

等静压技术的新发展

王忠亿

(北京粉末冶金研究所)

[摘要]本文对近年来在等静压制技术领域内出现的新动向进行简单介绍。内容包括四个部分：1. 准等静压制工艺的特点及应用；2. 冷等静压制技术中的新方法及其优越性；3. 几种包套成形新技术；4. 有关等静压设备的新发展。

自1913年Madden方法^[1]以专利形式首先引出冷等静压技术及1955年美国Battelle研究所介绍热等静压技术以来，等静压技术在科研开发和大规模生产方面的发展非常迅速。近年来，国际上涌现出不少有关等静压的新工艺及新设备。本文仅对此略加介绍。

一、准等静压技术

最近，陆续有文章^[2, 3]报导了进行准等静压制的尝试和实验结果。该技术最大特点是：可避免采用昂贵的等静压设备而以普通机槭式压机或液压机为手段，创造出类似等静压制的条件和获得接近100%理论密度的制品。

其过程简述如下：将粉末预成形，放入有颗粒状传压介质的刚性模中进行加热。将加热的刚性模放入普通压机模腔内，由压机压头轴向一次加压。然后将刚性模从压机中脱出，倒出作为传压介质的颗粒以备重复使用。将压后的成品进行冷却并测量其尺寸。对粉末预成形坯密度的要求以在搬运过程中不出现裂纹为准。预成形坯的密度必须均匀，可以采用模压、冷等静压、注模、滑铸等工艺制造粉末预成形坯。作为传压介质的颗粒的性质，在压制过程中起关键作用。如果希望有效地传送压头的压力，介质颗粒须彼此可以滑动。如介质颗粒传压效能好，则通过它传送到预成形坯上的横

向压力越高，粉末预成形坯的受力状态越接近于等静压制情况，制品的密度及均匀性也越高。

准等静压制的优点是：只采用普通压机进行轴向压制，借助于传压介质颗粒的滑移作用，使制品得到类似于热等静压制的密度及性能。一次冲程就可以得出一件制品，而且由于压头冲程速度快不需保压。故用准等静压制工艺生产制品远比热等静压制工艺快。而且普通压机的设备成本比热等静压机系统低得多，模腔也比较简单。因此其制品成本大大下降。准等静压工艺在某些场合可以取代热等静压制工艺。

目前，美国加里福尼亚州的金属工业公司已经采用准等静压工艺用低合金钢(1000、2000、4600)、420不锈钢、镍基高温合金、钛合金、铝合金、难熔金属钨、钼等材料制成致密而形状复杂的制品。

二、冷等静压新技术

冷等静压工艺一般分为湿袋法和干袋法。两种方法各有特点。湿袋法具有普遍适用性。不同尺寸、形状和不同材质的模袋可以放在同一压力缸体内经同一周期压成。由充填粉料到脱模全过程中，每个压坯使用自己的模袋，故尺

寸精度比较可靠。其缺点是：模袋在每个生产周期后要进行全部拆卸清洗，干燥以后才能重复使用。既花费劳动量又占用过多工时，影响生产率和成本。此外湿袋法要想达到完全自动化也是很困难的。而干袋法，从充填粉料到脱坯，都可以进行机械化、自动化操作，省去拆卸模具、清洗、干燥、组装模具的繁琐步骤。其缺点是，在大多数情况下，全自动化干袋压制，只能使专门设计的压机为单一制品服务，而且制品形状必须尽量简单。如果改变制品形状、尺寸，用在更换半永久性模具的时间将很长。另外，模具内部的橡胶袋长期反复使

用，没有弹性复原时间，影响制品形状的精确程度及缩短模袋的寿命。

最近由 National Forge Europe 的 J. Japen 提出 DRISO (注册商标) 的革新方法^[4]。该法集中了湿袋法和干袋法的优点并避开其缺点。E. L. J. Papen 和 L. Colman^[5, 6]等人也先后发表了有关论述文章及实践此法的专利。据介绍，DRISO 法可以在一小时内生产45个到60个零件；零件尺寸可达直径250mm，长度350mm，压制压力约 2000kgf/cm^2 。其结构示于图1。图中：1为压力缸体；2为压力隔膜；3为嵌入式模袋；6为模基。

