

铁基结构另件的粉末冶金

许昌继电器厂 华南铭

铁基结构另件的粉末冶金在继电器厂应用较多，它可分为一般结构另件及高硬度精密另件二种，一般结构另件用低的密度或中等的密度就能满足产品技术要求，而高硬度精密另件，必须具有高的密度及小的孔隙尺寸才能满足高硬度（HRC53以上）高光洁度（▽9）等技术要求。

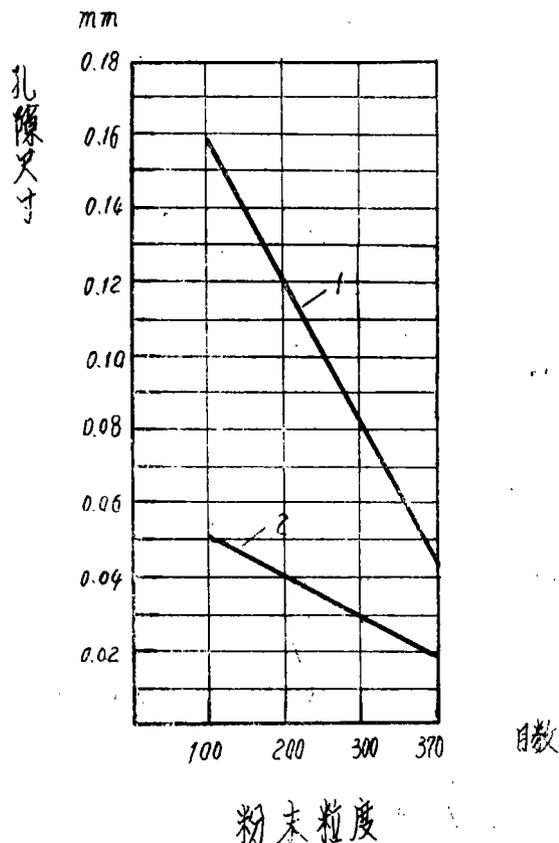
为了了解金属粉末，压制烧结规范及热处理等因素对粉末另件密度、硬度及孔隙尺寸的影响，我们根据多年来的生产实践及所作的试验简要总结如下：

一、粉末的选用

粉末颗粒的本质与性能对于整个粉末冶金加工过程及成品性能有着显著的影响。必须根据另件的要求及经济性来选用金属粉末，铁基结构另件我们是采用我国大量生产的铁鳞还原铁粉（退火铁粉），它的价格低廉（每公斤1.1—1.3元）压制性能较好，而对于有更好性能的电解铁粉及水雾铁粉由于国内没有大量生产所以没有采用。

（1）粉末粒度对孔隙大小的影响

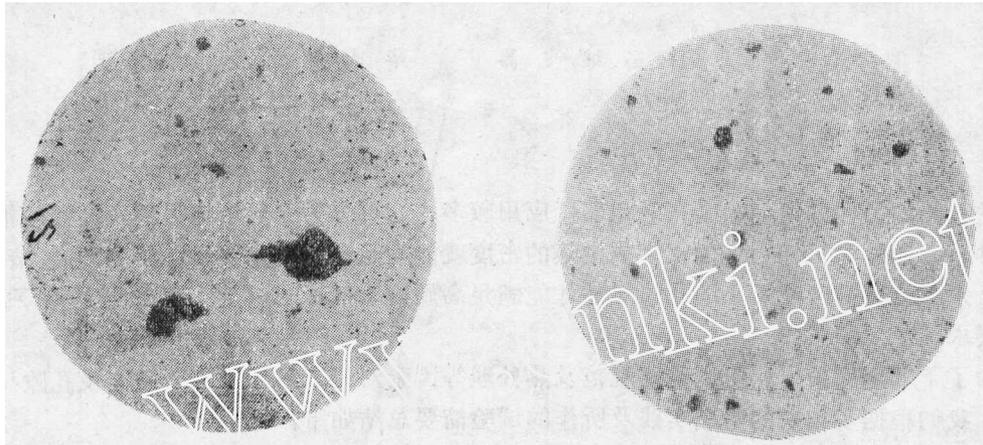
粉末颗粒的大小是一个重要的特性它影响到压制性能及烧结收缩，对于精密另件来说更重要的影响到粉末制品的孔隙尺寸，经我们多次试验表明，粉末粒度与成品孔隙尺寸成有规律的变化，即粉末粒度愈小成品孔隙尺寸亦愈小如图一所示，当铁粉为100目时最大孔隙为0.16mm而370目铁粉最大孔隙为0.04mm，因此粉末粒度的选择应当根据另件的要求而定，要求孔隙小的另件选用细粉末，反之选用粗铁粉。由于我厂另件采用毡轮抛光，另件表面非金属夹杂大部份被抛成孔隙，因此在检查另件的孔隙中亦包括这种非金属夹杂抛成的孔隙。细铁粉流动性



