

造 鍛 末 粉

(譯 文 集)

江西省机械科学研究所技术情报室

1965年10月

前 言

本译文集，承蒙江西工学院锻压教研组的林治平、刘汉炎、何成宏、杨淳朴等老师协助选题和提供译稿，在此表示感谢。由于我们水平有限，在译、校工作中难免发生错误，恳请读者予以批评指正。

编 者

1975年9月

毛主席语录

古为今用，洋为中用。

外国的一切好经验，好的科学技术，我们都要吸收过来，为我们所用。拒绝向外国学习是不对的，当然，迷信外国认为外国的东西都是好的，也是不对的。

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。

粉末鍛造譯文集

目 录

一、粉末热鍛的技术和经济问题	
第一部分：技术问题.....	(1)
第二部分：经济问题.....	(9)
第三部分：成本比较.....	(22)
二、粉末鍛造中材料的流动和开裂.....	(29)
三、齿条形粉鍛制件最佳预成形坯形状的研究.....	(36)
四、粉鍛预成形坯形状对材料流动残余孔隙度裂纹和缺陷的影响.....	(47)
五、粉鍛预成形坯设计的试生产研究.....	(56)
六、粉末鍛造用的液相快速合金化.....	(66)
七、化学成型与化学烧结.....	(75)
八、金属粉末成型时的塑性变形.....	(88)
九、粉末鍛造材料及原料.....	(97)
十、利用切屑试制机械零件.....	(108)

粉末热锻的技术和经济问题

(瑞典) G. Bockstiegel

第一部分：技术问题

摘要：过去五年里，对热锻预成形坯的基本问题，在文献上谈得很多。大量的例子说明了用这种新技术可以获得形状复杂的机器零件和有益的材料性能。本文目的在于指出这种新技术在生产上成功应用时必须加以考虑的几个问题。涉及的有：各种方案及其前景与局限，可与竞争的方法，在不同工业国家中的潜在市场，材料性能（诸如淬透性及韧性），如何在经济条件下获得所需性能，残余氧化物的消除，脱碳与氧化的防止，加热和操持问题以及如何选择设备的型号与尺寸，使用经济性等问题。

导 言

过去五年里，大量文献证实了某些工业部门采用粉末预成形坯热锻复杂的机器零件在技术上是适宜的。事实上有一些粉锻机器零件已经或者正在某些国家投入正式生产。但是这些粉锻零件，究竟是个别例子或者是具有普遍代表性，看来仍然是一个不明确的问题。这个问题的产生，一方面是由于对粉末热锻的竞争能力（特别是与常规锻造的竞争能力）理解得不确切，另一方面是由于在试生产时遇到一些实际的技术问题。

与原先的看法不同，目前认为这种新工艺的实质部分，即预成形坯形状的设计和热锻模具的选择，并非最困难的问题。更为棘手的是如何合理解决预成形坯的加热、操持，以及用经济的办法来获取硬度与韧性。本文目的在于指出这种新工艺成功地应用到生产上所须注意的问题。文中涉及的产品主要是汽车工业上的，技术与经济分析所用的材料取自欧洲国家。但是这并不意味着文中的观点不适用于其他工业部门或其他国家。

