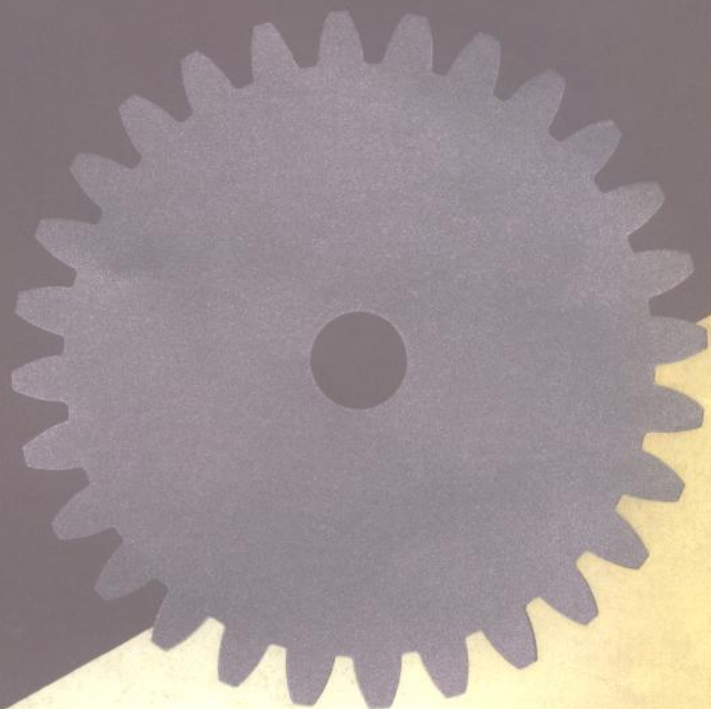


粉末冶金译丛



粉末冶金工艺与模压工具的设计

上海市仪表电讯工业局技术情报所

3200-67

前 言

应用粉末冶金技术,不但能制取那些用一般方法所不能制造的特殊材料,而且可以从粉末直接制成各种零件,完全不需要机械加工或者可以少加工。粉末冶金方法应用于无线电技术和仪器仪表制造方面,正同应用于其他各个工业部门一样,显得越来越重要。在通常的粉末冶金工艺过程中,其主要工序是:粉末混合、成形、烧结以及附加工。按不同的粉末材料或最终制品的性能及其形状的要求,有时这些工艺参数就有很大的差异,甚至采用完全不同的工艺方法。尤其是粉末成形和烧结,对粉末冶金来说显得更为重要。

本译丛共分两辑,本辑着重选译了有关粉末冶金工艺方面的一些文献。目前粉末冶金工艺在国外已有相当发展,仅仅成型工艺方面已有:模压、热压、挤压、流体静力压制、粉浆浇铸、冷冻浇铸、爆炸成型和轧制等多种。因限于篇幅,在粉末冶金工艺方面,我们只就现在国内生产上最需要的资料选译了一部分,作为这一辑的内容。

· 所收集的文献共有十七篇,包括:设计、模压、烧结和附加工等四部分。在本辑中,首先介绍了粉末冶金的概括工艺过程和它的经济性,对于某些适于采用粉末冶金方法加工的零件作了详细的经济核算分析,对如何合理考虑选取粉末冶金加工技术大有裨益。在粉末金属零件的设计、模压工具设计以及压制工艺方面分别作了详细描述,尤其是关于模压工具设计方面的资料更有实用意义。在烧结方面,对目前经常应用的铁-碳、铁-铜和铁-铜-碳在两篇文章中分别有所阐述,并且提及烧结收缩和胀大的问题,可供压模设计的参考。此外,尚有两篇专门叙述最近几年来有关活化烧结的报告。烧结时的保护气氛是十分重要的问题,国内一般对于使用氢气或分解氨作为保护气体较为熟悉,但吸热型或放热型控制碳势的烧结炉气氛似乎尚未应用,同时也比较生疏。为此,特选译了一篇关于这方面的资料,为今后即将使用的保护炉气氛提供一些较完善的概念。目前国内在铁粉烧结零件的防锈问题上尚未获得满意的解决,在最后几篇关于粉末零件的附加工的文献中,分别引述了关于浸渗、热处理以及表面保护等方面的問題,也着重提到了关于粉末零件在电镀之前的几种不同的预处理方法。