图一 粉末粒度对孔隙尺寸的影响
1—最大孔隙 2—一般孔隙
压制压力 $12T/cm^2$

差为了使加粉时能保持一定的流动性，液体润滑剂要用得少，而固体润滑剂必须使颗粒细化均匀否则将引起孔隙增大。

我厂一般结构另件采用80目粉加0.2%锭子油,0.3%硬脂酸锌。精密另件采用370目粉20#锭子油0.05%，硬脂酸锌为0.1%，100目铁粉及370目粉制件孔隙情况如图二所示。



1. 100目铁粉

2. 370目铁粉

图二 粉末冶金制件的孔隙（放大100倍压力 $12T/cm^2$ ）

（2）合金元素对孔隙大小的影响

我们还试验过加铜粉及镍粉来降低另件的孔隙尺寸，试验结果表明铁粉中加铜能显著的缩小孔隙，加铜2%最大孔隙为0.01mm（初复压力 $12T/cm^2$ 时），这显然是由于铜的加入造成液相烧结使孔隙尺寸减小，但是它降低另件渗炭淬火后的硬度，降低HRC3~4个单位，因此对于要求高硬度的另件加铜是不适合的。加镍亦能起到减小孔隙尺寸的作用，在铁粉中加2%的镍可使最大孔隙降至0.02mm，同时不降低另件渗炭淬火后硬度。但这方法在我厂没有采用，主要是因为在我厂采用370目铁粉已能使另件最大孔隙控制在0.04mm以内已满足我厂另件的要求，为了不增加成本故没有采用加镍的粉末。

二、粉末制件的初压

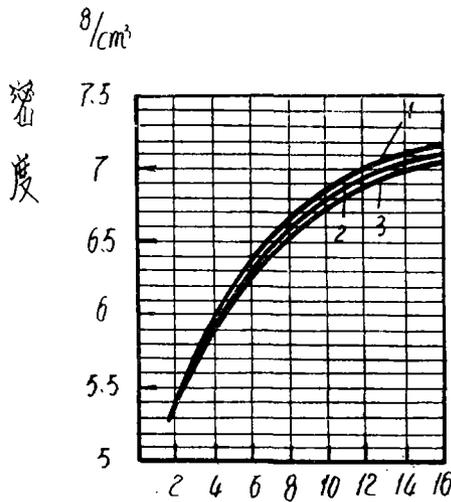
众所周知，粉末制件随着压制压力的提高密度增加，为了了解不同的粉末粒度在不同压制压力下对密度的影响，我们作了一些试验，试验条件如下：

