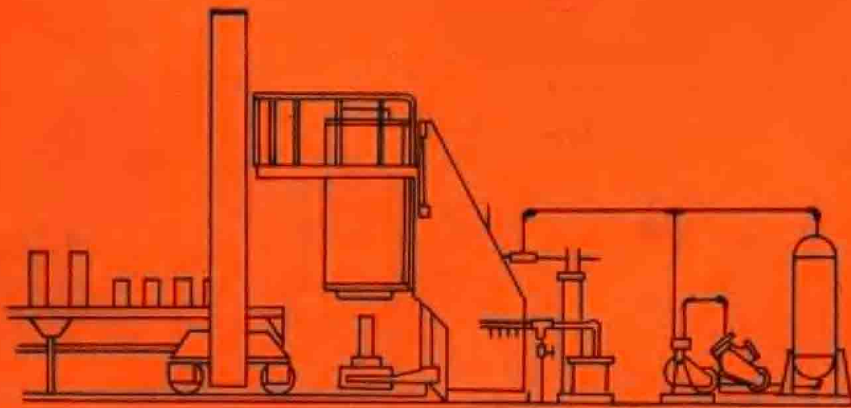


热等静压机及应用

冶金部钢铁研究院编



序 言

热等静压成型是近十几年来发展起来的一项粉末冶金新技术，它和雾化制粉、旋转电极制粉等先进工艺一起，给粉末冶金带来了新的广阔的前景。

热等静压成型，是继承和发展了传统的热压和冷等静压成型工艺。其工作原理是，在一个密闭的高压容器（缸体）内，装有加热炉和隔热屏，把予成型的粉末装入金属或玻璃包套（模具）中后，放入高压容器，然后打入高压氩气或氮气，气体被加热到所需的热压温度，这种高温高压气体，从各个方向均等地作用在予成型件的表面，使予成型件压缩和烧结成型，从而得到接近理论密度，晶粒细小均匀的高质量产品。

在热等静压出现以前，粉末制品的传统生产方法有两种：一种是将粉末进行压制后，再放入高温烧结炉中进行烧结；另一种方法是一次热压成型，即将粉末装入模具后，将其加热并用压头进行机械压制成型。这两种传统的生产方法虽然至今仍在不同的粉末生产领域中应用，但有着许多缺点。采取冷压—烧结方法，当用一般轴向机械压制时，粉末制品的尺寸和形状受到限制，高度与直径之比不能很大，压坯密度分布不均，而且模具的制造也是很复杂和昂贵的。虽然后来发展起来的冷等静压成型，克服了上述这些缺点，大大改变了粉末成型的面貌，但是，压坯还必须经过烧结工序才能制成最终产品，这不仅工序多、生产效率低，而且更重要的是产品质量仍不够理想，往往仍达不到完全致密化，而且在烧结时产生再结晶，晶粒比较粗大，性能受到影响。而采取传统的热压方法时，虽然一次完成了压型和烧结两个工序，但由于是单向机械压制，仍不能避免密度不均、尺寸受限制等缺点。

热等静压成型恰恰是克服了上述传统生产工艺的不足，具有独特的优点。

1、可以得到接近理论密度的粉末制品，强度性能较高。

2、粉末制品的形状、尺寸不受限制，能够制造形状复杂的部件。

3、粉末制品的晶粒细小，从而性能较高。这是因为热压所需温度低，是在再结晶温度以下进行的。

4、可以制造用传统方法不可能制造的难以成型的制品。总的来说，各种金属、陶瓷、金属陶瓷、复合材料等都可用热等静压法成型，应用范围很广。

5、生产成本在许多特殊领域内也是比较低的。

当然，事物都是一分为二的，热等静压设备比较复杂，投资较大，操作安全上也必须采取足够的措施等等，这些缺点随着工艺的不断改进，也将逐渐被克服，完全可以说，这是一种很有发展前途的粉末冶金技术。

国外从1955年建立第一台小型热等静压机，到现在为止的二十多年内，热等静压设备和工艺，以及应用范围，都得到很迅速的发展。在国外，瑞典等国有专门的公司生产热等静压设备，目前已能生产缸体内径1.5米，高4米左右的热等静压机，最大

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来赶上和超过世界先进水平。

要采用先进技术，必须发挥我国人民的聪明才智，大搞科学试验。

一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

的已达内径3米、高9米左右。缸体内的加热体及隔热屏不断改进，可以保证均热区很长，有效空间较大，温度波动不超过 $\pm 14^{\circ}\text{C}$ 或更低；采用了予应力钢丝缠绕的高压缸体和框架结构，安全可靠性地大大地提高；设备的自动化也不断加强，并且出现了快速热装料快速加压的等静压成型设备，大大缩短了生产周期。在热等静压成型工艺方面，也进行了许多研究，如采取各种方式的包裹方法，升温升压的各种不同方式，以及建立雾化制粉——冷等静压——热等静压成型作业线等等。

在热等静压成型的应用方面，也发展很快。开始用于核燃料部件的粘接，现在已广泛地应用于各种金属、陶瓷、金属陶瓷、金属—纤维复合材料的制备，以及固态粘结和铸造件的内部缺陷消除等。粉末高速钢、硬质合金、高温合金等，已处于工业生产规模，钛合金预计不久也将进入工业化。

在国外，美国、瑞典、日本、英国、西德等国，正在进行热等静压成型的研究，不断取得可喜的成果。我国遵照毛主席“独立自主、自力更生”的伟大教导，从1972年以来，自己设计和制造了内径为500毫米的冷—热等静压机，进行了钢丝缠绕缸体和框架的研制，许多单位正在进行各种尺寸的热等静压机的设计和制造，虽然研制工作开始得较晚，但已取得不小成绩和经验。我们相信，热等静压成型的新工艺，必将在我国开出灿烂之花，结出丰硕之果，一定会赶超世界先进水平。

为了使从事热等静压成型研制工作的同志，以及对热等静压的应用有关的单位，对热等静压机、成型工艺和应用现状有所了解，我们根据国外的一些报导，并结合我国的具体实践，编写了这本资料供参考。此资料基本定稿于1976年底，对最近一年多来发表的关于应用情况等资料未能编入，拟今后做专题报导。因此，这本资料只不过是做为对这一新技术的初步粗浅介绍。