宜于采用粉锻的汽车零件

图1所示为汽车上可以采用粉末热锻的零件。目的在于说明无论在材料、重量和形状上，范围都很广泛，因而没有必要把汽车上能够采用粉锻的零件全部开列出来。

形 状 问 题

据作者所知，除轮毂外图1所示的所有零件都已成功地采用粉末热锻制成形状与最终尺寸极为接近的产品。即使是轮毂，之所以尚未采用粉锻，原因在于经济上不合算，并非由于

技术上不可行。预成形坯形状的设计问题，一般可以借用常规锻造和常规粉末冶金已经积累的经验，通过有限次数的试验来加以解决。

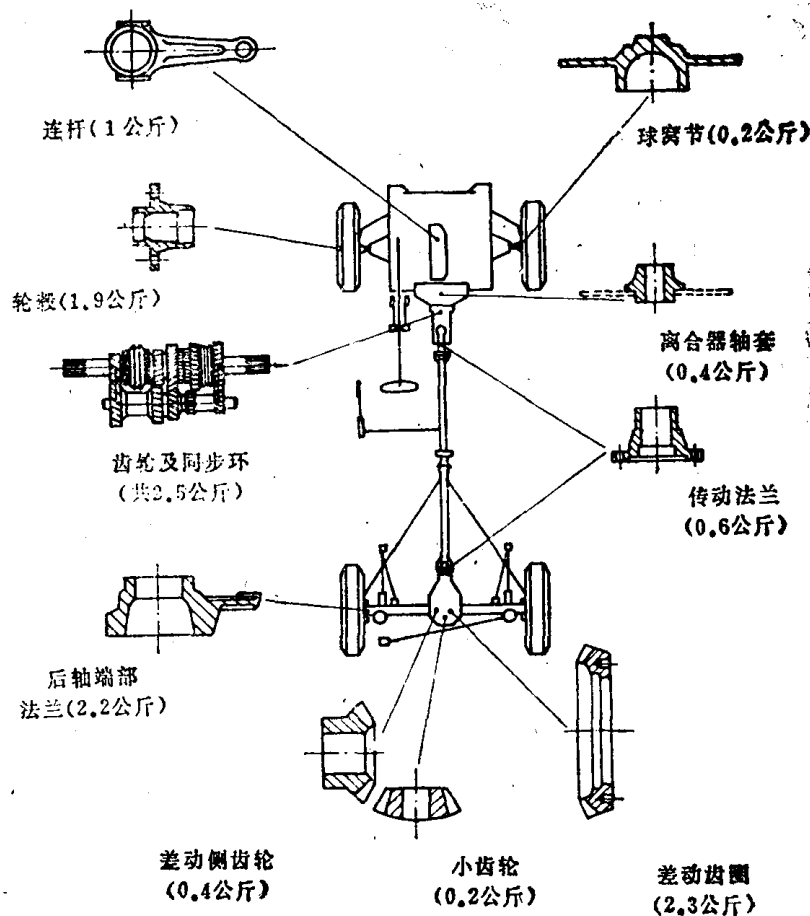


图 1 宜于采用粉锻的汽车零件

粉末热锻螺旋齿轮在最近的将来还不大有希望。原因在于设计适当的锻模还有一些实质性的困难。但是粉锻带有半精密齿形（仅仅要求作最后的剃齿加工）的伞齿轮，已证明是可能的。据报导，在美国甚至小齿轮上的齿也能粉末热锻到具有最终尺寸公差的程度。但这种说法要进行分析，因为它的真实性取决于公差规定得多严。应该记住，小齿轮（其他齿轮也一样）的公差在欧洲比在美国规定得更严一些。

究竟怎样的尺寸精度对粉末热锻制件才是合理的，一方面取决于模具的耐用度和模具的设计，一方面还要看在模具不同部分和在预成形坯上所能保持的温度变动范围。下述两个例子可以说明这一点。

例 一

假设将一环形预成形坯（例如齿轮毛坯）放在模孔直径为100毫米和芯部直径为30毫米的模具内热锻。再假设一个制件经过热锻后从模具中顶出时的温度为1050°C，模具的型腔和芯部的温度为300°C；另一个制件从模具顶出的温度为1000°C，型腔和芯部的温度为

350°C。应用众所周知的热膨胀定则，很容易算出冷却到室温后上述两个制件的外径相差大约0.1毫米，而内径相差大约为0.03毫米。

例 二

假设如例1的热锻模，其凹模与凸模的温度差和其凸模与芯部的温度差在0到30°C间。因此，凸凹模间隙大约有0.015毫米的变动，而凸模芯部间隙则有0.005毫米的变动。由于在这种模具中，凸模由凹模导向，芯部又由凸部导向，因此芯部的中心偏离值可能是模具各部分之间间隙的总和。为了避免锻模被打坏，在所有情况下模具所有相关部分之间必须保持0.015毫米的最小间隙，则模具芯部以及预成形坯孔的偏心程度可以达到0.05毫米。除了上述两例所计算的尺寸变动外，还应考虑由于模具磨损而引起的尺寸变化。前面所说的尺寸变动，其大小完全取决于在生产条件下如何精确地控制预成形坯和模具的温度。因模具磨损而引起的尺寸变化大小，取决于模具材料、表面处理状况、冷却润滑条件、锻造温度和预成形坯的变形方式。这里可以运用常规锻造的宝贵经验，例如众所周知的规律：锻造温度愈低，模具寿命愈高；以及较新的经验：模具表面经过仔细氮化处理可以大大提高使用寿命。

粉末热锻制件的生产和大规模试生产所取得的特定经验表明，无非边热锻时的模具寿命要比常规锻造时的高得多。这是因为：由于没有飞边所以成形压力和模具表面摩擦都要小得多。

总之，对粉锻制件的合理尺寸精度问题要给出一个普遍性的答案，目前看来是不可能的。必须对具体制件作具体的分析，把精确控制预成形坯和模具温度所需的成本以及经常调换模具所花的成本与采用机械加工校正尺寸所需的成本加以对比才行。

材 料 问 题

某个汽车零件是否可用粉末热锻制造，当然不只是一个能否得到合宜的形状的问题，而且还是一个能否获得规定的性能的问题。

表1列出了欧洲汽车零件的四项重要性能要求。用常规方法制造这些零件时所用的材料种类和指定用于粉末热锻这些零件的粉末类型则列于表2。

表1 欧洲客车零件的性能要求

零 件 名 称	材料种类 (见表2)	淬透性	耐磨性	疲劳强度	冲击强度
轮毂、传动法兰、后轴端部法兰				低	低
球 窝 节	I	低	低	低—中	
连 杆	II	中	低	中—高	低—中
齿轮箱齿轮、同步环	III	中	高	高	低—中低
小齿轮、差速器侧齿轮、差动齿圈	IV	高	高	高	中—高

表2 用于生产欧洲客车零件四类材料在汽车上所 占的重量百分比, 以及指定生产这些零件的粉末类型。

零 件	近似的平均重量 公斤/车 %		用常规方法生产时所用的材料种类	用粉末热锻法生产时所用的粉末类型
轮毂(2) 传动法兰 (2)后轴 端部法兰 (2)球窝 节(前轮 悬架)(4)	12	52	I 碳钢, 铸铁 AISI 1038, 1043, 1055 B.S.En1, En2, En3 DIN C10, C15, C22, C35 SIS 1150, 1350, 1450, 1550	以铁粉为基体的混合粉及扩散合金化的铁粉, 例如 Fe + C, Fe + Cu + C, Fe + Mn + C Fe + Ni + Cu + C, Fe + Ni + Cu + Mo + C
连 杆 (4—6)	5	22	II 可淬钢, 球墨铸铁 AISI 1137, 1141(4020) B.S.En8, En10, En11, En15 DIN CK45 SIS 1650, 1957, 2120	同上栏, 或低合金钢粉, 例如: 0.5Mn, 0.2Cr, 0.3Ni, 0.3Mo 0.2Mn, 0.5Ni, 0.6Mo + 所需碳份
齿箱齿轮 (3)同步 环(2)	2.5	11	III 表面淬硬钢 AISI 4023, 5120, 8620(4620) B.S.En351, En352, DIN 21NiCrMo22, 15CrNi6, 16MnCr5 SIS 2506, 2524	低合金钢粉, 例如: 0.2Mn, 0.5Ni, 0.6Mo 0.5Mn, 0.2Cr, 0.3Ni, 0.7Mo 0.2Mn, 1.8Ni, 0.5Mo + 所需碳份
小 齿 轮 (2)差 动侧齿轮 (2)差动 齿环(1)	3.5	15	IV 韧性表面淬硬钢 AISI 4130, 4320, 4620, 8620 B.S.En24, En353, En34, En35 DIN 14NiCr10, 14NiCr14, 13NiCr12 SIS 2224, 2524, 2541	
总 计	23.0	100.0		

