

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

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。外国一切好的经验、好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。采用新技术必须同群众性的技术革新和技术革命运动相结合。

古为今用，洋为中用。

1919

打破洋框框，走自己工业发展道路。

前 言

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们编译了《粉末冶金译文集》，供国内从事有关粉末冶金生产、设计、科研人员在实际工作中参考使用。

本集由上海粉末冶金厂、江西省机械科研所、上海纺织轴承一厂和上海科技情报研究所等单位提供译稿，在编译过程中还得到上海材料研究所的支持，在此表示谢意。

由于时间仓促，加之我们的水平有限，故缺点错误在所难免，切望读者批评指正。

编 者

一九七五年五月

34012

目 录

粉末冶金热锻的预成形坯设计.....	(1)
粉末金属锻造预成形坯的设计.....	(7)
成份、温度和晶粒结构对粉末热锻预成形坯流动应力的影响.....	(16)
热成形喷雾铁粉预成形坯的形变流动对冲击强度的影响.....	(23)
预成形坯密度对雾化铁基粉末冶金锻件的冲击性能的影响.....	(29)
材料的流动和裂纹对粉末锻造预成形坯设计的影响.....	(34)
多孔预制坯模锻时金属的流动与致密作用.....	(40)
粉末冶金预成形坯致密化时的组织变化.....	(48)
粉末锻造.....	(57)
钢粉末制品的锻造.....	(74)
铁粉和奥氏体不锈钢粉的混合物制成的烧结钢的性能.....	(85)
金属氧化物的还原.....	(90)
近代雾化技术.....	(97)

粉末冶金热锻的预成形坯设计

前 言

粉末冶金预成形坯锻造是当前非常引人注意的一项课题，这已由越来越多的该课题所提出的论文所证实。以往大多数报导是关于粉末冶金预成形坯锻造后的性能。本文所报导的主要是工艺本身，重点是材料的变形、密实程度和断裂及其与预成形坯的设计和锻造工艺的关系。

预成形坯设计的准则系根据变形过程中不发生断裂而达到完全密实的要求而提出来的。考虑到许多性能也是受到锻造工艺及其各种最佳条件的影响。但是，直至进一步的研究工作还没有进一步表明最佳性能的变形程度和形式之前，设计工作就不能考虑这些因素。

为了说明设计方法起见，考虑用简单圆柱体形状，所使用的材料为铝合金 601AB，而所使用的技术能适用于任何一种材料。本文还提出了材料的横向流动、密度和断裂状态的实验结果。接着，根据这些结果提出了设计准则。

变 形

压缩时材料的横向伸展是锻造过程中的重要的基本特性。在材料经受纯压缩（无摩擦的复杂影响）情况下，这种特性以泊松比来表示：

$$\nu = \frac{-\text{横向应变}}{\text{轴向应变}}$$

对于全密度材料，其数值为 0.5，这相当于在塑性变形时，没有发生体积的变化。

但是，粉末预成形坯的压缩造成了致密化，泊松比值小于 0.5。在室温的无摩擦压缩试验下，对于海绵铁粉的初始工作，提出了泊松比和密度的关系：

$$\nu = 0.5(P/P_t)^{1.92} \quad (1)$$

式中 P/P_t = 理论密度的分数。在室温下，烧结铝粉、铜粉和雾化铁基等的预成形坯的试验结果都表示有同样的关系，如图 1 所示。

对于在热加工温度为 371°C 时所锻造的烧结 601AB 铝合金粉末的类似试验所得到的结果示于图 2。在这种情况下，在给定密度下的泊松比要比室温变形的稍低些。这大体上反映了基体材料的局部加工硬化对致密现象的影响。在室温试验中，基体材料的 n 值接近于零。较低 n 值就得到较低的泊松比，或每增加压缩应力就会产生更大的致密性。

应该说明，形成粉末预成形坯基体——孔隙系统的加工硬化，是由于基体材料的密实化和冷加工的结果。图 3 示出了在室温下和在热加工温度为 371°C 时变形的铝 601AB 在无摩擦压缩试验中所得到的应力应变曲线的比较。在室温下，基体的形变——硬化是由于坯块加工硬化效应的原因，而在温度升高时，基体不发生形变——硬化，而轻微的加工硬化效应是由于密实化的结果。