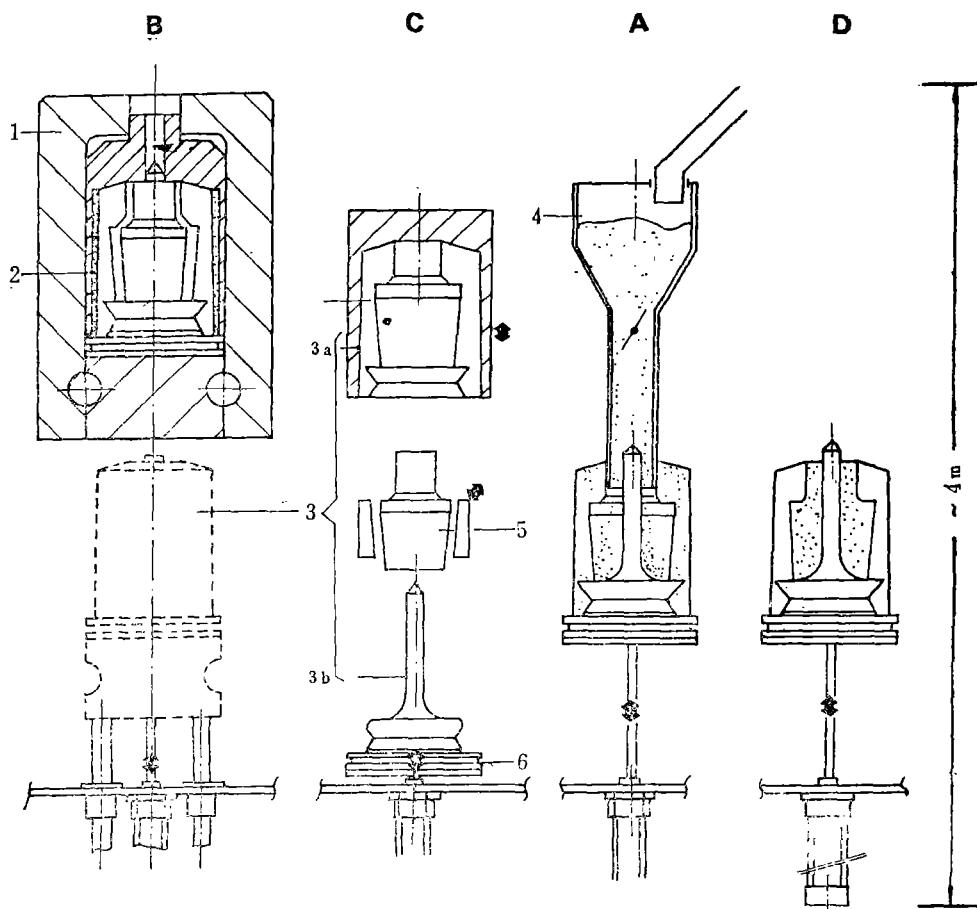


图1 DRISO法示意图

其工作原理是：在压力缸体1内部牢固地装了一个压力隔膜2；2之内部为嵌入式模袋3；3通过可移动的模基6而保持在2中位置上。不同的被加工件有不同的模基6。弹性嵌入件3a用来传送液体压力；对于空心制品，可以采用3b类型的嵌入件。

在每一压制周期中，整体嵌入模袋3并和模基6一同装入或移出压力缸体1。当向压力缸体1装料或卸料时，隔膜2将传压液体封住，以防止它接触模袋3。

可以同时安装几个相同的嵌入式模袋3在不同的工位上面（见图2）。在整个压制过程中，各工位A、B、C、D上的嵌入模袋3分别完成不同程序的工作。即：假如A工位模袋3正在压力缸体中被加压；则B工位上的模袋3可能正在充填粉料；而C工位上的3正在进行清洗和干燥；同时D工位上的3可能正在脱模等等。每当完成一个步骤，各工位自动向下一工序过渡。因此，使得压制一件制品占有压力缸体的时间大大缩短，生产率则明显提高。