1 试样尺寸为 $\varnothing 13.5 \times 2.5 \sim 3mm$

2 压制压力由 $2T/cm^2$ 增加到 $16T/cm^2$

3 粉末粒度采用（1）100目（2）50%100目，50%300目（3）300目三种铁鳞还原铁粉。

采用100目及300目混合粉的目的是企图用粗铁粉与细铁粉搭配获得高密度。试验结果如图三所示，从图中可看出，随着压制压力由 $2T/cm^2$ 增至 $16T/cm^2$ 密度也随之由 $5.25g/cm^3$ 增至 $7.1g/cm^3$ 三种粒度的铁粉得结果基本相似其中以100目密度较高，300目较低（密度相差 $0.15g/cm^3$ ），这是符合粉末愈细在同样压力下密度愈低的说法，从图中可看到企图用100目及300目混合粉来提高密度的想法，在初压过程中并未达到目的，混合粉的密度略低于100目铁粉。



曲线1—100目铁粉
曲线2—100目50%300目50%
曲线3—300目铁粉

初压压制压力

图三 初压压制压力对密度的影响

三、粉末制件的烧结

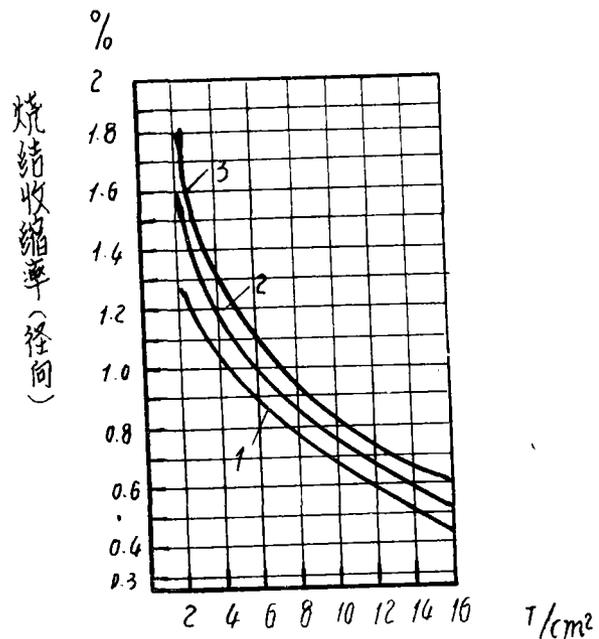
铁基结构另件的烧结在国内一般是采用含炭的木炭气或转化煤气来作为保护气体。而我厂是采用氢气或分解氨，这种气氛有脱炭作用，对于要求低碳的在继电器厂应用得非常广泛的磁性材料的烧结和处理来说是非常适用的。对于高密度铁基结构另件亦是有利的，因为烧结后柔软的纯铁组织非常有利于用复压来提高其密度和硬度。烧结规范为 $1150^{\circ}\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 保温1—1.5小时，烧结后的粉末制件普遍产生了收缩如图四所示，由图四可看到：

(1) 随着压力的增加收缩率减少，100目铁粉压力从 $2\text{T}/\text{cm}^2$ 到 $16\text{T}/\text{cm}^2$ 收缩率（径向）由1.25%降到0.35%

(2) 粉末愈细收缩愈大，100目，100目及300目混合粉及300目铁粉在 $12\text{T}/\text{cm}^2$ 压力下收缩率分别为0.575%、0.65%、0.7%，

以上二点符合铁基粉末制件烧结的一般规律。

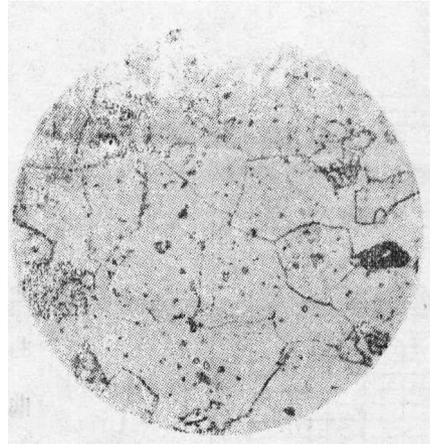
烧结后的显微组织如图五所示为纯铁体



初压压制压力

图四 压制压力对烧结收缩率的影响

1—100目粉, 2—100目、300目混粉, 3—300目粉



图五 烧结后组织纯铁体 (400倍) (压制压力 $12T/cm^2$)