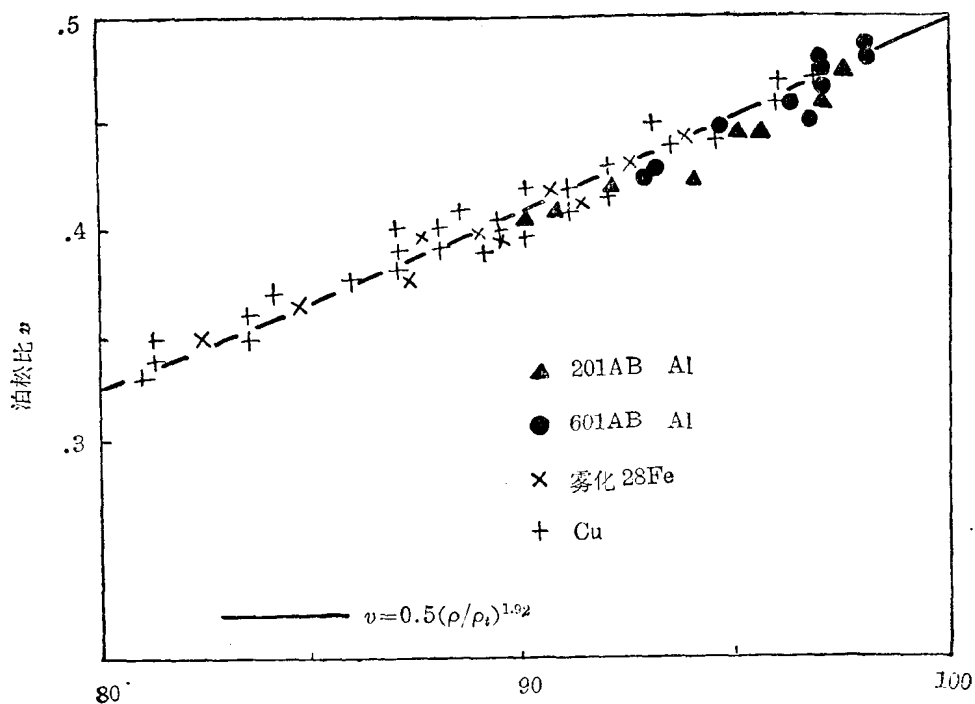


图 1 室温变形下各种烧结粉末材料的密度与泊松比的关系

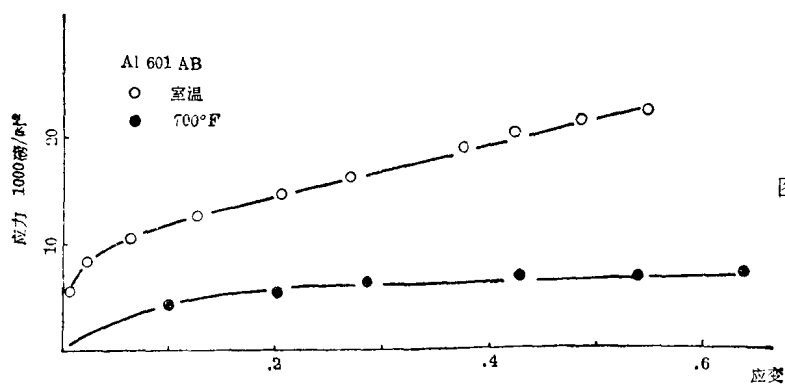
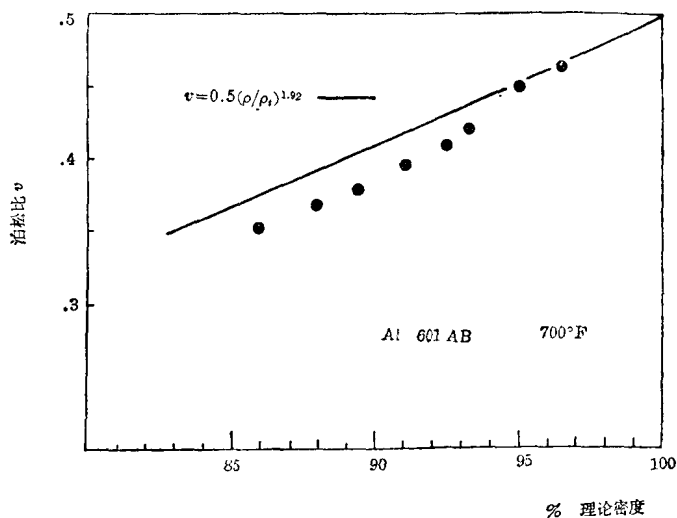


图 3 室温和 700°F 下 601AB 铝合金粉末加工的应力应变曲线

密 实

图 1 和图 2 表示了粉末预成形坯变形时同时发生致密和横向流动。当密度增加时, 横向流动速度增快, 而致密率减少。图 1 和图 2 的这种现象, 在数量上可导出无摩擦单轴压缩中的密度和应力的关系。这个关系由微分形式表示:

$$-dP/\rho = (1-2\nu)ds_z \quad (2)$$

考虑到泊松比的不断变化, 这个公式可用数字积分示出。因为当 $P \rightarrow 100\%$ 时, $\nu \rightarrow 0.5$ [方程 (1)], 所以当接近于全密度时, 密度的增加小得可以忽略 [方程 (2)]。因此, 在无摩擦状态下要达到全密度需要无限的压缩应变。

在实际锻造中, 预成形坯和锻模面之间的摩擦是有限的, 因此, 不能直接适用上述无摩擦压缩所得的结果。目前, 没有定量的方法来说明锻造中摩擦对致密度的影响。但是, 可以认为, 横向抑制是由于锻面的摩擦而将增加致密程度。

为了验证这个假定, 对 601AB 铝粉圆柱体预成形坯作了一系列的压缩试验。三种不同的高度与直径之比的预成形坯是在平座的模具中于 371°C 进行锻造的。采用干燥、无润滑锻模, 也采用二硫化钼油脂润滑。把预成形坯锻成各种的压缩应变程度, 接着从圆柱体外部切下试样, 并测定每个试样的密度, 然后测出体积和重量。图 4 示出了由于摩擦引起的抑制对密实影响的结果。增加摩擦和减小高度与直径之比, 都会增加摩擦的抑制和提高在应变下的致密度。

图 5 示出了高度与直径之比为 0.91 和两种摩擦条件 (不润滑和二硫化钼油脂润滑) 下的结果。润滑试样的密度变化比非润滑的试样要小, 因为应力变化是不同的。对于无摩擦压缩试验, 由于应力分布均匀, 因此密度也是完全均匀的。

摩擦和不均匀变形对致密度的不均匀性的影响, 可在锻造的金相组织中看到。具有高孔隙度的非润滑锻件的侧向自由表面有明显的鼓起, 在接近锻模的顶部和底部接触

表面, 孔隙也是很多的, 这是由于“呆滞金属区”, 即存在限制金属流动区域的结果。在心部材料受较大的剪切和压力, 而造成了很低的孔隙度。在致密多孔材料中, 必然具有伴随压力的剪力。在润滑情况下, 鼓起部位的孔隙度仍是最大的, 而与锻模的接触面的孔隙则较少。但是, 孔隙度从一区域到另一区域的变化比非润滑情况下的要小得多。

摩擦造成应力不均匀, 导致致密性也不均匀。这种应力的不均匀状态造成另一个后果是鼓起表面在拉应力作用下发生破裂, 如图 6 所示。圆周拉应力随凸面曲率的增加而增加, 凸面曲率本身又随摩擦阻力增大而逐渐增加。这一影响同样可用测定摩擦阻力对致密性的影响