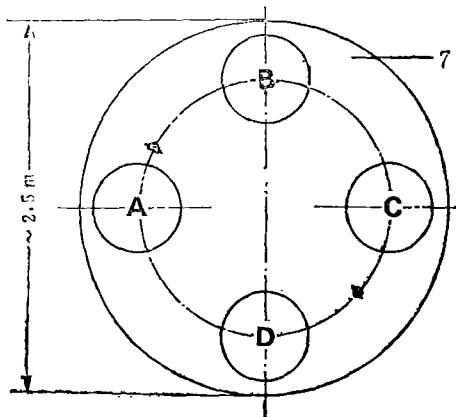


图2 DRISO工位图

如果生产周期当中步骤多的话，还可以根据需要增加工位。

DRISO法的主要优点是：

- (1) 对较大制品，有可能实现全自动化；
- (2) 生产率高；
- (3) 每一个嵌入模袋3在一个生产周期中要先后经过几个工位才进入压力缸体中受压。

这就使得它有机会进行复原，因此模子寿命将延长；制品的形状和尺寸也更稳定；

(4) 一经发现模袋3报废，可迅速在工位上进行更换而不影响整个自动化过程。

三、热等静压包套新技术

各种金属包套以及玻璃包套在热等静压工艺中已为人们所熟悉。最近，有不少文章和专利介绍了制造形状复杂的制品的金属包套方法。

一种是：用可熔性金属合金取代石蜡，浇入、喷入或用鼓风机吹入包套原模之中，制出雏形。再进行电解涂层。涂层金属的熔点应比雏形材料之熔点高^[7]。

另一种是复杂形状的双层包套：复盖于坯上的第一层材料是传压性材料。它的厚度只要支持得住第二层复盖层即可；复盖的第二层是金属材料；两层总厚度要足以自持，并且对外部气体压力形成一层不透气的壳。双层包套的优点是：松装粉末密度达到50%即可，而采用其它金属包套必须要求松装密度或预成形坯密度达到70%左右^[8]。

还有一种是电解沉积包套法：包套由电解沉积金属于芯轴上面形成。然后溶化掉芯轴材料而留下空心包套。芯轴可以用铝做。采用氢氧化钠溶液进行溶解。进行电解沉积的金属是镍。由于电解沉积时金属优先沉积于阴极边、或角的地方，因而芯轴可以制成复杂形状^[9]。

四、有关等静压设备的新发展

1. 螺纹式缸盖的改进

采用螺纹式缸盖的压力缸体，其结构远比采用框架浮动式缸盖简单。但出现螺纹会导致缸体上螺纹部分产生应力集中和负荷不能均匀的弊端，因而大大降低缸体的疲劳寿命。目前，国际上有很多改进的尝试，介绍其中比较成功的两例：National Forge Europe的J.Papen提出在缸体内壁向螺纹过渡处采用长短轴比为

4:1的抛物线过渡曲线，提供一个挠性区，而使应力集中和附加弯曲应力分散开来(见图3)。另外，如果想使轴向负荷能比较均匀分布在在整个螺纹上面，可以把螺纹加工出不同螺距，也就是使缸盖和缸体螺纹表面之间产生不同间隙，使最上部螺纹成为受力最大的表面。一旦压力缸体工作，应力按习惯趋向于分布在最下几圈螺纹处。这二者之中和，有可能造成轴向负荷均布于整个螺纹上面^[10, 11]。

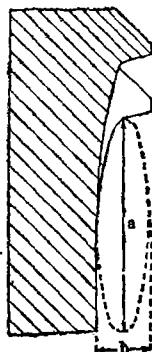


图3 螺纹过渡曲线

2. 美国Autoclave 提供的两种新型热等静压小型试验设备^[12]

一是Microlab—Ⅱ型。此设备可产生4200kgf/cm²的压力，比普通HIP设备压力高出一倍。并且可以产生2200℃的高温，用微处理机进行控制。该公司还提供一种 Micro—Ⅲ型高温、低压力HIP研究设备，多用于硬质合金、陶瓷、工具钢、钛、铝、高温合金、塑料及浸渗材料之研究。可进行真空烧结和低压烧结。