由这两个表可以得出如下有趣的结论:

占重量比最大多数(52%)的那些零件是非传动零件, 它们的性能要求较低, 因而可用廉价的碳钢制造。重量百分比占第二位(22%)的那些零件, 主要包括连杆, 必须有适当的淬透性和韧性以及略高的疲劳强度, 因而采用调质钢或球墨铸铁制造。

属于这两类的零件不仅性能要求最低, 而且所需要的后续机械加工也最少。前者使这些零件适于采用粉末热锻, 因为粉末成本和加工成本低(预成型还可不需烧结)。但后者又使

粉末热锻在这些零件上的采用显示不出什么优越性，因为可以省去的后续机械加工工序非常有限。对差动齿轮一类的零件来说，情况正好相反。这些零件如果采用粉末热锻制造，可以省去大量的后续机械加工，但所需用的粉末类型则较为昂贵，并且预成形坯在热锻之前还需要进行烧结。

表2中占重量百分比最低的齿轮箱零件处于最不利的情况，因为它们既不能使用廉价的粉末，又不能粉锻成最终形状（因有螺旋齿），从而省掉很多昂贵的机械加工工序。

现在简要地提一提粉末热锻件获得高的淬透性、疲劳强度和冲击强度的问题。正如从表1看到的那样，这些性能的全部或大部对于传动零件是很必要的，但对非传动零件来说，则并不太重要。过去几年来，大量有关文献证实，粉末热锻材料中如果含有氧化物是有害的，特别是对冲击强度以及在某种程度上对淬透性和疲劳强度更是如此。

铁基材料中如果只含有氧亲和力比铁为低的合金元素，如铜、镍及钼时，这些氧化物比较易于消除。但若含有氧亲和力比铁还高的合金元素，如锰和铬时，则其氧化物就很难消除了。遗憾的是，最后提到的两种合金元素正好是用于汽车传动零件的表面硬化钢和调质硬化钢所最希望含有的元素。

在含锰和铬的雾化合金钢粉的颗粒表面出现锰和铬的氧化物，如果不大大提高制粉成本，是不能完全避免的。然而，有两个方案可以单独或同时用来抵消粉末颗粒有残余表面氧化物的有害影响。

第一个方案是在预成形坯状态就降低这些氧化物，即利用预成形坯中的碳份将其在干燥氢气中于 1200°C 的温度下进行预烧结¹。

第二个方案是使预成形坯在热锻时经受显著的材料宏观流动，使氧化物沿材料流动方向分裂与扩散²。

必须指出，所提到的两个方案中的每一个都还存在某些问题。

对于第一个方案，有一个使预成型坯在 1200°C 下既能有效地还原氧化物，同时又不发生脱碳的冶金化学问题。从理论上说，在低压氢气中真空烧结可能是个很好的解决办法。将预成形坯在氢气中瞬时感应加热到 1300°C 以上则是另一个可能的解决办法。但必须要求预成形坯的形状简单，不含有润滑剂以及尽可能进行预烧结以提高其导电性。为了在工业生产水平上解决这些问题，无论用哪种方法都要求加热设备制造者作出主要努力，因为实验室的解决办法是不适于实际生产的。