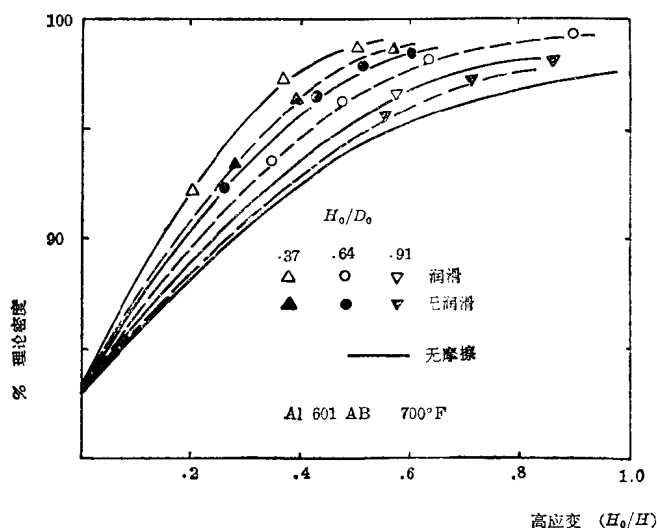


图 4 热锻 601AB 预成形坯的致密性

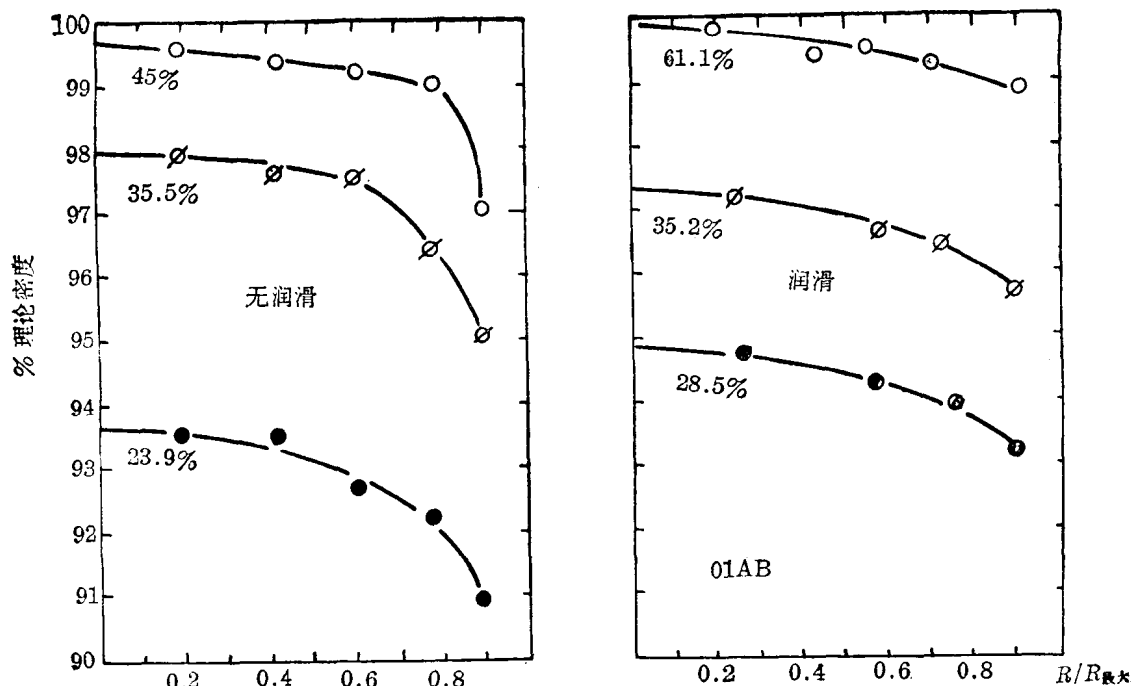


图 5 在 700°F 下加工铝预成形坯的密度变化与锻件圆柱体半径的函数关系

的压缩试验来测定。图 7 示出这些结果，说明了破裂时的高度应变随摩擦阻力的减小（高度与直径之比增大，则润滑作用也增大）而增加。

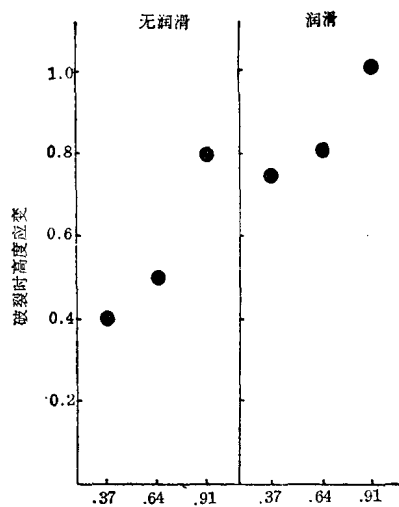
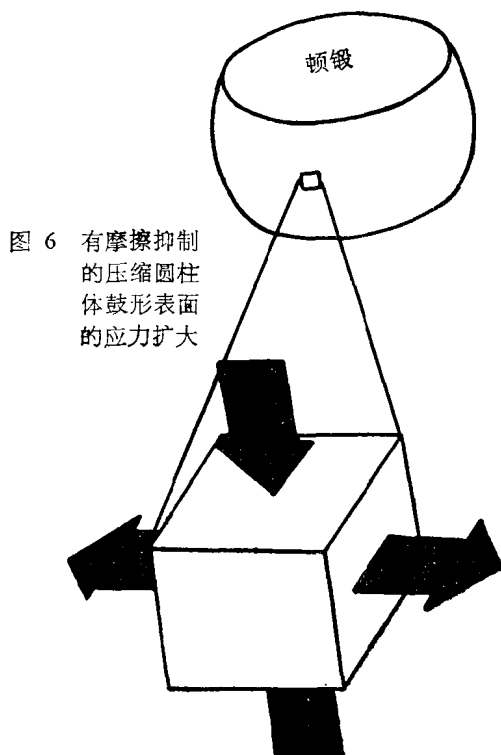


图 7 在高温变形下铝粉预成形坯高度应变到破裂

当不用润滑剂时,把预成形坯锻造到高度缩小 60%,表面鼓形曲率变大,这时裂纹非常明显。而在润滑试验中,鼓形曲率则小得多,高度锻缩 60% 后也没有裂纹。进一步用聚四氟乙烯薄层作润滑剂,当高度锻缩 90% 时也没有表面裂纹。

预成形坯设计

上述的铝合金粉末预成形坯的变形、致密以及破裂特性等对其他多孔预成形坯材料都有代表性。因此,在粉末预成形坯设计中,可利用这一结果作为参考和依据。

虽然上述资料是从圆柱体形预成形坯压缩中得到的,但所有的基本现象在其他几何形体中也同样发生。通过把这些结果和借助于普通塑性力学概念以及烧结粉末材料的塑性理论结合起来,就能分析粉末预成形锻件的特殊部位。如齿轮的轮齿和轮壳或连杆柄和连杆头。

由上述结果得出一个重要结论,即只经过单一轴向压缩,不可能达到完全致密。如果在无摩擦的理想条件下进行压缩,那么需要极大的轴向应变来达到全密度[方程(2)]。在锻模摩擦情况下,零件的心部能达到完全致密(图 5),但在鼓形表面上产生大量的孔隙,或者断裂。因此,要想通过锻造达到致密,就必须由侧壁提供横向阻力。这个阻力还能防止表面破裂。普通的凹模锻造具备这种阻力,因为模壁本身提供了全部阻力,唯一条件是阴模要封闭。因此,粉末预成形坯锻造必须在全封闭的蹼式阴模中进行,其工艺过程有两步:

- (1) 同时具有密实和横向流动作用的自由压缩,接着;
- (2) 工件侧面和模壁接触,并在复压中完全密实。

粉末预成形坯的锻造过程为预成形坯的设计提供了依据。其目的是在锻造过程中,使工件不断裂而完全致密。其次必须确定预成形坯的几何形状,以满足这些目的。所要求的几何形状须通过以下两种情况之一继续变形到最终形状;或者,