由于我们的水平有限，收集到的资料不全，定有许多缺点和错误，望读者指正。

编 者

1977年

目 录

序言	(3)
第一章、粉末成型方法概述	(1)
第一节、粉末及粉末冶金	(1)
第二节、粉末的压制成型	(2)
一、压制过程的基本规律	(2)
二、粉末压制成型的一般方法	(6)
三、等静压成型方法	(7)
四、热压成型方法	(15)
第二章、热等静压机	(17)
第一节、热等静压机工作原理及发展概况	(17)
第二节、热等静压机的系统结构	(23)
第三节、热等静压机的缸体	(26)
一、缸筒	(28)
二、上塞和下塞	(31)
三、缸体塞头的油压传动机构	(34)
四、缸体支架	(35)
五、加热体	(36)
六、隔热屏	(40)
七、热电偶	(45)
第四节、框架	(46)
第五节、气体系统	(48)
第六节、冷却系统	(52)
第七节、油压系统	(54)
第八节、电器系统	(56)
第九节、热等静压机的安全问题	(58)
第三章、热等静压成型工艺	(60)
第一节、粉末压件的准备	(60)
一、选择包套的原则	(60)
二、包套方法	(61)
三、金属包套	(62)
四、玻璃包套	(72)

五、熔融介质包套.....	(72)
六、粉末向包套中的装填.....	(75)
七、装料筐和包套支撑.....	(76)
第二节、热等静压工艺参数的选择.....	(77)
一、热等静压成型的特点.....	(77)
二、热等静压工艺参数的选择原则.....	(78)
三、热等静压工艺参数举例.....	(79)
第三节、压力介质——氩气.....	(83)
第四节、热等静压成型周期.....	(86)
一、先加压后升温的成型方式.....	(86)
二、先升温后加压的成型方式.....	(88)
三、边升温边加压的成型方式.....	(89)
四、热装料热压成型方式.....	(90)
五、热装料快速加压成型方式.....	(92)
第四章、热等静压成型方法的应用.....	(94)
第一节、应用概况.....	(94)
第二节、粉末高速钢.....	(96)
第三节、硬质合金.....	(111)
第四节、高温合金.....	(123)
第五节、难熔金属.....	(131)
第六节、铍.....	(135)
第七节、钛.....	(142)
第八节、陶瓷材料.....	(145)
第九节、金属陶瓷材料.....	(152)
第十节、不稳定电子材料.....	(158)
第十一节、压力粘接.....	(158)
参考文献.....	(165)
附录一、压力单位换算表.....	(168)
附录二、°F—°C温度对照表.....	(168)
附录三、常用标准筛.....	(169)
附录四、硬度换算表.....	(170)
附录五、世界各国热等静压机概况.....	(173)

第一章、粉末成型方法概述

第一节、粉末及粉末冶金

粉末是制取粉末制品的基本原料。采用不同的金属粉末、合金粉末、非金属粉末，以及金属陶瓷粉末等，可以制成各种相应的粉末材料。

我们通常所说的粉末，指的是由无数粉末颗粒组成的集合体。

粉末颗粒可能是单晶体，也可能是多晶体。其形状和大小与粉末制取方法有关。粉末颗粒度一般在0.1—1000微米(μ)范围，小于0.01微米的粉末称做超细粉末。粉末颗粒的形状有球形、近似球形、海绵状、树枝状、盘状、纤维状等。粉末的制取方法有机械研磨、还原法、电解法、羰基法、雾化法、旋转电极法等多种，其中后二种方法，是近年来发展起来的新工艺，粉末质量及生产效率都比较高。

粉末颗粒的结构一般不是完整的，常常有晶格歪曲，内部有气孔、裂纹、镶嵌块、滑移块等，粉末颗粒表面凹凸不平，常常吸附一层气体、水分、氧化物等。

由无数粉末颗粒组成的粉末，既无象固体结晶那样的致密性，也没有象胶体那样的流动性，而是介于致密体和胶体之间的固体，具有独特的性能：

1、粉末由不同颗粒度的粉末颗粒组成，粉末的粒度用粒度分布来表徵。粉末颗粒具有个体孤立性，它们之间的距离往往大于分子引力作用范围，其位移和变形能力与邻接的颗粒无关。

2、粉末颗粒之间只有一小部分表面相接触，为不完全接触体。它们之间的接触，是通过表面的杂质间层而实现的。在接触表面集中很大应力，但就整体粉末而言，结合强度很小。

3、粉末颗粒之间的接触表面，受外力和温度的作用而增大，因此，可以把压型和烧结，看作是增大粉末颗粒接触面，从而提高了粉末部件的强度和密度。

4、粉末颗粒之间有很多空隙，对未压制的粉末来说，孔隙所占的体积一般为粉末总体积的70—85%。颗粒之间的孔隙为贯通的（毛细管孔隙），而每个颗粒内部的孔隙，可能是敞开的，也可能是闭合的。

5、粉末的比表面（单位体积或重量的表面积）很大，金属粉末可高达0.01米²/克至几十米²/克，即表面自由能很高。表面吸附和聚集许多气体、水汽、氧化物、污垢等杂质。

粉末冶金是从粉末制取成品部件的冶金方法，其工序一般包括制粉、压制和烧结。将粉末装入模具，用机械压制或等静压制等方法压成一定形状，然后在烧结炉中烧结，制成最终产品，机械热压和热等静压方法，是把压型及烧结两个工序合而为一，同时进

行压制和烧结。

关于制粉及烧结，可参阅有关书籍和资料，这里不予叙述，下面将主要概述一般粉末成型方法，重点介绍热等静压成型。

粉末冶金方法和一般的熔铸加工方法比较，有以下显著的特点：

1、粉末冶金所用的原料是颗粒很小的粉末固体，而熔炼方法所用的原料是大的块、棒状等固体，这些一般也都是熔炼而成的，由于在制造过程中，金属从液态冷却为固态速度较慢，晶粒之间的夹杂、偏析以及气体杂质等，是很难排除干净的，因此，必须将影响最后产品的质量。而用粉末做原料时，采用如雾化法、旋转电极法等制粉工艺，可以使冷凝速度很快，得到纯度很高的粉末，从而可以保证粉末制品的高质量。