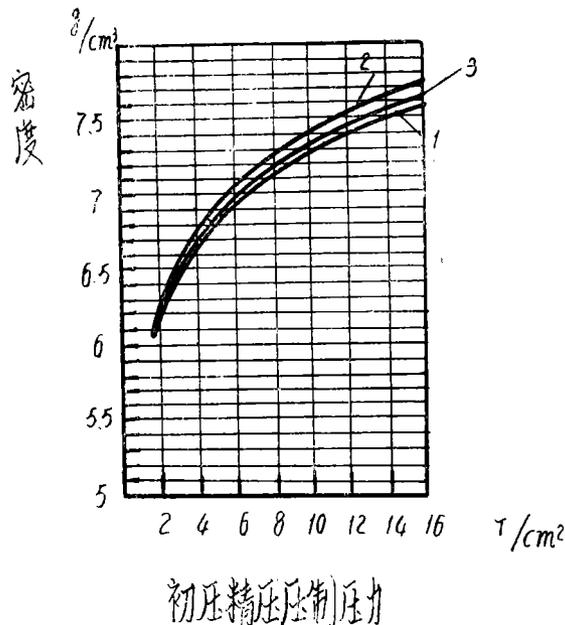
四、粉末制件的复压 (精压)

为了提高粉末零件的精度和密度在烧结后进行复压是必不可少的,我厂复压是与初压在同一模具中进行,复压的压制压力与初压相同,用锭子油作润滑剂。

(1) 压制压力对密度的影响,

由图六可看到随着初压复压压力的提高密度增加,100目铁粉制品压力由 $2T/cm^2$ 增至 $16T/cm^2$ 密度由6.5增至7.55。不同粒度粉末在相同压力下稍有差异,混合粉较好,300目次之,100目较低,在 $12T/cm^2$ 压力下密度相差 $0.15g/cm^3$ 。

由图六还可看到,要使粉末制件密度达 $7.4g/cm^3$ 以上,初复压压力必须在 $12T/cm^2$ 以上。



图六 初压精压压制压力对密度的影响

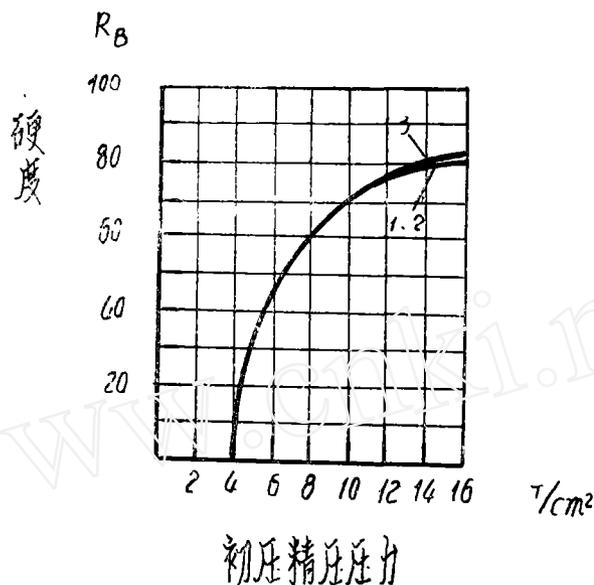
1—100目粉

2—100目300目混合粉

3—300目粉

(2) 复压后粉末制件的硬度、

由图七可见，随着压制压力的增加，制件的硬度也随之增加，初复压从 $4T/cm^2$ 增至 $16T/cm^2$ ，硬度值由 $H_{B2.5}$ 增至 H_{B80} 三种粒度的粉末制件硬度基本相同。