(1) 在零件横向流动碰到模壁时,通过复压变形,去除圆周区域的残留孔隙以达到零件体内的全密度;或者,

(2) 当侧面碰到模壁时,表面开始破裂,这时可利用模壁四周的阻力防止破裂。

任何材料在变形过程中首先发生的都不外乎上述两种情况(零件体内的全密度或开始破裂),这就成为预成形坯设计中的控制因素。

可以对设计方法作图解说明,如图 8 所示。这里利用简单的圆柱体,用高度与直径之比作几何参数。

从特定的预成形坯 H_0/D_0 开始,当进行锻造时,锻造的 H/D 顺着水平向左的方向减少,

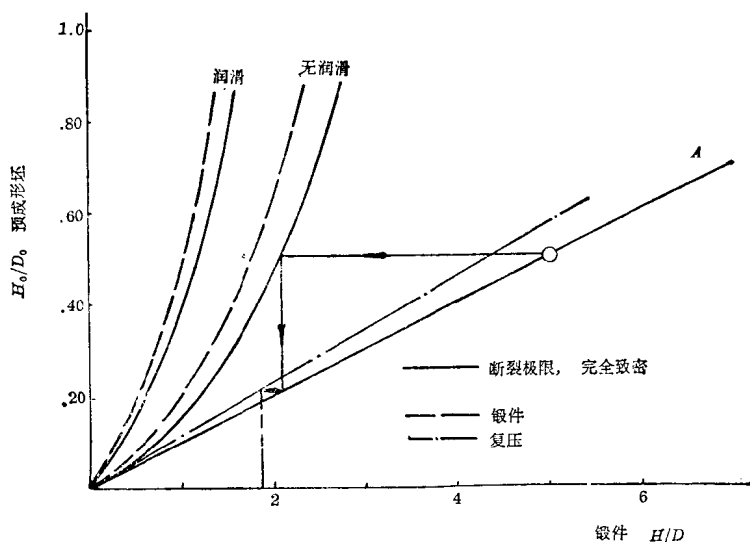


图 8 多孔材料预成形坯设计时致密性与断裂图说明

然后,当零件体内达到全密度或者开始断裂时,零件侧面就碰到模壁,并通过复压封闭残留孔隙。这一过程用图 8 所示的垂直线和短的水平线表示之。然后又反过来进行,从终锻件的 H/D 开始沿着这条线路能预测预成形坯适宜的 H_0/D_0 。

图 8 所示的 601AB 铝合金的极限线是根据图 3 和图 4 所给定的数据作成的。这些曲线表明破裂是控制因素,同时必须把预成形坯设计成在发生破裂之前,使其侧表面碰到模壁。图 8 所示的路程描述了无润滑锻造达到锻件 H/D 为 0.18 的情形。

摘 要

通过一组实验测定了有趣的预成形坯材料的致密和断裂状态,可用图解设计法来确定预成形坯适宜的几何形状。目前正利用一种分程方法来预示全密度和初断的极限曲线,这会大大减少设计所需要的实验工作。

本设计方法最后必须考虑到其他两个因素:变形量和变形方式对性能和模具磨损的影响。增加在锻造中的流动量,可以提高零件的最终性能,但同时会增加模具的磨损,通过预成形坯几何形状确定流动量,这对性能和锻模磨损必须是最适宜的。

这样,图 8 所示的极限曲线可认为是所有预成形坯的设计范围,从锻模磨损和性能的角度出发,在这个范围内去寻找最佳的设计路线。

译自 «1971 Fall Powder Metallurgy Conference Proceedings»

粉末金属锻造预成形坯的设计

摘要：粉末金属锻造有许多相关因素必须加以考虑。其中最为关键的是预成形坯的设计与制作。预成形坯的设计本身又有许多要考虑的因素。诸如：锻造方式、粉末类型、预成形坯的几何形状与密度、压实和烧结方法等等。

导 言

在某些情况下，粉末锻造比一般锻造在经济上和技术上更为有利。粉末金属预成形坯锻造是一种较新的工艺。已经有许多类型的产品用粉末金属锻造法制造出来，然而作为商业性的生产还很有限。粉末金属锻造包括好几道工序，其中关键之一就是预成形坯的设计与制作。就某些零件而言，对预成形坯的要求比较简单，但对另一些零件而言，在得到正确设计的预成形坯之前，还需作一番很大的努力。大多数零件的预成形坯，在设计时都采用反复试验的办法。由于缺少粉末预成形坯在变形和致密化方面的基本数据，因而必须采用反复试验和直观的办法。此外，在设计预成形坯方面积累经验的条件也确实不够成熟。有关这方面的情报和技术还处于专利阶段，因而很少交流与发表。本文的目的是针对不同的粉末金属锻造方法提出设计预成形坯的一些基本原则。为了完成此项任务，有必要对不同的粉末金属锻造方案下个定义，然后再论及材料的选择、预成形坯几何形状的理论和应用、预成形坯制作方法与设计之间的关系等问题。最后，讨论一下影响预成形坯质量降低的一些因素。

粉末锻造的几种方案

预成形坯的设计要看所采用的锻造方案、制件的最终密度和机械性能而定。各种锻造方案示意地列于图1中。左面的一种使用精密的预成形坯（用模子压成），其形状与最终制件非常相似。因此预成形坯的几何形状与轮廓要规定得极为明确。这种方案中的锻压工序可更确切地称为“热复压”。

粉末锻造的不同方案

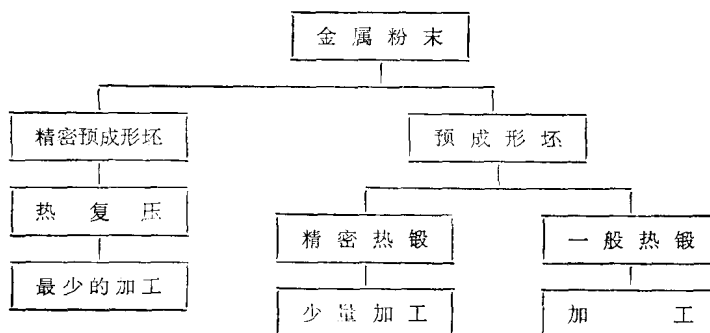


图 1

中间的一种方案采用无飞边锻造。在此方法里预成形坯的设计可能比较容易，但也可能最为困难。其中一个十分明显的因素是，无飞边锻造时预成形坯的重量必须严格控制。在某个自动化的锻造过程里，预成形坯重量要控制在 $\pm 0.5\%$ 范围内^[1]。

第三种方法（图1右面的一种）采用传统的闭模锻造法。对预成形坯重量的控制就不象无飞边锻造那样严格了。

上述三种代表了粉末锻造广泛采用的几种方案。第一种“热复压”法主要用于不需要具备全密度的零件。锻件的剩余孔隙度在0至2%范围内。热复压的压力高达96.8吨/吋²^[2]。无飞边锻造和传统的闭模锻造则用于那些要求具备全密度的零件。然而，用这两种方法生产的粉末锻件，则并不一定具有真正的全密度。