2、粉末压坯的烧结温度，低于粉末的熔点（一般小于 $0.8T$ 熔点），而熔铸方法的熔炼温度都要高过材料熔点以上。这一差异决定了：难于用熔炼方法制取的高熔点金属材料（如W、Mo等），可以较容易地用粉末冶金方法制得；粉末制品的晶粒度一般比铸锭要小很多，性能较高；粉末制品由于不象熔炼制品那样与炉膛中的耐火材料接触，避免了沾污以及在冷凝过程中的成分偏析、晶间夹杂等缺陷。

3、粉末制品（热等静压制品除外）的孔隙较多（一般占5—15%），而熔炼加工制得的成品可以接近理论密度。在大多数情况下，这是粉末制品的重大缺点，但在特殊情况下，由于粉末冶金方法能控制孔隙度，可以生产各种多孔材料，如多孔过滤器、多孔含油轴承等。

4、粉末冶金方法有很大灵活性，可以生产用一般熔炼加工方法难以制造的产品。例如，可以生产钨——铜假合金的电接触材料，WC—Co硬质合金，W—UO₂等金属陶瓷材料，Ni—ThO₂弥散强化材料，纤维强化材料，多孔材料，金属—非金属摩擦材料等。有些产品，如高速钢，用熔炼方法生产因偏析严重，晶粒粗大，性能不好，而粉末高速钢则克服了这一缺点，性能大大改善。钨、钼等高熔点金属及合金，虽然用大功率真空电弧炉、电子束炉等熔炼方法可以制造，但在其后的锻、挤、轧等加工过程中，成品率及生产效率都低，而用粉末方法则显示出优越性。

5、粉末冶金方法制造各种部件，切削加工量小，比熔炼方法收得率高，成本低。

6、粉末制品的尺寸和形状有一定限制，在小批量生产时，要建立一整套制粉、压型、烧结设备，成本是较高的，粉末制品的某些性能，如韧性也相对较差，但随着粉末冶金工艺的改进，特别是雾化、旋转电极制粉和热等静压成型方法的出现和发展，给粉末冶金带来新的前景。

第二节、粉末的压制成型

一、压制过程的基本规律

1、粉末压坯的组织结构变化

粉末是不完全接触体，在压制之前，其松装密度很低，粉末颗粒之间有很多孔隙，孔隙度占50%以上，甚至高达90%。压制成型后，粉末压坯密度增加，孔隙减少，颗

粒之间的接触面积增大，组织结构发生明显的变化。这一变化，基本上可分为两步：

①粉末的位移

粉末松装在模具中时，颗粒不是均匀排列的，而是如图 1—1—*a* 那样，形成“拱桥”，颗粒之间形成较大的孔隙，在外加压力的作用下，粉末颗粒首先产生位移，颗粒填充这些孔隙，趋向较有规则的排列（如图 1—1—*b*），粉末颗粒的位移是很复杂的，可能有颗粒间的靠近和远离、颗粒的滑动和转动，以及颗粒的挤碎而靠近等等。

②粉末的变形

外加压力不断作用的结果，继续使粉末压坯的密度增加，这主要靠粉末颗粒的变形来实现。变形首先是在颗粒表面不平的棱角和凸峰接触面开始，因为在这些地方接触面很小，外加压力很容易超过其塑性变形的临界应力，而产生变形，形成了多面体形状；接触面增大，如图 1—1—*c* 所示。外界压力进一步加大和传递，使粉末颗粒进一步变形，接触面继续加大，形成扁长形结构，如图 1—1—*d* 所示。当然，上面讲的是对塑性金属而言，对于脆性金属（如钨、钼），将在变形过程中产生脆断。当外加压力进一步增加时，由于粉末变形产生的加工硬化，使变形难以继续进行下去，所以，冷压成型是达不到完全致密化的。

上面谈到的组织结构变化是很近似的，实际上，位移和变形常常同时进行，是一个很复杂的过程，只能说在外加压力初期，主要是位移，后期主要是变形。

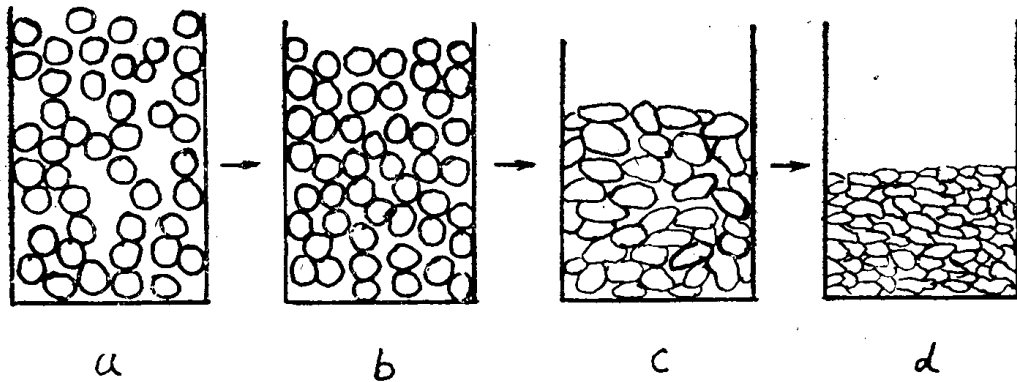


图 1—1、塑性金属粉末压制时的组织变化示意图

2、粉末压坯密度与压制压力的关系

粉末压坯的密度，与压制压力不成直线关系，而如图 1—2 所示。对脆性粉末而言，大致可分为四个区域。

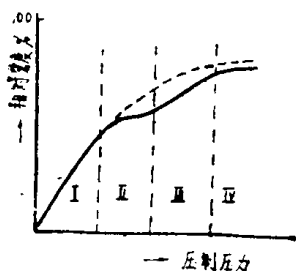


图 1—2、粉末压坯密度与压制压力的关系

在第 I 阶段，随着压制压力的增加，粉末压坯的密度增加很快，这是因为粉末颗粒以位移为主，填充了颗粒之间的空隙。

在第 II 阶段，压力提高则密度变化很小，这相当于粉末颗粒间的孔隙已填满，但大量形变还未开始的阶段。

在第 III 阶段，由于粉末产生变形，随压力的增加密度也上升。

第 IV 阶段，当粉末变形到一定程度，产生加工硬化，外

加压力虽然继续增加，但不足以超过塑性变形的应力，密度基本不再提高。

对于塑性粉末来说，第Ⅰ阶段不明显，而如图中虚线所示，开始密度随压制压力变化很快，逐渐变化速度减小，最后密度达到一定值就基本上不随压力增加而变化了。

3 粉末压坯的密度分布

采用钢模轴向压制粉末时，粉末压坯的密度分布是不均的，对于单向压制（图 1—3—*a*），压坯沿高度的分布是：接近压头的上部密度最高，底部密度最低。对于双向压制（图 1—3—*b*），沿轴向的密度分布是，上下两端密度高，中间密度低。而采用等静压制时，粉末压坯各向受力相等，因此密度分布是均匀的（如图 1—3—*c*）。