图七 压制压力对硬度的影响
1—100目粉 2—100目300目混合粉 3—300目粉

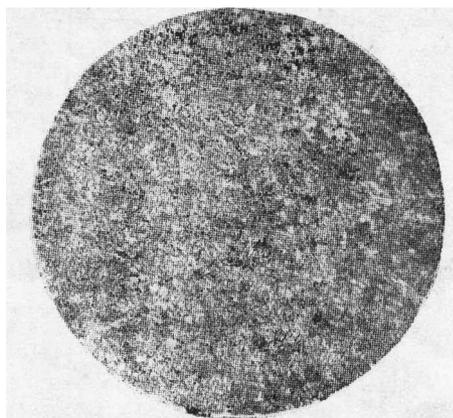
五、粉末制件的热处理及硬度

1. 热处理工艺

对于要求高硬度的粉末制件，必须进行渗炭淬火来达到，粉末制件在热处理前的组织为纯铁粉和孔隙，其热处理方法与一般低碳钢的渗炭淬火基本相同。

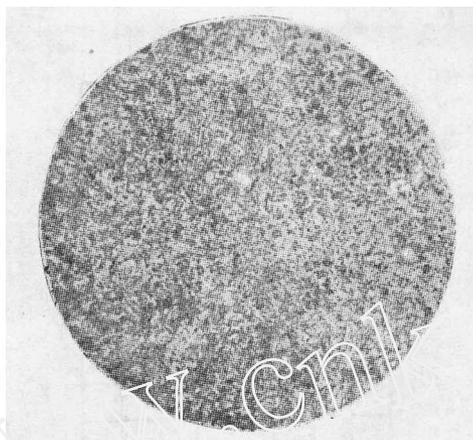
(1) 渗炭：粉末制件由于存在着孔隙，渗炭过程中渗炭气体易于深入内部而加快了渗炭速度，密度低孔隙多的另件渗炭深度加深，反之渗炭深度浅。

我厂是采用固体渗炭的方法，渗炭剂为木炭+3~5%碳酸钠，渗炭规范为 $930^{\circ}C5\sim6$ 小时，打箱冷却，渗炭后组织为细珠光体，如图八所示



图八 渗炭后组织细珠光体 (400倍) 压制压力 $12T/cm^2$

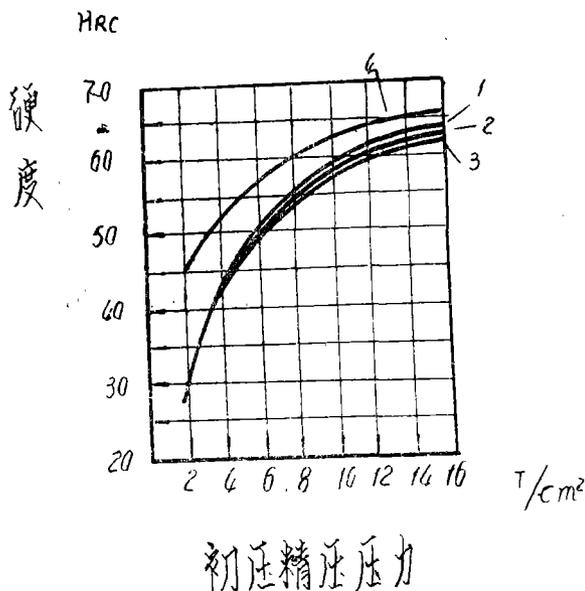
(2) 淬火：由于粉末另件存在孔隙，淬火加热在箱式电炉中进行，若在盐炉中加热进入孔隙的盐液清理不净时将使粉末制件生锈，淬火规范为 $800-810^{\circ}\text{C}$ 加热，在 $5-10\%$ 盐水中冷却， $170^{\circ}-190^{\circ}\text{C}$ 进行回火，淬火后组织为细针状马氏体如图九所示



图九 淬火后组织细针马氏体(400倍)