预成形坯材料的选择

用于预成形坯的铁粉的主要类别有：1.海绵铁粉（碳或氢被还原）；2.电解铁粉；3.雾化铁粉。这些类别的铁粉的显微照片示于图2。从图2中可以看到，海绵铁比其他两种含有高得多的第二相物质。这种未溶化的第二相使大多数材料的性能降低，并且造成强度上的各相异性。因此，用海绵铁粉制成的高密度粉末锻件很可能比用雾化铁粉制成的锻件的强度更

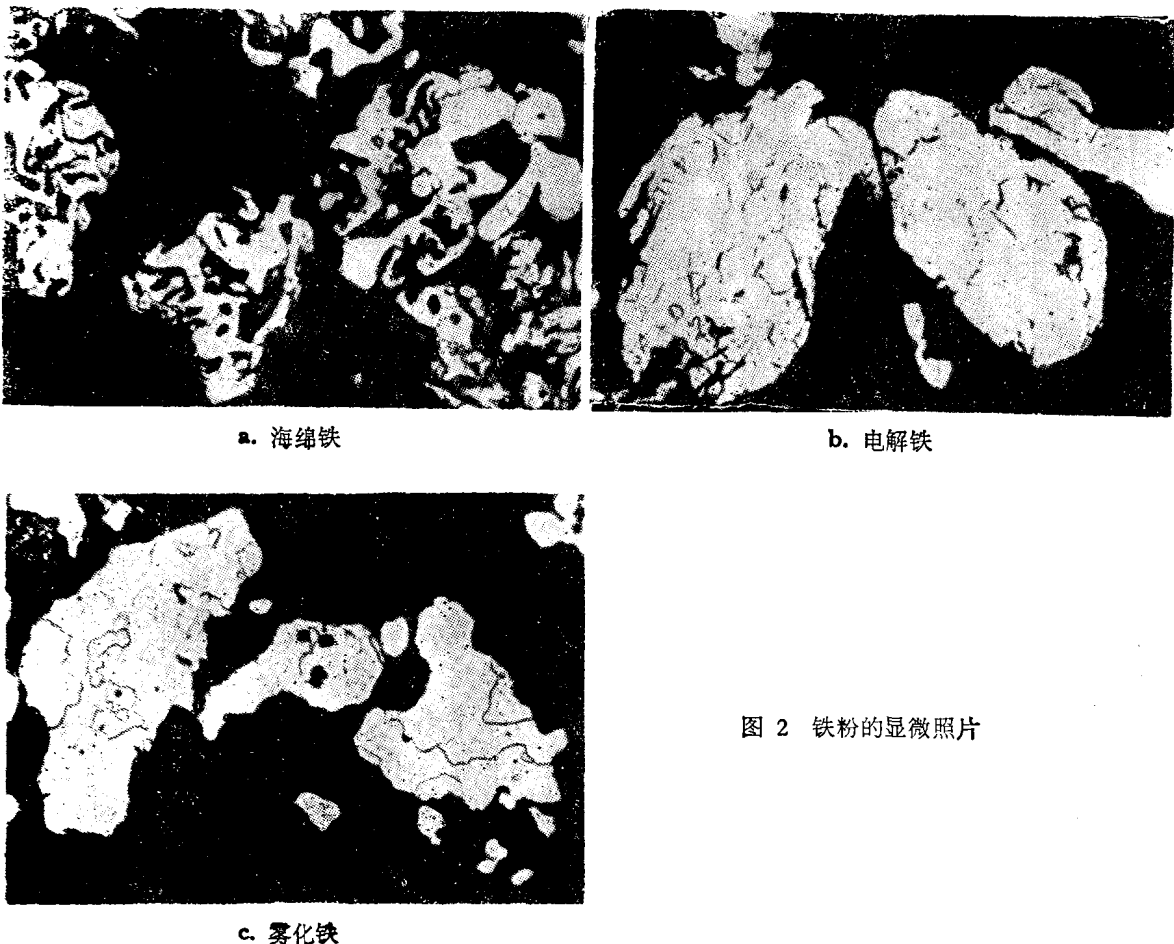


图2 铁粉的显微照片

低。差别的大小要看锻件的密度和所测量的是哪一种性能而定。孔隙度大于 1% 时，性能上的差别还不显著，当密度再增高时，性能上的差别就会加剧了。特别是对于动力强度（如冲击强度和疲劳强度）更是如此。不过也有很多粉末锻件可以毫无问题地使用海绵铁粉来制造。

从图 2 中可以看出，电解铁粉和雾化铁粉都比较纯净。然而应用到高密度锻件上时，雾化铁粉更好，因为它的价钱便宜，并且可以制成多种不同的合金。此外，它比电解铁粉更为均匀。

有两种方法曾经用来配制所需合金成分的钢。一种是用合金钢（含碳或者不含碳）直接雾化；第二种是将铁粉（雾化的或其他类别的）与其他元素的粉末混合起来，通过烧结时元素的扩散来完成合金化。第一种方法均匀度较高，因为每一个粉粒都得到充分的合金化。含有碳分的合金粉末与需要添加石墨来取得所需碳分的粉末相比，前者可以采用较低的烧结温度，后者则要求提高烧结温度以使碳分得到有效的吸收和扩散。使用含碳粉末制造预成形坯的缺点是，压制时为了取得给定的密度需要较高的压力。究竟采用低密度或是高密度的预成形坯要看所采用的热锻方案和锻件的最终形状而定。这一点将在后文中作更详细的讨论。

预 成 形 坯 设 计

在讨论预成形坯设计的基本原则之前，先观察若干用过的实例。图 3^[3]所示为一粉末轴承；左面为预成形件，右面为锻件。所采用的方案是“热复压”。这种方案的特点是预成形坯与锻件之间在几何形状上极其相似。“热复压”预成形坯的另一个例子示于图 4。中间为大炮撞针的预成形坯，左右两侧是撞针的最终锻件。预成形坯几何形状与锻件极为相似的情形再一次被看到。

在闷模 (Confined die) 中进行无非边锻造所用的预成形坯的例子示于图 5 和图 6。图 5 的右面是小齿轮的预成形坯，左面是其锻件。这里看到，预成形坯的形状比较简单，外形与最终锻件差别很大。从图中还可以看到锻造时材料发生相当大的横向流动而形成齿部。图 6