为什么采用轴向压制方法时，粉末压坯的密度分布不均呢？这主要是由于粉末与模具的摩擦造成的。以单向压制为例来说，外加压制压力消耗在两方面：一是使粉末位移、变形和克服粉末的内摩擦，使压坯密度增加，这是有用的“净压力”，另一部分力则用来克服粉末与模具内壁之间的摩擦力，产生压力损失，显然，越远离外加压力的地方，则压力损失越大，净压力的传递越困难，就是说，有效压力沿压坯轴向的分布是与压坯的高度（*H*）与直径（*D*）之比（ $\frac{H}{D}$ ）有关的，有人得出以下公式：

$$N_1 = N_c - 8 \frac{H}{D} u \xi$$

式中、 N_1 —模底受的力

N —上模压制力

u —摩擦系数

ξ —与粉末孔隙有关的参量

H —粉末压坯的高度

D —粉末压坯的直径

一般 $u\xi = \text{常数}$ ，与压制力无关。

可见， $\frac{H}{D}$ 越大，则 N_1 越小，因而粉末压坯的密度也就越小。密度变化与 $\frac{H}{D}$ 之间是呈指数关系的。这也就说明了，在一般轴向压制时，压坯不能做得太长，采用单向压制时， $\frac{H}{D} < 1$ ；采用双向压制时， $\frac{H}{D} < 3$ 。

为了减少压件与模具之间的摩擦阻力，常常在粉末中混入甘油，硬质酸铅等润滑剂。

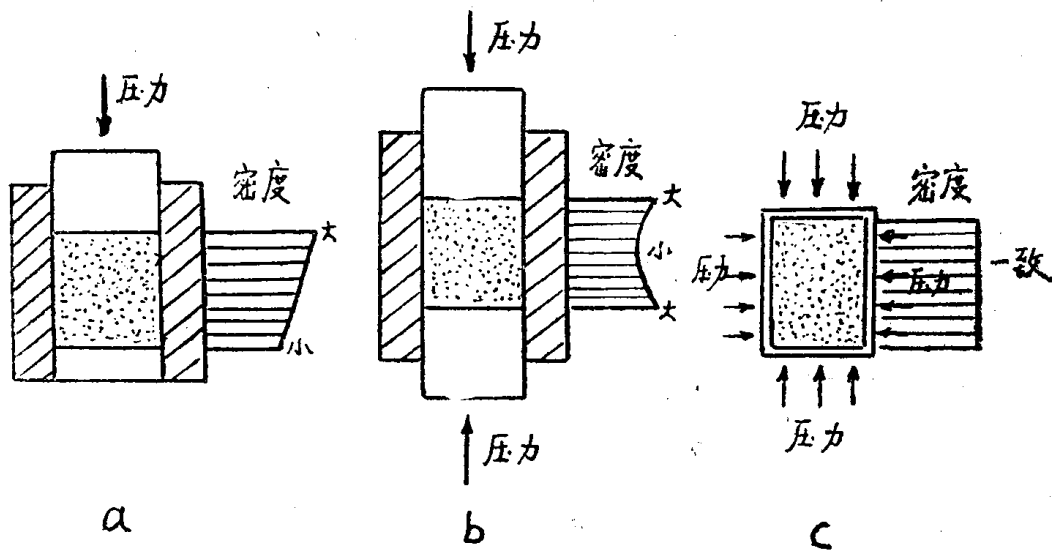


图 1—3、粉末压坯密度分布示意图

a—单向压制 b—双向压制 c—等静压制

4、压坯的弹性后效

粉末压坯当压力去除和脱模后，由于内部弹性内应力的松弛，粉末压坯产生弹性膨胀，称为弹性后效。由于弹性后效引起的压坯尺寸增大，在高度方向可达 5—6%，径向可达 1—3%，脆性金属粉末的弹性后效通常比塑性金属粉末为高。

弹性后效往往造成压坯的开裂和分层，特别对于脆性粉末压件、复杂形状的压件，更要注意采取有效措施，例如，在设计模具时，在压模的脱模端，设计 1° 左右的圆滑过渡喇叭口，可减少弹性后效的危害。