另一个方案需要斟酌的地方是热锻时大量的宏观材料流动会加剧模具的磨损，因而往往并不切实可行。然而在特殊情况下，这一方案在技术上和经济上将可能是被接受的。

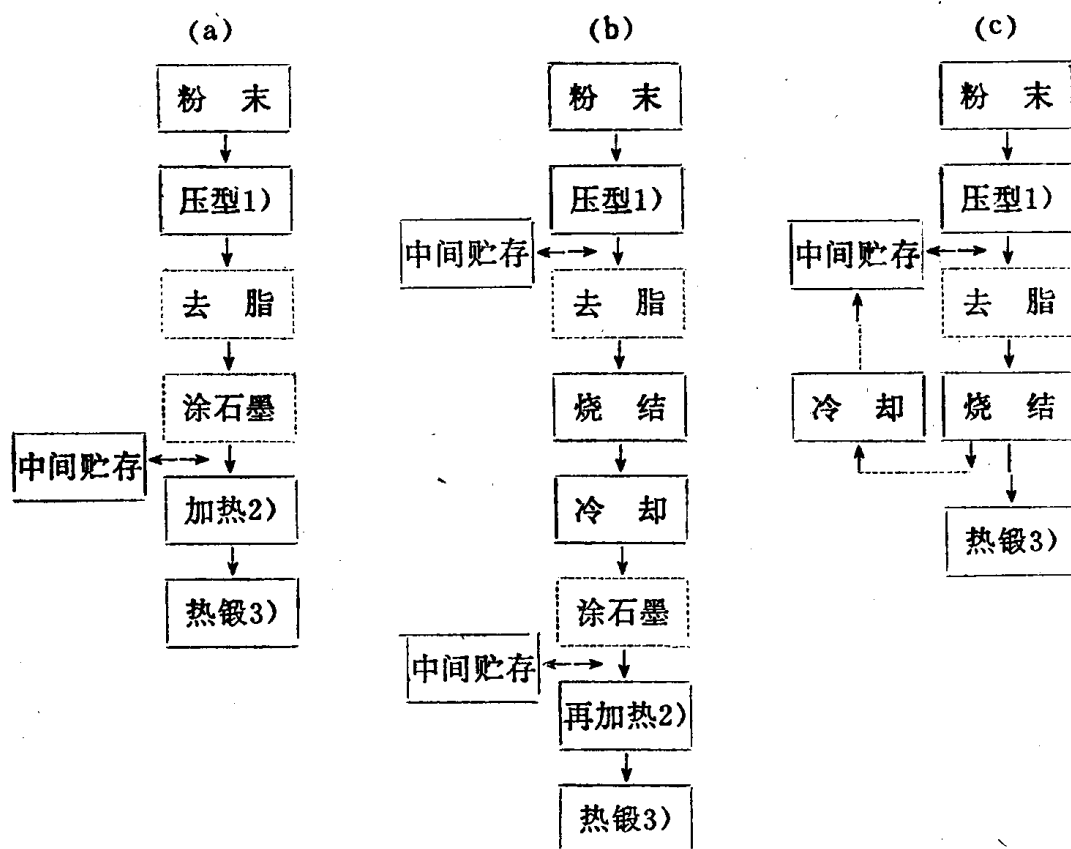
最后，还必须提到对粉末热锻零件的一个非常重要的性能要求，即切削性。虽然粉末热锻的目的在于省去尽可能多的机械加工，但总不能全部消除，因此在选用粉末时必须考虑到这一点。在各种粉末中加入少量以元素或以合金形式出现的硫，对于改善粉末热锻制件的切削性是有利的。

粉末热锻的不同方案

粉末热锻的三种主要方案列于表3

第一种方案(a)，是最简单的一种。一台粉末成型压机，一套加热设备和一台锻压机械组成一条生产线。成型压机可以是机械的或者液压的。成型原理可以是单向模压也可以是干袋法等静压制。在后一种情况下可以不用润滑剂，因而非常适合于感应加热。加热设备可以是一个简单的推进式炉，预成形坯一个接一个地通过金属加热室。根据作者的经验，这种方式对简单形状的预成形坯很适宜。这种型式的工业设备(图2)在作者的合作下，已由西德迪伦的HERBERT CREMER工业炉制造厂制造成功。这种设备有四个平行的加热室可以加热环形预成形坯(重量约0.5公斤)到1100°C，最大生产率为800件/小时。加热设备也可以是带式或链式炉。如果预成形坯形状简单、对称、有足够的导电性又不含润滑剂时，也可以用感应炉。

表3 粉末热锻的三种不同方案



1)单向模压或等静压制，后一种情况下，不用润滑剂，加热前的去脂也可省去。

2)在推进式、带式或链式炉中辐射加热，或者感应加热，后一种情况下，不能有润滑剂，预成形坯形状要简单。

3)热锻包括热复压、锻粗及挤压，参看表4。

第二种方案(b)不同于第一种方案的只是在成型压机和加热炉(在这里可称之为再加热炉)之间放置一台任何常规的预烧结炉。

第三种方案(c)是综合烧结炉和再加热炉为一个设备。乍看起来似乎是个非常合理的方案，因为免去了烧结和再加热之间的中间冷却。然而对这一方案仔细研究后，发现并不如此简单。假设1公斤重的预成形坯以500件/小时的速率进行热锻，则烧结炉也必须以500公斤/小时