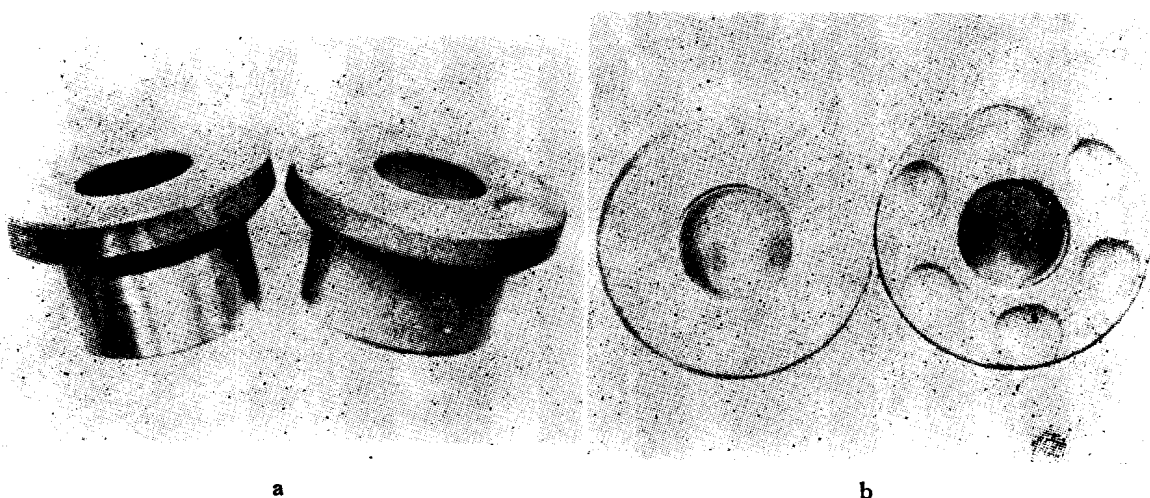


图 3 热复压用的粉末预成形坯（左）和轴承锻件（右）

图 4 热复压用的粉末预成形坯(中)
和大炮撞针锻件(左及右)

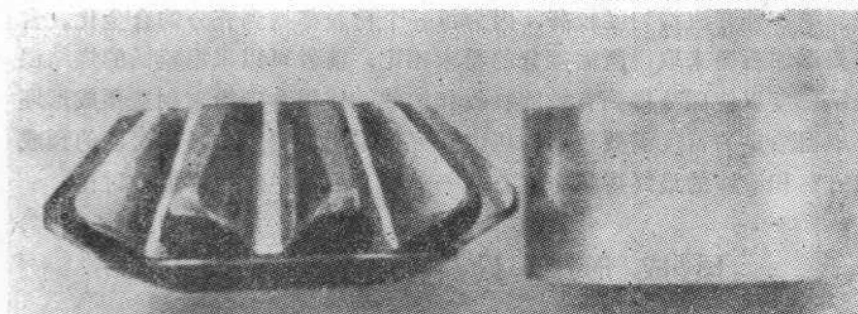
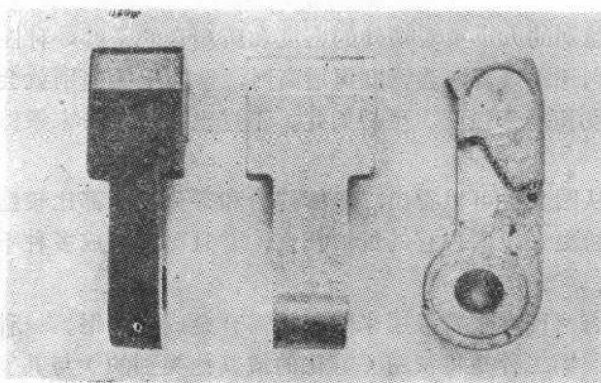
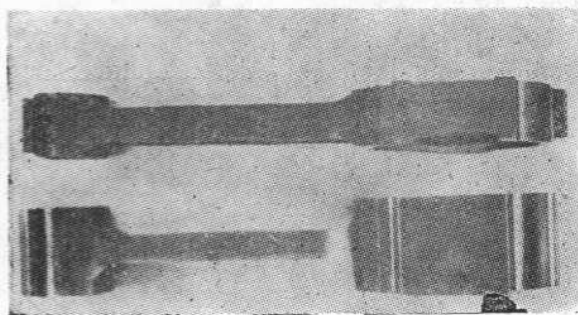
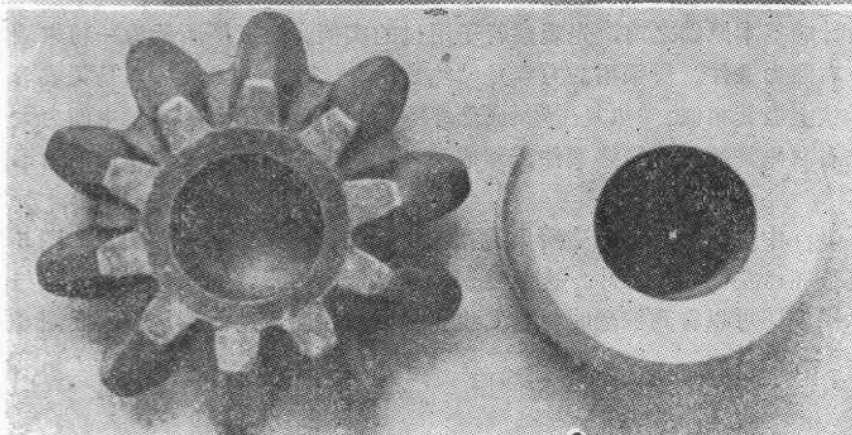
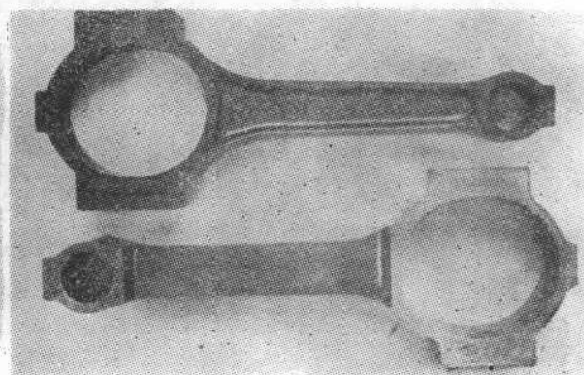


图 5 网模锻用的预
成形坯(右)
和锻造成的小
齿轮(左)



a



b

图 6 网模锻用的预成形坯(a及b下)和锻造成的连杆(a及b上)

(a 及 b)所示为连杆，其预成形坯示于 a 及 b 的底部，而锻件则示于图的顶部。乍看起来，连杆是用“热复压”法锻成的。事实上连杆柄部有很大程度的金属流动。由于齿轮的对称性更好，因此设计它的预成形坯比设计连杆预成形坯更为容易。一般说来，最终锻件的对称性越差，预成形坯的设计工作就越成为关键。