弹性后效与粉末的性质（颗粒大小和形状，氧化物含量，颗粒硬度）、压制力大小以及润滑情况等有关。

5、各种因素对压制过程的影响

①粉末性质的影响

颗粒度：都是很细和很粗的粉末压制性差，大小粉末混合的有一定粒度组成的粉末压制性好，得到压坯密度高，弹性后效也小。

颗粒形状：球形粉末压制性好，压坯密度高，多角形次之，树枝状和针状粉末较差，但压坯强度则与此相反，复杂形状的粉末，由于机械咬合作用，强度较高。

硬度：硬度低的粉末易压制，压坯密度、强度都高，弹性后效小。

杂质含量：颗粒中的氧化物含量太多（对铁粉 $O_2 > 1\%$ 时），则由于氧化物又硬又脆，使压缩阻力增加，难压制。

②润滑剂的影响

粉末中加入适量的甘油、石蜡、石墨、硬脂酸等润滑剂，可以减小摩擦系数，防止压模磨损，防止粉末松散，因而改善压制性，得到压坯的密度高。

③压制条件的影响

加压速度和保压时间，对小制品影响不显著，但对尺寸大、形状复杂、粉末流动性差的粉末坯件，减慢加压速度和延长保压时间，将使压坯密度增加。

加压方式对压坯质量影响很大，如前面所述，单向压制时，得到的密度小，且不均匀，双向压制时情况好一些，而等静压制，可以得到最高的密度，密度分布也均匀。

二、粉末压制成型的一般方法

1、模压成型

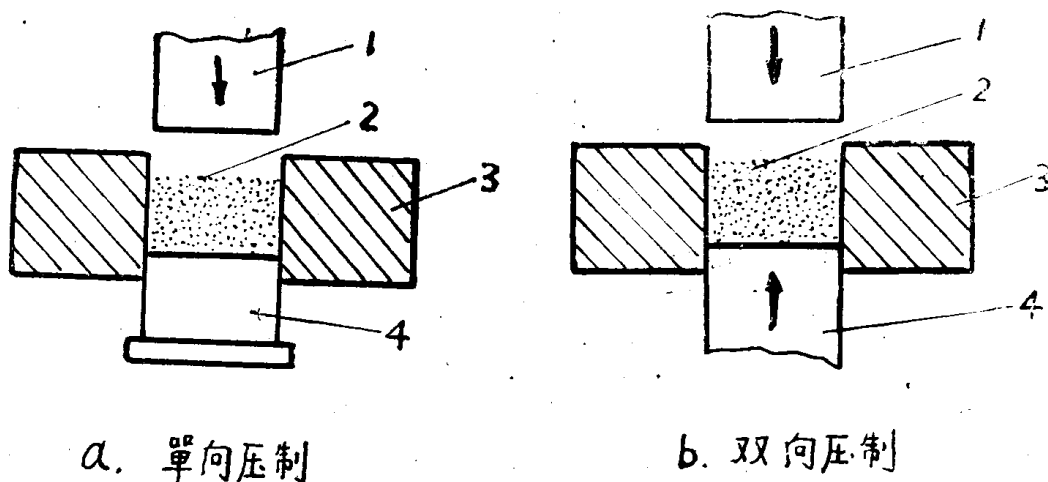


图 1—4、模压成型示意图

- 1—上压头
- 2—粉末
- 3—模具
- 4—下压头

这是广泛应用的传统压制粉末坯料的方法，设备为油压机或机械压力机。

将粉末装入模具中，靠上压头和下压头运动，将粉末压制成型。如果只上压头运动，而下压头不运动，则称为单向压制，如图 1—4—a 所示。如果上下两个压头同时加压，则为双向压制（图 1—4—b）。

当压件高度（H）与直径（D）之比， $\frac{H}{D} < 1$ 和高度与模具壁厚（ δ ）之比 $\frac{H}{\delta} < 3$ 时，可用单向压制方法。而当 $\frac{H}{D} > 1$ ， $\frac{H}{\delta} > 3$ 时，就要采用双向压制，这样才能保证粉末压件的质量。

2、振动成型

将粉末装入模具后，同时加压和振动，而制取粉末压坯。振动方法有机械振动、电磁振动、超声波振动等。

振动成型和模压成型相比，压制压力可以大大减小（减小10倍以上，甚至减小100倍多），这是由于振动的结果，使粉末与模壁以及粉末之间的摩擦力减小，有利于粉末充填孔隙和移动，同时振动也起到压力积累作用。

振动成型用得不够广泛，在许多情况下密度不够理想，但对多孔材料或其它特殊用途，还是有许多应用。

3、爆炸成型

在密闭高压容器中，利用火药爆炸产生的高压和振动波，均匀地传给粉末而成型。这种方法设备简单，得到的压坯密度高（镍粉可达98%理论密度），可以生产尺寸大、形状复杂的制品，某些难以成型的粉末部件也可用此法制造。

4、电火花成型

工作原理如图1—5所示，利用在两个电极之间的火花放电，把电能转变为压能，通过液体介质把压力传给压头，而将粉末压实成型。电能是可以调节的，从而可以控制所需要的成型压力。这个方法现在很受重视，正在进行研究。

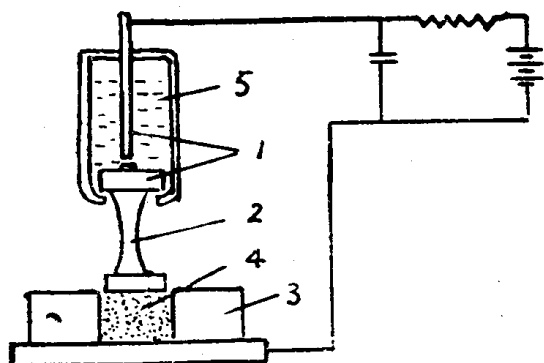


图1—5、电火花成型示意图

1—电极 2—压头 3—模具
4—粉末 5—液体介质

5、粉浆浇注成型

将粉末预先制成悬浮状或浆糊状物质，然后注入石膏模中成型。这是陶瓷工业的一种古老方法，从六十年代开始大量用于金属制造方面，可用这种方法生产难熔金属、不锈钢和各种硬质化合物的坩埚，多孔材料等，也可用此法制成粉末半成品（如带材），烧结后进行冷轧。

6、挤压成型

将粉末与增塑剂混合后，放入挤压筒

中，在活塞杆的推力下而从模具孔中挤出。这与一般的挤压机工作情况是一样的。可用来生产粉末棒材、管材等。

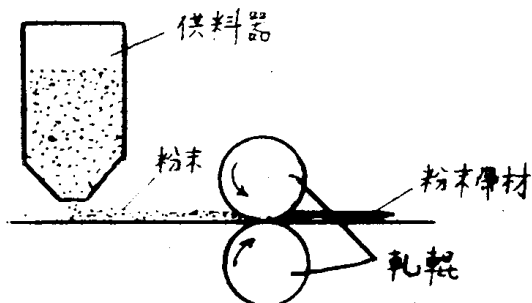


图1—6、粉末轧制示意图

7、粉末轧制成型

将粉末直接通过轧辊而制成粉末带材、细棒等。图1—6为其原理图。

粉末轧制设备简单，可一次成材，生产率较高，所制得的粉末带材各向同性。但一般只能生产小尺寸的产品。

三、等静压成型方法

1、工作原理及特点

将粉末装入橡皮模具，一起放进密闭的缸体，用高压泵将液体介质（油或水+5%油）打入缸体。根据巴斯克原理，压力将均等地作用于液体所及的表面，这样，压力将通过液体介质，均等地作用在粉末件各个方向，实现等静压制，使粉末致密化。图1—7为等静压原理图。