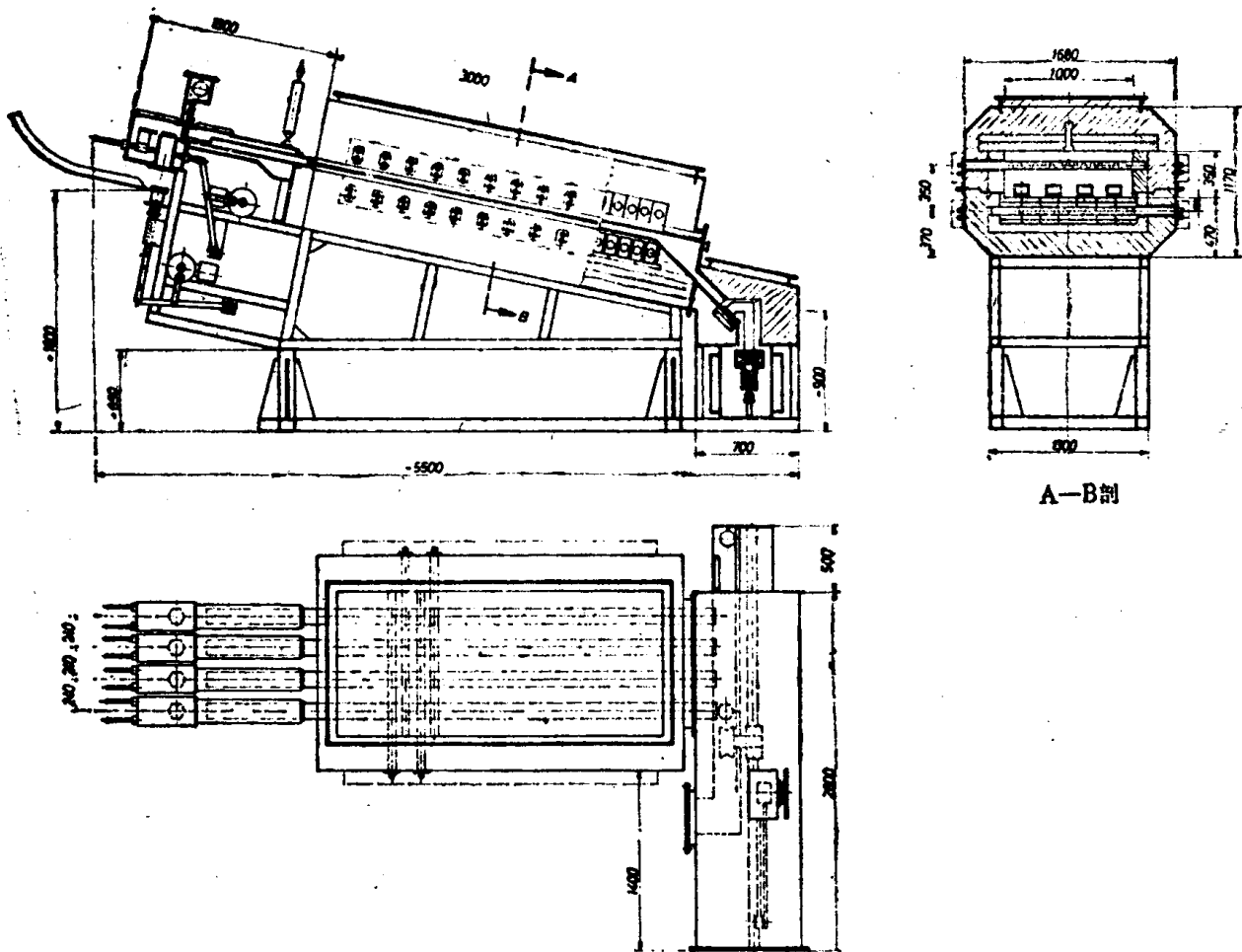


图2 辐射加热环状预成形坯的四通道自动推进式炉

生产率：最大800件/小时（400公斤/小时） 预成形坯的出炉温度最高1100°C

的速率工作，这意味着需要一个颇大尺寸的炉子，其中同时放置着许多的预成形坯。如果锻压机械以不变的速度连续工作，那么炉子不会出现任何问题。但是，如果锻压机械的速度由于某种原因突然发生变化，甚至停止时，那么从炉中输出预成形坯的速度也应相应地改变或者停止。这就意味着在炉子上不但需要一个控制速度的复杂机构，而且还需要有第二个出口以便将来不及热锻的坯件转移到一个冷却区去，需要时再重新送入炉中。假设锻压机械停工两小时（例如在调整或者调换锻模时），而炉子仍旧继续工作的话，则有1000公斤的预成形坯的加热将是白白浪费。可是，为了其他原因停止炉子的工作可能并不恰当。除了上述麻烦外，还应考虑如何使预成形坯从炉中以每小时500件，即每分钟8件的速度，一个接一个地输出的问题。由于这种尺寸的炉子必然具有一个颇宽的传送带，在其宽度上大概可以并排携带5到10个预成形坯，并且可能是上下两层重迭放置的。这就需要有一个复杂的机构以便在出炉前将多行排列转换成单行排列。即使在成单行排列时也要使预成形坯能保持所需的温度。

从这些原因可以看出，第三种方案至少不是一个很简单的，并且肯定不是一个很灵活的解决办法。

上述所有三种方案都有一个共同的重要问题，即粉末成型压机的工作速率比锻压机械为

低（至少目前如此），锻压机械的工作速率至少是500到600件/小时，而粉末成型压机则往往停留在300或350件/小时或更低的速率上。这就意味着或者为一台锻压机械配置两台预成形坯压机，或者是锻压机械开一班时预成形坯压机开两班。究竟何种办法更为适宜，取决于产量及其他具体的技术和经济条件。后一种情况下，需要设置人工或自动的中间贮存装置，为了更加灵活机动一些，在烧结炉和再加热设备之间也要求安排中间贮存装置。

另一个值得注意的是，粉末热锻所用的加热设备可能要与被加热预成形坯的形状相适应，因此缺乏通用性。

总结所讨论过的三种方案可以得出结论：最简单的也许又是最经济的方案(a)，由于省去了预烧结，似乎最适用于汽车非传动零件的生产。包括有预烧结工序的第二种方案在目前条件下或许最适于传动零件的生产。第三种方案也许太复杂和太缺乏通用性，对哪类零件都不是一个好的生产办法。

最后，指出下面这一点或许是有益的，即“粉末热锻”一词不仅在广义上用来指上述由粉末压型到热锻的全部加工过程，且而在更特定的意义上专指热锻工序。无论就广义或狭义来说，“粉末热锻”一词涉及所有不同类型的热锻方法。能自身说明问题的表4有助于区别特定意义的“粉末热锻”一词的各种分支。

表4 粉末热锻及其分支类型

粉末热锻

是指粉末压制的（在某些情况下是烧结过的）预成形坯用下列方法使之致密化

热 复 压	热 锻 锻	热 挤 压
即在不发生实质性的宏观材料流动条件下的致密化	即伴有较大横向材料流动的致密化	即伴有较大轴向材料流动的致密化

以达到下述要求：

残留孔隙 为1~5%	残留孔隙 <1%	残 留 孔 隙 <1%	残 留 孔 隙 <1%
---------------	-------------	----------------	----------------

