字化提高了产品一致性、适用性；数字化使焊机功能更强大，更容易满足用户个性化的需求，数字化更简化了焊机设计，使焊机改进速度加快。我想市场上总有很多用户对新的东西情有独钟，因此不断赢得高端用户的支持是我们存在和发展的法宝，是新技术企业生存的基础，我们要抓住创新不放松。当然新技术是层出不穷的，这就要求我们不断推陈出新，不断创造新品，我们必须走一条创造新产品将其变成通用产品，再创新产品再变成通用产品，再创新的路。

我们要永远靠创新、靠超前领先，包括产品开发和市场组织及销售服务模式，这是我们的基本战略原则。

中国的焊接市场前景是好的，中国焊接企业面对的境况是困难的，但是有志气的中国焊接企业要面对现实，找出自己发展的根本之路，我们一定会通过自己的努力振兴中国焊接事业。