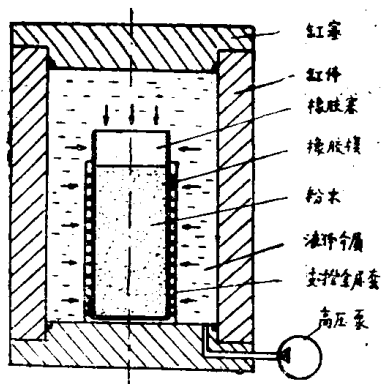


图 1—7、等静压成型原理图

等静压成型方法，和上边所讲的一般压制成型相比，具有一系列特点：

①等静压成型的粉末部件密度高，比单向和双向模压成型情况一般要高 5—15%，见图 1—8。

②由于压坯各方向受力一致，密度分布均匀。

③压坯的尺寸和形状范围很广，可制造长度与高度之比很大，外形复杂，总尺寸很大的粉末制品。

④一般不需在粉末中添加润滑剂或粘结剂，或者只加少量即可，这样简化了制造工艺。

⑤等静压成型采用橡皮模，制造容易，成本低，

而模压法制造钢模是一个很繁琐昂贵的工序，等等。

因此，等静压成型近二、三十年以来，得到迅速的发展，瑞典、美国等国家，已经建立了大型等静压机，缸体内径 1.4 米、内高 3 米以上，压力可达 6000 公斤/厘米² 或更高。

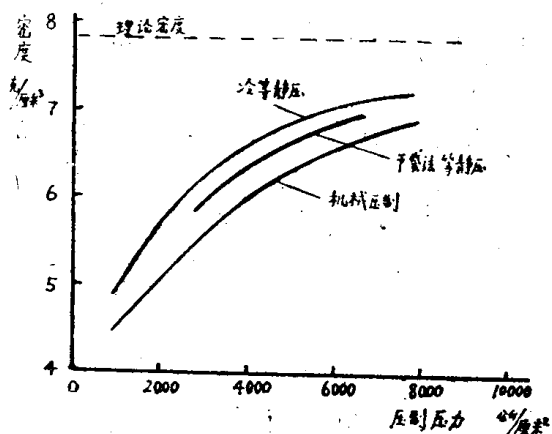


图 1—8、不同方法压制铁粉所得密度的比较

2、等静压机类型

根据等静压工作温度的条件不同，可分为：

①冷等静压机（一般简称为等静压机）：用液体作压力介质。当压力在 4000 公斤/厘米² 以下时，用水 + 5% 溶性油较好，这样模子不必清洗，可连续用。但也可用油；在 4000 公斤/厘米² 以上，为了使油压部件有良好润滑一般都用油。压制是在室温下进行，不另行加热。

②温等静压机：和冷等静压一样，压力介质用液体，但在 80—100℃ 左右下压制，这样

就需要将液体介质加热，或者采用在缸体外加热液体的办法，也可在缸体内装有加热设备。

③热等静压机：用惰性气体（氩或氦）作压力介质，在较高温度（一般在 1000℃ 以上）压制，在缸体内装有加热炉。我们将在本书下几章详细介绍。

冷等静压成型方法，基本上有两种：湿袋法和乾袋法。相应地等静压机的结构也不同。

①湿袋法等静压成型：上面图 1—7 所示的就是湿袋法。将粉末装入塑性袋（可用橡胶、尼龙、聚氯乙烯等制造），这个塑性袋直接放入液体压力介质，和液体相接触，因此称湿袋法。这种方法可任意改变橡皮袋形状和尺寸，制品灵活性很大，适宜于小规模试验性生产。但每次要进行装袋、卸袋操作，生产效率不高，不能连续进行大生产。

②干袋法等静压成型：如图 1—9 所示，橡皮袋（加压橡皮模）是事先放在缸内的，工作时不取出，把粉末或者装入另外的橡皮袋（成型橡皮袋）后，一起放进加压橡皮袋内，（图 1—9—a），或者如在成型坩埚时那样，将粉末从上面通过进料斗，送至

加压橡皮袋和心棒之间的空隙（图1—9—b），总之，是与液体不相接触的（有加压橡皮袋相隔），因此称为干袋法。这种方法可以实现连续操作；把上盖打开，从料斗装料，然后盖好上盖加压成型，出料时，把上盖打开，通过底部的顶棒把压坯从上边顶出去。（见图1—10），操作周期短，适用于成批生产，但显然产品规格受限制，因为加压橡皮模是不经常换的。