可以把表4的说明和前面讨论过的问题联系起来，其中被叫做“热复压”的这类粉末热锻既可用于非传动零件，也可用于传动零件的生产。对于非传动零件，其残余孔隙度为2%或3%仍然是可以被接受的。对于某些传动零件，基于成形和强度两个方面的理由，热锻粗和热挤压或许是必要的。

刘汉炎译自《Powder Metallurgy International》

1974, vol. 6, No. 3 杨淳朴、匡映东校

第二部分：经济问题

提 要

本文这一部分对粉末热锻零件和用其他与之相竞争的方法所生产的零件的具体成本结构进行了详细研究，讨论了粉末热锻的技术经济潜力和应用范围。这些分析补充了本文第一部分已经讨论过的粉末热锻的技术问题。

全面论述粉末热锻与常规锻造之间的竞争能力，是非常困难的，但是对数量有限的经过精心挑选的个别例子进行仔细研究，不仅可以对特殊成本结构提供有价值的见解，而且还可以对预测其他情况给以有效的一般性指示。为此目的，选择了如图1所示的三个汽车零件。

第一个零件，即差动齿环，是一个典型的传动零件，它要求高的淬透性，高的耐疲劳强度和抗冲击强度，因此需要用较昂贵的粉末，并采用包括预烧结工序的粉末热锻方法，但另一方面，它却可以省掉昂贵的后续机械加工。

第二个零件齿轮箱齿轮也是一个典型的传动零件，但它在粉末热锻时不能大量节省机械加工（因为其上有螺旋齿），并且还必须既和

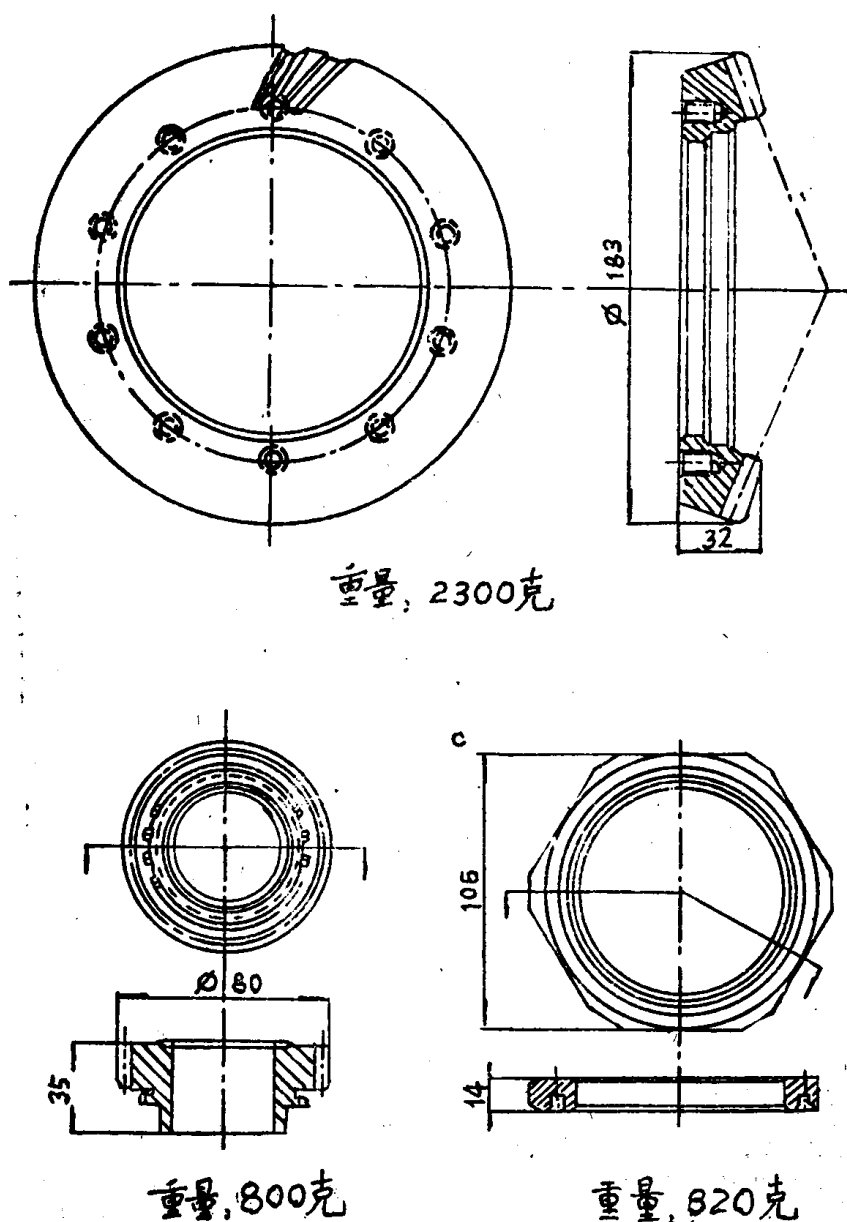


图1 本文为成本分析所选择的汽车零件：

- a) 差动齿环，b) 手动齿轮箱中的螺旋齿轮，
- c) 卡车后轴六角螺母。

常规锻造相竞争，也和HATEBUR压力机上自动传送锻造相竞争。这些自动压机能生产轴对称的毛坯，其直径可达120毫米，速率可达4~5,000件/小时，切屑仅占5~10%，并且比开式模锻更接近最后的形状尺寸。

第三个零件六角螺母，是用作固定卡车后轴滚动轴承的，它被选作一个典型的非传动零件。可以采用廉价的粉末，用不需预烧结的简单粉末热锻方法（热复压）制造，并且可省掉昂贵的机加工。