3. Conaway公司提供CPSI HIP系统

该系统有两个突出的优点：一是使用插入式组合炉子，炉子可以迅速带着制品装入缸体或由缸体中移出；二是采用计算机控制^[13]。

4. 日本神户制钢厂为改进产量，建议采用两种新的HIP系统：一为底装料塞入式炉子。炉子与下缸盖相连。两个炉子供一个压力缸体使用。可以使工件在缸内储留时间降为普通HIP系统所需时间的一半。二为有效绝热层。因为绝热层影响到加热和冷却速度。而速度快慢与

生产过程成本紧密相连。为了获得合理的绝热性能及使绝热层的厚度不致过大，神户制钢厂改进了钟罩形结构的外形，并利用组合碳材料(石墨、挠性石墨片和碳纤维)作绝热材料。使用这种材料的关键在于解决好组合而又不引起热损失。

5. Ultra Temp. Corporation为硬质合金工业提供了Sinter/HIP 新工艺及设备。可以在一个设备中完成脱蜡、烧结、HIP液相烧结硬质合金过程，明显减少劳动量和因搬运工件难免出现的刮伤损失。全过程所费时间与普通真空烧结硬质合金的周期相同。

烧结可以在真空或保护气氛下进行。而HIP在Ar气下进行。设备水平放置，有三个独立控制炉区。炉温可达1600℃。全负荷时只有约2℃左右的温差。

它无需添加比普通真空烧结炉更多的设备，也不需要防爆保护。其成本只是普通HIP炉的几分之一，其操作成本与同尺寸真空炉相同。采用微处理机控制^[14]。

该公司提供0.028m³、0.17m³和0.28m³三种不同容量的炉子。其中最大的设备一炉可进行500kg硬质合金的操作。由于可以排除硬质合金中的孔隙和有效控制含碳量，所得产品质量很高。而且在毛坯阶段和最后HIP阶段之间，毛坯不移出炉外因而避免与氧相遇；此外粉末中不会进入碳颗粒，也不会磨伤毛坯边角。所得制品形状和密度都是最佳的。

6. 英国专利报导了采用陶瓷作隔热屏，加热元件卧于陶瓷砖槽内的装置。它可达到约1000℃以上及500个大气压力的工作条件^[15]。

7. 比利时的欧洲锻造公司提供了一种新型缸体保护性措施“保护屏障”。在缸体发生爆炸时，保护屏障可以吸收缸体突然释放出来的能量。其结构基本是一种非绕丝缸体的外部围栏结构。当缸体操作正常时，此“屏障”不承受应力作用，一旦缸体破坏，其破碎片的总能量大约等于释放的总膨胀能，直至使缸塞破

- [14] US Patent 4398702, Aug. 1983
- [15] UK Patent 1537563, April, 1976
- [16] A·A·Minnebo and H·O·B·Raes, Isostatic Pressing Technology
- [17] US Patent 4217087, Aug. 1980
- [18] Metal Powder Report, 85—88, 1981

NEW DEVELOPMENT OF ISOSTATIC PRESSING TECHNOLOGY

Wang Zhongyi
(Beijing Research Institute of Powder Metallurgy)

ABSTRACT This article gives a brief introduction of new trend of isostatic pressing technology in recent years. The following four parts are:

1. The features and applications of psuedo isostatic pressing technology.
2. The new process of cold isostatic pressing technology and its advantages.
3. Several new forming techniques by using capsules.
4. The new development of the isostatic pressing equipment.

第四届全国金属粉末学术会议在成都举行

第四届全国金属粉末学术会议于1985年6月3—7日在成都举行，参加这次会议的代表来自全国21个省市，共计111名。中国企业管理学会理事，国家科委冶金新材料组副组长高杰同志以及成都市人大、冶金局、金属学会等领导出席了会议。

会议共收到学术论文63篇，其中理论研究10篇，铁粉工艺研究8篇，铁精矿还原铁粉研究6篇，合金钢粉研究10篇，有色金属粉末研究13篇，金属粉末应用研究5篇，设备及测试技术3篇，标准讨论3篇，综述3篇。在大会和分组会上宣读的论文近30篇。

这次会议是在全国进行经济体制改革的新形势下召开的。会议就我国粉末冶金生产特点如何适应经济改革的要求进行了讨论。由于市场需要显著增加，金属粉末生产出现了迅速发展的新形势，产量、质量、品种显著提高，其生产和研究已在国民经济各部门受到普遍重视。但是，目前其数量、质量和品种均不能满足国民经济发展的需要，因此，代表们希望武钢引进的大型二次还原炉装置和鞍钢引进的西德水雾化铁粉装置早日建成。