现在大量使用的，主要是湿袋法，因此我们下面介绍的是湿袋冷等静压成型。

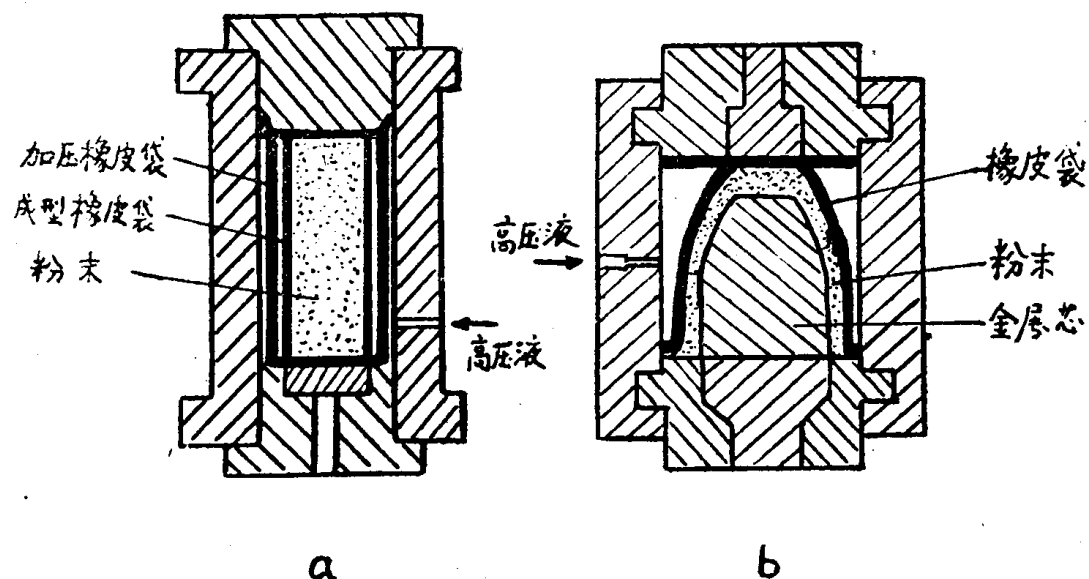


图1—9、乾袋法等静压成型示意图

a—生产粉末棒材
b—生产粉末坩锅

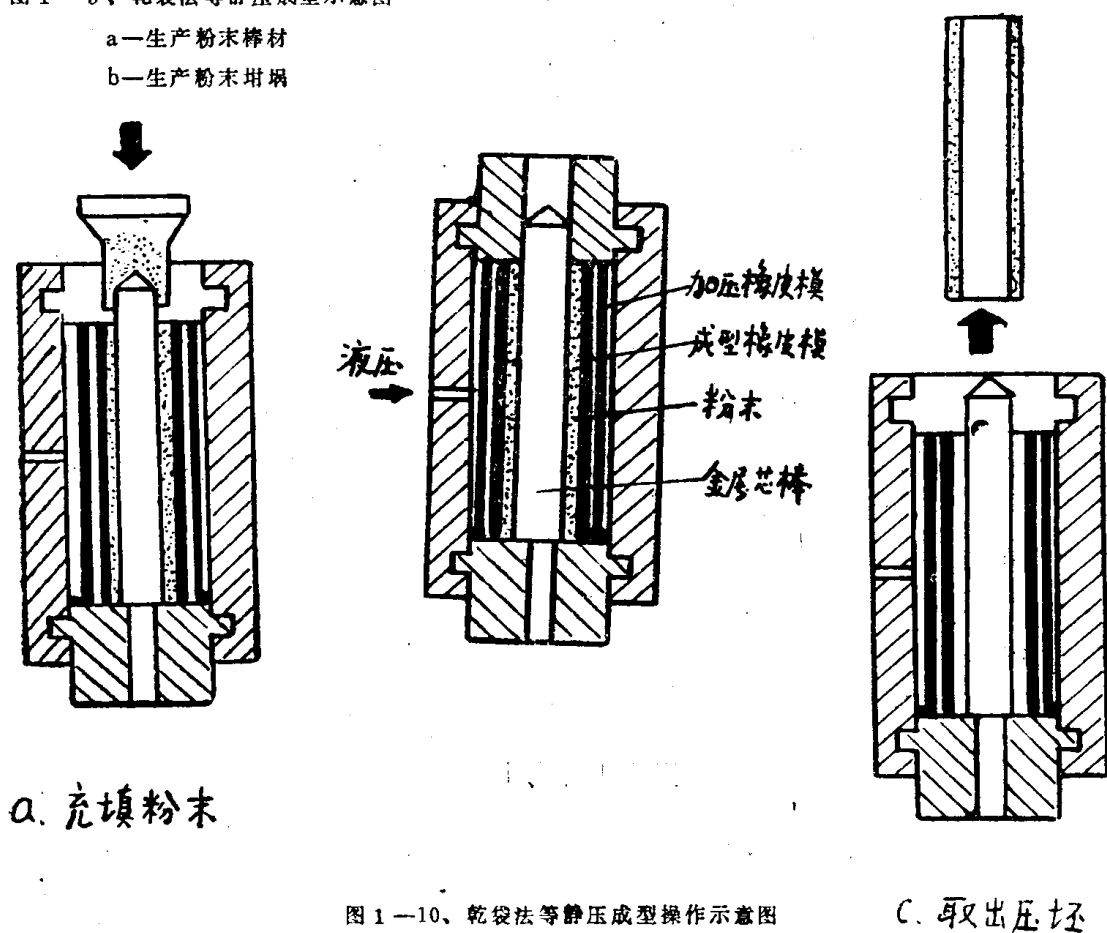


图1—10、乾袋法等静压成型操作示意图

c. 取出压坯

3、等静压机结构

等静压机主要由高压容器（密闭缸体），高压泵，以及高压阀门、管道、高压表等辅助设备组成。

(1) 缸体：

缸体是压制粉末坯料的高压工作室，必须要有足够的强度和可靠的密封性。

缸体的结构，常用的有两种形式：

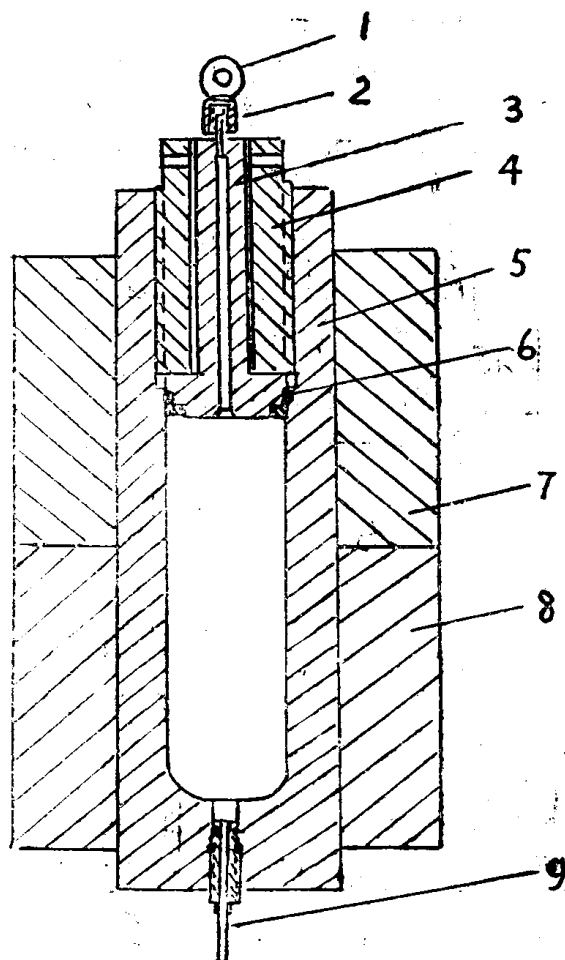


图 1—11、螺纹式等静压机缸体

- 1—提升环；2—螺母；3—密封塞；
4—压紧螺母；5—缸筒；6—橡胶密封圈；
7、8—加固钢箍；9—液压介质入口

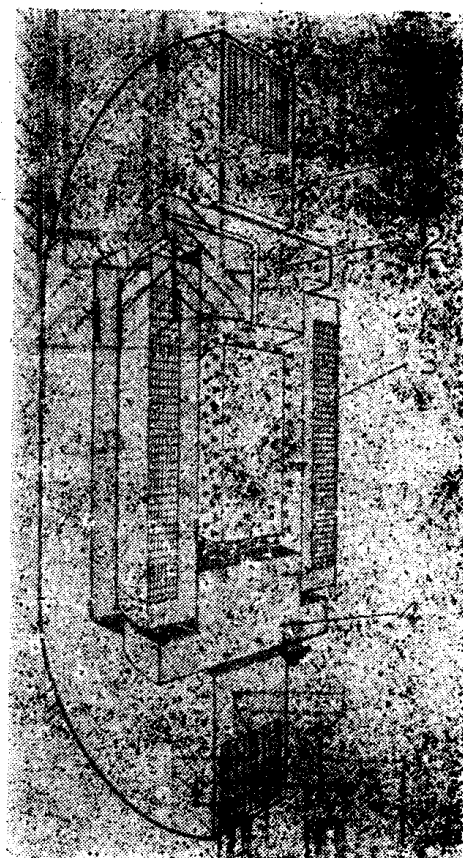


图 1—12、框架式缸体结构示意图

- 1—绕丝框架；2—上塞；
3—绕丝筒体；4—下塞

①螺纹式结构：如图 1—11 所示，缸筒是一个上边开口的坩埚状部件，为了安全可靠，在外面常热装加固钢箍，形成双层缸体结构。缸筒的上口用带螺纹的上塞连接和密封。缸体内加压后，径向压力由筒壁支承，而轴向压力由上塞压紧螺母与缸筒的螺纹连接来承受。这种结构制起来较简单，但螺纹易损坏，安全可靠较差。