对于所有这三个零件，采用了从各种有关来源得到的用常规锻造生产时的实际生产成本数字，但按其不同的产量和管理费用作了相应的调整，并为了易于在不同方法间进行比较，将管理费用完全除去。（注1）

六角螺母的粉末热锻成本计算大部分是根据瑞典 Haeganaes 公司粉冶工艺研究所进行的大量试验性生产的经验而来的。另外两个零件的相应计算则部分是根据对应条件的实际成本数字，部分是根据定量估计。所有的设备成本数字是根据1973年在欧洲和美国的有关工业中的实际市价或类似的情报。劳动成本、能源成本、房屋成本和投资利息等为了方便起见是根据1973年在瑞典所通行的条件取得的，但经过适当修改后也适用于其他欧洲国家。也为了方便起见，不管来源如何所有的成本数字均以瑞典克朗表示。（注2）

上述三种零件的粉末热锻工艺的成本结构表示于表1及表2。表1的成本结构是按不同工序列出的，表2则是按不同种类的成本列出的。

这些成本结构中的数字来自本文第三部分的详细成本分析。

由这些表可以说明如下重要事项：

1、粉末成本在所有情况下都居支配地位，特别是齿环，它的粉末成本占总的粉末热锻成本的77~80%（根据毛坯的形状和重量而定）。至于由便宜粉末制成的六角螺母，其粉末成本仅占40~48%。

2、型坯压制成本和热锻成本相对地说与零件重量无关，而烧结成本可以想像得到是随零件重量的增加而增加。这些关系的一个重要结果是：对于较重的齿环毛坯其烧结成本几乎有型坯压制成本和热锻成本两者之和那样大，而较轻的齿轮箱齿轮毛坯的烧结成本则较这两个成本之任何一个都要低。

3、较重的齿环坯毛的管理费用是相对地小（约占10%），而对很轻的六角螺母来说却相对地大（约占40%）。乍看起来，这说明在粉末成本的显著影响下可以看出管理费用的百分数对毛坯重量的依赖性惊人的。去掉粉末成本则管理成本、劳动成本、工具成本和能源成本的分配大致上与毛坯重量无关。

4、毛坯每单位重量的总粉末热锻成本随毛坯重量的减少而适当地增加。

现将从表2查得的三种不同的粉末热锻齿环毛坯的成本数字与常规锻造毛坯的相应数字进行比较。便可由图2看出，只有节省机加工最多的粉末热锻毛坯设计方案“D”才比常规锻造毛坯便宜。然而，当在成品齿环之间而不是在毛坯之间进行比较时，这个图象就完全改变了（参看图3和图6）。从图2还可以进一步看出，去掉材料成本后，剩下的粉末热锻成本与剩下的常规锻造成本是同一量级的。初看起来这种情况似乎是奇怪的，因为在所用的粉末热锻工艺中比在常规锻造工艺中包含了更多的工序。然而，其原因却在于：对于同样的零件，热锻压力机与常规锻造压机相比，工作速率更快些，也更小些更便宜些，粉末热锻的工具成本也显著地比常规锻造小，其理由已如前述。

表1 用不同的粉末热锻方式生产的三种不同汽车零部件毛坯的工步成本结构

零件 (1)	差	动	齿	环	齿轮箱齿轮	六角螺母
年产量	1,000,000					250,000
粉末热锻方式 (2)	b					a
粉末类型	雾化4600 (4)					海绵铁粉混合物
粉末成本 (克朗/公斤)	2:50					1:75
毛坯设计 (3)	B	C	D		C	C
毛坯重量 (克)	3,250	2,750	2,300		800	445
粉未成本	8:13	80.5	6:88	79.2	5:75	77.2
压型成本	0:38	3.8	0:38	4.4	0:38	5.1
烧结成本	1:06	10.5	0:90	10.3	0:75	10.1
热锻成本	0:53	5.2	0:53	6.1	0:53	7.1
总成本	10:10	100.0	8:69	100.0	7:41	100.0
总成本 克朗/公斤	3:11	3:16	3:22	3:88	4:35	3:61

1、参考图1。

2、b=压制型坯—烧结—复热—热锻。

a=压制型坯—烧结—热锻，参看表8。

3、分别参看图5，6，7。

4、1.8%Ni，0.2%Mn，0.5%MO+0.2%C。

5、Fe+1%Mn(锰铁)+0.6%C。

表2 用不同的粉末热锻方式生产的三种不同汽车零部件毛坯的分类成本结构

零件(1)	差	动	齿	环	齿轮箱齿轮	六角螺母
年产量	1,000,000				1,000,000	2,500,000
粉末热锻方式(2)	b				b	a
设备成本(克朗)	5,465,000				4,600,000	2,500,000
毛坯设计(3)	B	C	D		C	C
毛坯重量(克)	3,250	2,750	2,300		800	320
成本种类	克朗/件 总的% 克朗/件 总的% 克朗/件 总的% 克朗/件 总的%				克朗/件 总的%	克朗/件 总的%
粉末	8:13	80.5	6:88	79.2	5:75	77.7
资金、维护、厂	0:91	9.0	0:86	9.9	0:81	10.8
房、一般服务	0:16	1.6	0:16	1.8	0:16	2.1
工具	0:52	5.1	0:45	5.2	0:39	5.3
电力、蒸汽、水等	0:38	3.8	0:34	3.9	0:30	4.1
直接+间接劳动	10:10	100.0	8:69	100.0	7:41	100.0
总成本	10:10	100.0	8:69	100.0	7:41	100.0
	0:61	100.0	1:39	100.0	0:16	11.5