2. 渗炭淬火后粉末另件的硬度

粉末制件淬火后的硬度随着密度的不同而不同，密度高的另件淬火后的硬度亦高如图十所示，100目铁粉当压力从 $2\text{T}/\text{cm}^2$ 增至 $16\text{T}/\text{cm}^2$ ，淬火后硬度由HRC28增至HRC63.5，当压制压力在 $12\text{T}/\text{cm}^2$ 以上时硬度HRC可达60以上，三种粒度粉末硬度基本相同。



图十 压制压力对淬火后硬度的影响

- 1—100目粉
- 2—100目300目混合粉
- 3—300目粉
- 4—100目显微硬度

3. 粉末制件淬火后洛氏硬度显微硬度的差别

粉末制件由于其孔隙度的存在用洛氏硬度C检查时不能完全反映基体的实际硬度, 当用洛氏C(HRC) 150公斤负荷时压痕处及压痕周围的孔隙使压痕加深, 反映的硬度值就偏低, 为了在测量硬度时不受孔隙的影响, 我们用显微硬度进行检查负荷为200克避开孔隙进行测量, 其结果如图七曲线4所示, 由曲线4可以看到, 显微硬度普遍高于洛氏硬度, 100目铁粉压力由 $2\text{T}/\text{cm}^2$ 增至 $16\text{T}/\text{cm}^2$ 显微硬度由 H_v461-H_v946 即 $H_{RC}45-H_{RC}65.5$, 低密度时与洛氏硬度相差大, 而高密度时相差小, 在 $12\text{T}/\text{cm}^2$ 压力时相差 $H_{RC}1.5-2$ 个单位, 这种硬度值的差别对确定粉末另件硬度技术要求时是要适当考虑的。

六、铁基粉末另件的表面处理

由于粉末另件有一定的孔隙度对电镀产生一定的困难, 我厂对于不同密度的另件采用不同的方法。

1. 高密度另件

铁基另件密度大于 $7.3\text{g}/\text{cm}^3$ 以上, 从金相检查中可以看到孔隙呈孤立状态存在, 孔隙间没有连贯性如图二所示, 孔隙在另件表面是微小的凹坑, 所以在电镀过程中并不产生很大困难, 基本上可以和一般另件一样进行。

但是由于有孔隙存在及精密另件要求高的光洁度, 所以必须避免用酸过量的腐蚀, 淬火的另件在煤油及细磨料中进行串光能很好的清除淬火后另件表面的氧化层为电镀准备好良好的表面状态, 另件经除油及盐酸漂洗后不经过二酸酸洗就可以进行电镀。镀层我们是采用低锡青铜 $10-14\mu$, 镍 $3-5\mu$, 铬 $0.8-1.2\mu$, 电镀后的另件必须在热水中不加热直到清除孔隙中电镀液为止。

2. 低密度的另件

对于低密度的铁基另件电镀是困难的, 我厂是采用固体渗锌的方法, 渗锌层为 $15-30\mu$, 防腐性能达到技术要求。

七、结 语

1. 粉末粒度根据另件对孔隙尺寸的要求来选用, 要求孔隙尺寸愈小选用的粉末愈细, 100目铁粉最大孔隙为 0.16mm , 370目铁粉最大孔隙为 0.04mm (在初复压压力 $12\text{T}/\text{cm}^2$ 时)

2. 随着压制压力的提高粉末制件的密度增加, 初复压力为 $12\text{T}/\text{cm}^2$ 时密度可达 $7.4\text{g}/\text{cm}^3$ 以上。

3. 在相同的压制压力下, 不同粒度的粉末对密度及硬度没有显著的影响。

4. 随着压制压力的提高粉末制件的淬火硬度提高, 压制压力 $12\text{T}/\text{cm}^2$ 以上淬火后硬度达 $H_{RC}60$ 以上。

5. 密度大于 $7.3\text{g}/\text{cm}^3$ 的高密度粉末制件基本上可按一般另件进行电镀, 对于低密度另件我厂采用固体渗锌方法来介决防腐问题。