②框架式缸体：如图 1—12 所示，缸体的结构为一个圆筒，或用高强度钢制成，或采用绕丝结构；圆筒内上、下塞是活动的，无螺纹连接，缸体的轴向力靠框架来承受。这样，避免了螺纹结构的应力集中，工作起来安全可靠，对于缸体直径大、压力高的情况，更具有优越性，但是显然，需要有一个很重的框架，投资较高，但现在常采用两个缸体共用一个框架，就比较合理了。

框架可以是固定式的，缸体移近和移出（如图 1—13）。也可以缸体固定不动，而框架装在一个小车上来回移动（如图 1—14）。图 1—13所示的框架，是用钢板叠焊固定而成的，而图 1—14所示的框架是用钢丝缠绕的。钢丝缠绕式结构安全可靠，重量轻，比较优越，在下面第三章中将做具体介绍。

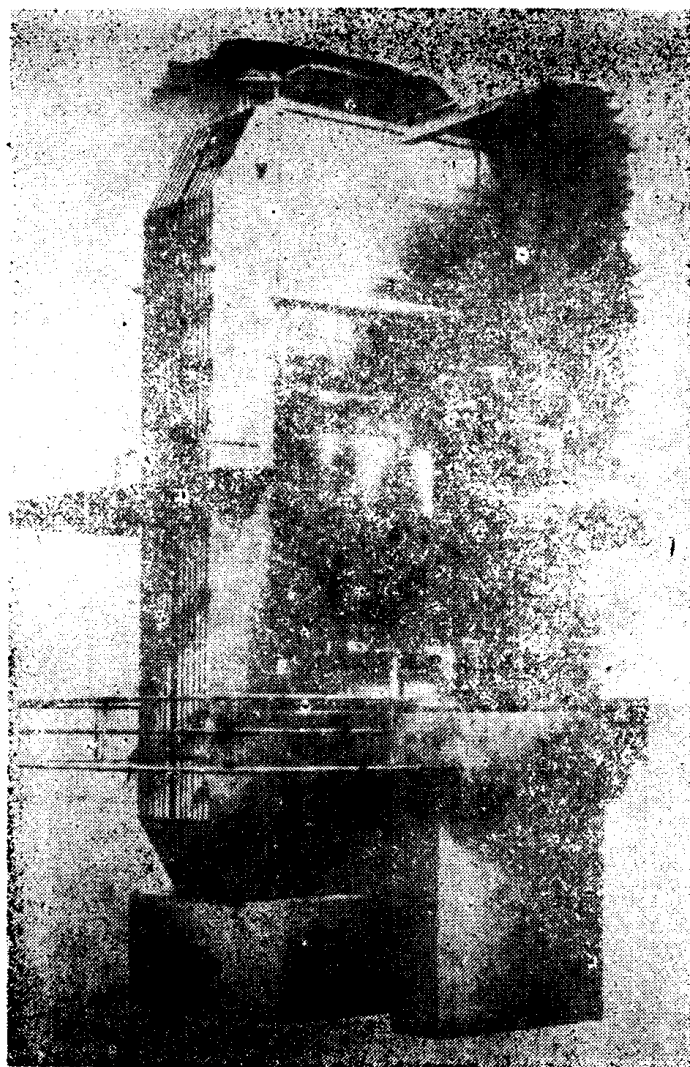


图 1—13、固定框架式等静压机

缸体内腔中一般没有其它设备，只要充灌液体传压介质就行了。在工作压力4000公斤/厘米²以上，用油作压力介质时，为了使装粉末的橡胶袋不和油接触，减少每次清洗的麻烦，在缸体内可放入一个密闭装置，使装粉末的橡胶袋仍然沉在水中，与密闭装置外的高压油隔离，如图 1—15所示。这个密闭装置用钢板焊制而成，下面带有一个塑性橡胶袋，一方面传递外面油压，而达到内外压力均衡，另外也起密封作用。在这密闭装置的上面装有一个夹紧的顶盖，顶盖有孔可通水进去。密闭装置可在缸体外准备好再放入缸体，这样可以缩短工作周期。