1、参看图1。

2、b=压型—烧结—复热—热锻。

a=压型—加热—热锻，参看表8。

3、分别参看图5、6、7。

- A = 常规开式模锻
 B = 粉末热锻，省掉一道车加工
 C = 同“B”，省掉二道以上的车加工
 D = 同“C”，省掉附加的铣齿加工
 注：除材料外，经常费用均不包括在内。
 （参看注1）

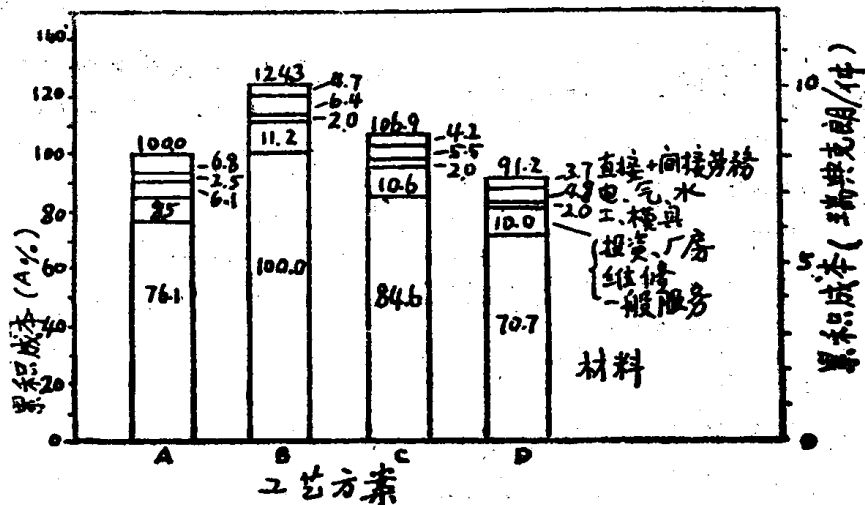


图2 在产量为一百万件/年的情况下用不同工艺方案生产差动齿环毛坯时的分成本结构

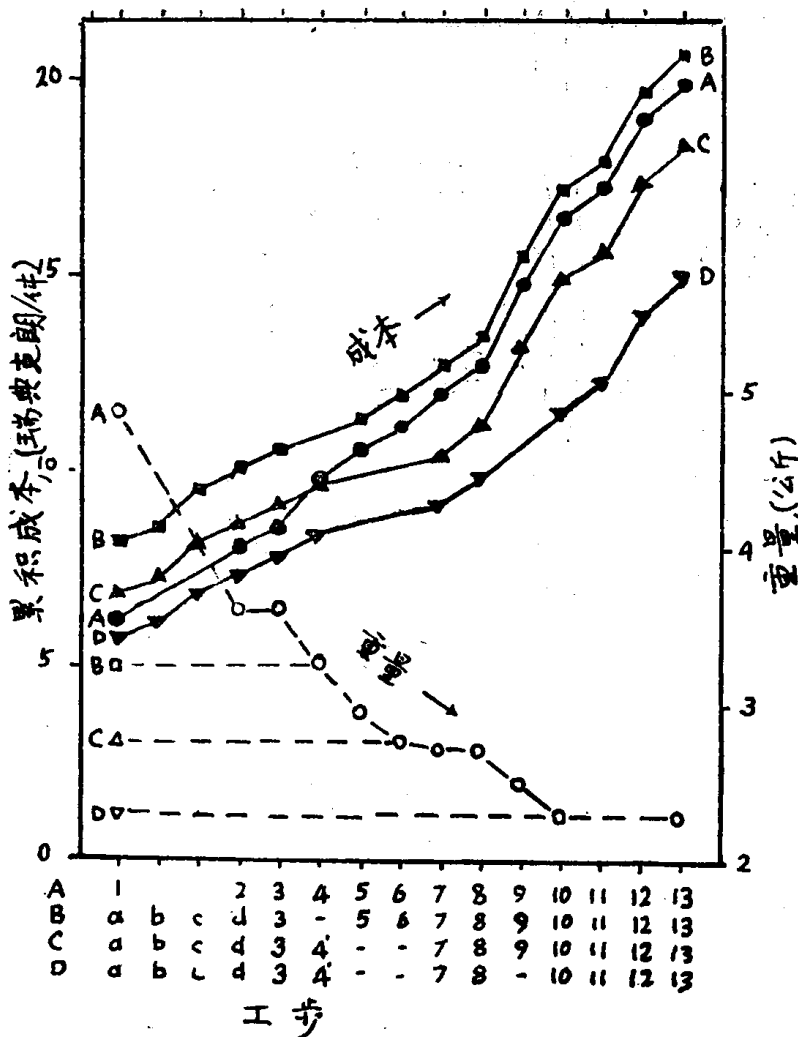


图3 产量为一百万件/年时，生产差动齿环的累积成本、重量下降和工序的关系

注：除材料外其他经常费用都排除在外（参看注1）

工艺方案：

- A = 常规开式模锻和机加工
 B = 粉末热锻，省掉一道车工
 C = 如“B”省掉二道以上车工
 D = 如“C”，省掉附加的铣齿加工

工艺过程：

- a = 备好粉末 (AISI—4620型)
 b = 压制型坯——中间贮存
 c = 烧结——中间贮存
 d = 复热（感应）——热锻
 1 = 坯料（取自AISI—8620型钢坯）
 2 = 加热—锻造—切边—喷砂
 3 = 正火
 4 = 第一道车加工，4' = 去毛刺
 5 = 第二道车加工
 6 = 第三道车加工
 7 = 钻孔
 8 = 打标记
 9 = 铣齿
 10 = 磨齿
 11 = 打标记和检验
 12 = 渗碳和表面硬化
 13 = 磨内圆