用通用闭式模具对链环进行有飞边锻造的例子示于图 7。图中左方为预成形坯，中间为带有飞边的锻件，右方为去掉飞边后的锻件。

图 3 至图 7 所示的各种预成形坯都是用模具压成的。将粉末压成预成形坯的其他方法也有，例如等静压实法就是成功的一种，在工业应用上颇有前途。

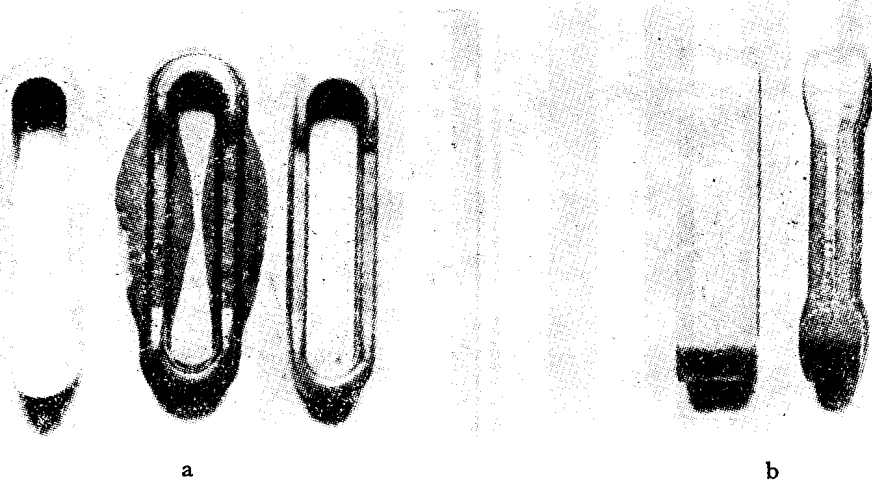


图 7 闭模锻造用的预成形坯(a 及 b 左)带飞边的锻件(a 中)，去飞边后的锻件(a 及 b 右)

预成形坯设计上的理论和实践要点

设计预成形坯时的一个基本出发点就是锻件的已知重量（包括飞边在内）。然后据以确定预成形坯的尺寸（密度）和形状（变形程度和流动方式）。遗憾的是，对于制定正规设计准则所必需的一些基本资料或者是很不完全，或者是还没有公开。理想的情况是，先建立预成形坯的密度数据与应变之间的函数关系，然后就可以按照所要求的密度值找出为此而需要在变形过程中产生多大的应变值，并据以设计出预成形坯。关于雾化铁粉和钢粉预成形坯冷变形的这类数据已公布了一些^[5]，现转载于图 8 中。这些数据表现了三种变形型式下的预成形坯密度与最终密度之间的关系。闷模无飞边锻造和传统的闭模锻造时开始阶段发生的最简单的锻造属于单轴向压缩变形。这类变形也发生在用开式模具对坯料进行锻造的时候。用闷模及闭模锻造时，当预成形坯开始与模壁相接触而横向流动局部受到限制时，这相当于平面应变类型的变形。模具闭合之前模腔就立即被材料填满，或者是热复压的开始阶段都属于复压式变形。图 8 列出的数据适用于雾化铁粉预成形坯，与此相似的用于 8620 雾化粉末预成形坯的数据示于图 9。这种类型的数据对预成形坯的设计非常有用。但可惜目前还缺少这方面的充分数据，因此在设计预成形坯时只好遵循下面几条原则：

1. 设计时，要使预成形坯与冲头或凹模的上、下面保持非平面接触。这样可以减低表

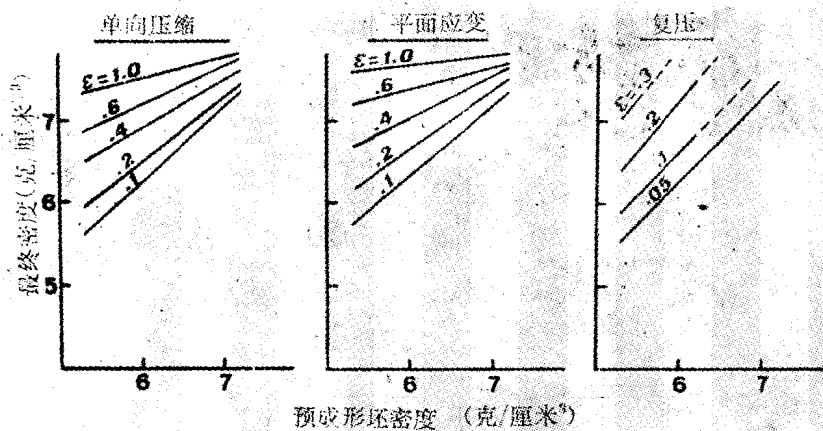


图 8 雾化铁粉的致密化曲线

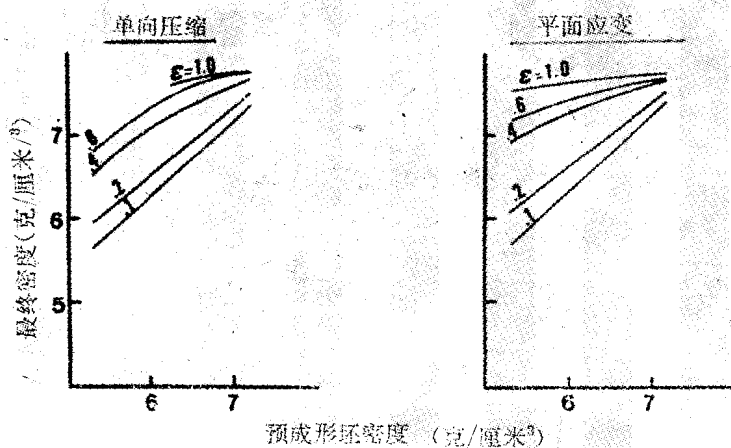


图 9 雾化 8620 预成形环的致密化曲线

面之间的摩擦并且有助于金属流动（较小的死金属区）和降低表面孔隙度。

2. 低密度的预成形坯对制件上的细薄部位有较好的填充能力^[5]。
3. 高密度的预成形坯不论冷锻或热锻时在取得给定的制件密度方面所需要的锻造压力较小^[6,7]。
4. 为了避免锻造时材料受挤压而发生裂纹，应使材料朝着截面连续减小的方向流动。
5. 如果使用抽缩式的冲头，在前导表面上提供一点压缩应力就可以在制件的直壁上制出疖状突起部分。
6. 提高预成形坯的烧结程度有可能在裂纹发生之前使材料的变形或自由流动量得以增大。

对第1条(预成形坯与冲头之间保持非平面接触)有一个很好的例子,就是图5所示的小齿轮。预成形坯的底面是平的,而锻件底面则是曲面。在模具的曲面与预成形坯平面之间可以使材料得到较好的流动,并且在变形过程中提供压缩应力。对于任何变形过程,保持压缩应力是很重要的,因为它将明显地提高成形能力(裂纹发生前的变形程度)。预成形坯所用的密度范围很大,大多数在6.2至6.8克/厘米³范围内选用。但也有采用小于6.0和大于7.3的。