有色金属及合金粉末在我国应用范围较广，各地就有色金属粉末生产做了不少工作，对硬质合金用的钨粉和电容器用的钽粉质量组织了技术攻关，并取得良好效果。非晶和微晶粉末发展极为迅速，今后需加强科研，尤其是铜、铝合金粉末的研究，并制定有色金属及其合金粉末的国家标准。

会议决定，第五届全国金属粉末会议于1986年召开。

〔本刊通讯员〕

裂为止。以后，液体自由膨胀，横向爆破被“屏障”将其限制，只允许碎片轴向运动一个极限长度，直到其动能完全被“屏障”的变形吸收为止。

“屏障”结构包括两个圆环，装在缸体上下两个端部。两个圆环用大量金属带相联，每个金属带都做成凸出的弓形。金属带两端应在圆环和缸体接合部分端部表面之间留有足够的间隙。在缸体操作正常时，“屏障”不受力。而当缸体破坏时，凸出的弓形带开始吸收缸体的破片动能而发生弹性变形。进而发生塑性变形，直至金属带子被拉直为止。

设计“屏障”时要考虑到缸体内释放的总能量将全部为“屏障”所吸收。而“屏障”只允许其上的应力为弯曲强度的70%、最大延伸率为42%。金属带子的数量、厚度、弓形的数量及尺寸应根据需要吸收的最大能量进行计算。特别要注意使环和金属带的焊接部分的强度要比金属带本身强度高。

此外，在缸体和金属带之间放一个薄的圆柱筒，以阻挡少量破块和高压流体的喷射^[16]。

很明显，“屏障”只对轴向破坏起作用。

8. 速冷

参考文献

- [1] US Patent 1081618, Aug. 1913
- [2] H·A·Kuhu, Superalloy, 1983
- [3] H·A·Kuhu & B·L·Ferguson et al, Metal Powder Report (1), 321—323, 1983
- [4] E·L·J·Papen, 2nd International Conf. on Isostatic Pressing, 1, 6-1—6-4,
- [5] E·L·J·Papen, The Principle of the Insertion—Ejection of the “Insert tooling” at each cycle, 1981
- [6] L·Colmen, The design of the pressure and equilibration part 1981
- [7] UK Patent 1535798, Dec. 1978.
- [8] US Patent 4023966, May, 1977
- [9] UK Patent 1566858, May, 1980
- [10] E·L·J·Papen, Isostatic Pressing Technology
- [11] A·J·Freeman, Paper presented at Conf. on Hardmetal, 12-1—12-8, 1981
- [12] Autoclave Engineers, Metal Powder Report, (1), 310—312, 1983
- [13] Conaway Pressure Systems Inc., Metal Powder Report, 99—102, 1980

缩短生产周期是很重要的。而在整个生产周期中，冷却时间很长，一般为总周期时间的一半。按现况来看，一般热等静压操作周期约16小时左右，冷却时间至少占去8个小时。这是因为设备内部在高温、高压下，为了使压力介质不产生对流及泄漏，必须增加一个有效的隔热屏。这个隔热屏在升温、升压、保温、保压时是必不可少的。但它对保温、保压后产品的冷却是个极大的障碍。所以，为了缩短生产周期、降低成本，不但要改善加压、加热方式，以减少工件在缸体内的储留时间（使升温、升压快速，可改善压缩机能量），也可采用预热方式——即底装料热装炉方式来解决。

目前许多专利及文章论述了“速冷”方法。其中一种方法可以使热等静压周期由原来的24小时降为8小时一个周期，因而大大提高了产量，由此降低成本的幅度是相当可观的。

美国一个专利提出加设速冷阀门及通路达到“速冷”的目的。当进行热等静压处理时，速冷阀门关闭。当开始降温时，阀门打开，向缸内通入冷气流。而缸体内热气流在隔热屏内上升，然后由隔热屏排出到隔热屏与缸内壁之间并下降，通过与由外部进行水冷的压力缸壁接触而降温^[17, 18]。