关于避免在横向流动或者挤压时发生裂纹的问题,不论是采用抽缩式的冲头或者使模腔横截面逐渐缩小的办法都不能完全解决。然而在某些情况下确实可以采用这些措施。

预成形坯的制作

有许多办法可以用来将粉末压制成药坯,其中包括在热模或冷模中用机械或者液压的办法进行压制、等静压制、爆炸成型、粉浆浇铸和粉末松装烧结。然而在制造钢铁粉末金属锻造预成形坯时所采用的两种主要方法是冷模压制和等静压制。用于热复压工作的预成形坯由于形状要求精确,因此规定了必须用模压的办法来制作。至于无飞边锻造和一般闭模锻造用的预成形坯,可以用上述两种方法中的任一种制作。究竟采用哪一种方法要看制件的批量、所使用的设备、锻件尺寸和锻造方法等因素而定。

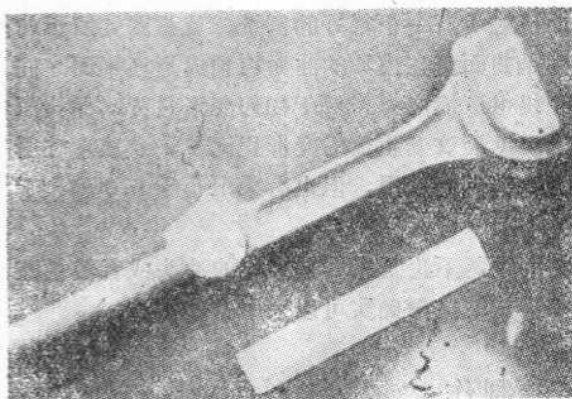
批量大的制件其预成形坯重量小于15磅者,要求选用模压法制造预成形坯。然而决定是采用把润滑剂和粉末混在一起的办法或是采用对模壁进行润滑的办法。前一种方法需要在烧结之前增加一个燃烧脱脂的工序。燃烧不当会导致预成形坯破裂,特别是对于大的和密度较高的预成形坯。另一个问题是脱脂不完全或者在坯件上残存有害的杂物。采用模具润滑系统就可以完全避免这些问题。然而模具润滑方法只限于形状较简单的坯件。幸好大部分粉末锻造预成形坯的形状都足够简单,使得这种润滑办法能够得以采用。

批量小或者重量大于15磅的预成形坯,要求采用等静压制法制作。这种方法不用润滑剂,因此不需燃烧脱脂工序。等静压制法又分为两种:1——湿袋法;2——干袋法。

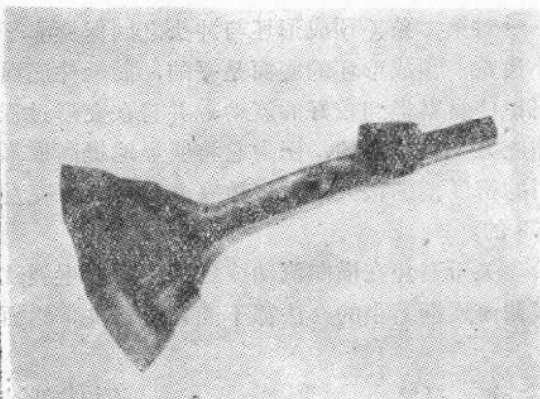
湿袋法包括装粉、将橡皮袋赋予所需要的几何形状、将袋口塞紧、将装好粉末的袋子浸入等静压制容器的液体中,并且向容器泵入所需要的压力。压力释放后将袋子从液体中取出,然后从制好的预成形坯上剥去袋子。图10^[8]中示有这种方法所用的木模、橡皮袋和连杆预成形坯。

干袋法则利用如图11所示的可以拆分成两半的聚氨基甲脂模。在这种方法里,先把模子装配好,倒入金属粉末,然后放到等静压实的容器内。容器内配备有一个橡皮膜,它把模子和液体隔开。将液体泵至所需要的压力,然后将压力放掉,打开模子,取出预成形坯。这种干袋法已发展成一种自动化方法,可以在单位时间内制出很多的预成形坯。具体数字要看预成形坯的尺寸和所采用的系统而定。

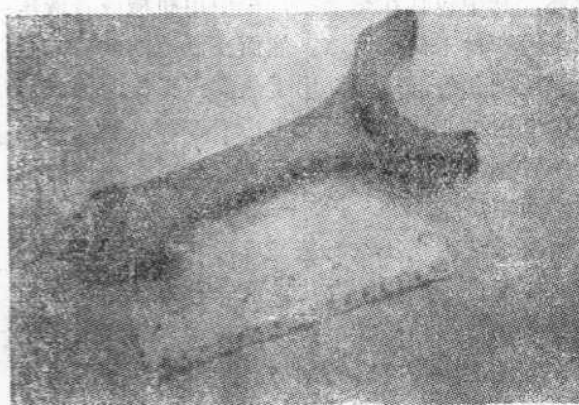
在进行热锻之前,一般都把预成形坯加以烧结。烧结时,必须采用保护气氛防止氧化和控制预成形坯中的碳势。烧结的目的之一是从石墨添加剂中提供所需要的化合碳。此外,其他元素添加剂在燃烧时可以扩散到固溶体中去,同时使颗粒之间的结合强度得以提高。如果采用完全合金化的粉末来制造预成形坯,那末烧结温度就可大大降低,甚至于完全省去烧结工序,直接将未烧结的预成形坯加热到锻造温度,然后进行锻造。



a—木模



b—橡皮袋



c—粉末预成形坯

图 10 等静压制——湿袋法

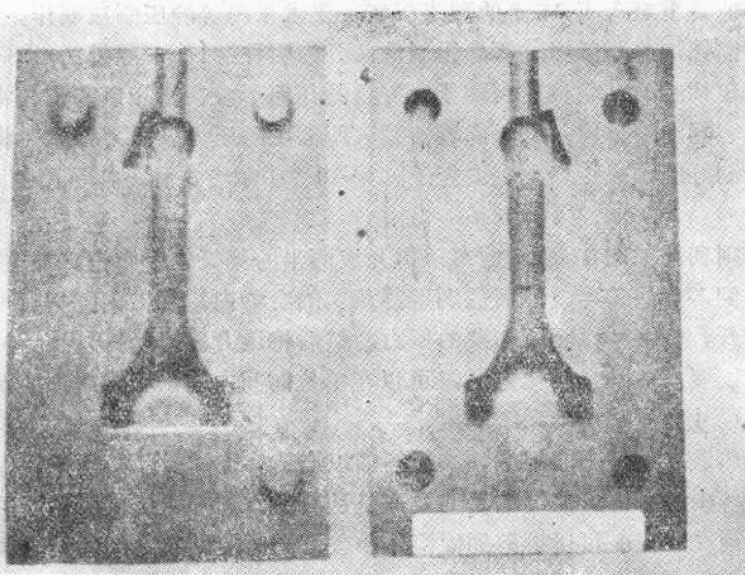


图 11 用于等静压干袋制压法的可拆开的聚氨基甲酸脂模