总的来说,本辑所选用的文章基本上是偏重于粉末零件的生产工艺,这也是当前国内粉末冶金工业方面所需要参考的。

本辑由第一机械工业部机械科学研究院材料研究所仲文治同志负责主编。由于翻译、审核和选编的时间匆促,以及水平所限,错误之处在所难免,敬希读者指正。

目 录

設 計

粉末冶金方法的計劃和經濟性 (1)

粉末金屬結構零件的設計 (12)

模 压

关于金屬粉末的压制 (20)

粉末冶金的压模工具 (25)

复杂形状粉末冶金零件的压制模和整形模的設計原則 (46)

燒 結

結構零件的燒結 (54)

应用于粉末金屬零件燒結的吸热型保护气氛发生器 (64)

鉄-碳-銅粉末压块的燒結 (68)

鉄-銅-碳粉末压块的燒結 (75)

活化燒結的研究(一) (80)

活化燒結的研究(二) (85)

附加工

浸滲銅的多孔性鉄的特性 (88)

燒結鉄的热处理 (98)

粉末金屬零件的硫化处理 (101)

粉末金屬制品的电鍍 (102)

鉄粉末金屬制品的表面处理 (107)

預先用鈍化液填充孔隙的粉末金屬零件的鍍鋅 (109)

粉末冶金方法的計劃和經濟性

George H. De Groat

在卓有成效的制造工作中，每一个可以节约工时、消除費用昂貴的工序，或者降低成本的生产方法或工艺，必定会被仔細地研究以应用到现代化的工业生产中。与此同时重要的是，必須促使一个零件或产品改进质量、延长寿命和取得更好的性能。因此，新的方法、新的材料和新的設備自然会受到制造厂商的密切注意。

粉末冶金就是具备以上这些优点的較为新穎的生产方法之一，近些年来已被广泛应用，因而有力地推动了这門工业的成长，刺激其工艺技术在多方面获得了很大的发展和改进。

粉末冶金应用的两个 主要方面

这門科学沿着两个不同的方向迅速发展着。首先，最为人所熟諳的，是运用粉末冶金学的原理来生产以其他方法所无法制得的特殊性质的材料。

用粉末冶金方法可以在熔融状态不能形成合金的多种不同性质的材料制成零件。亦包括了为获得一个依然保留着每种金属固有特性的产品，而制成一些金属的复合材料。例如以銅和鋼合成一种自行釐焊的材料；以銅、錫、鉄、鉛、石墨和硅石混合制成具有高度耐磨性的表面；和在銅內加碳制成整流器的电刷。近年来所发展的“陶瓷金属”（陶瓷和金属）亦属于这一范畴。

粉末冶金在另一方面的应用是将不能采用其他任何成形方法的极硬或极脆的材料制成零件，并按照所要控制的孔隙度、特殊高的密度和磨擦的特性来生产成品——这一些特性是用其他的方法所无法控制的。含油軸承即是一个早期的例子，可說明在粉末冶金制品中可控制的孔隙度的价值。这些軸承当燒結完成后，即浸透潤滑油，在其中各細孔之間相互联接的小沟构成了儲油机构，同时当軸承在工作状态时又能如毛細管一样，将潤滑油引向表面。

粉末冶金发展的第二个趋势是在制造所謂結構零件即机械零件中和其他的各种加工方法进行着直

接的競爭。經常可以发现，那些以机械加工、压鑄、精密熔模鑄造、冲压、鍛造和其他方法制造的零件，能更为有效地以粉末冶金方法来生产。凸輪、齒輪、鏈門、杆柄、棘爪、鎖件、托架、导块以及无数的其他零件已在大量生产，并取得以其他方法所不能达到的經濟效果。由于减少了甚至完全消除了机械加工的工序，省去了装卸工件的操作，避免了在机械加工中切屑重量往往还超过工件本身重量的材料浪费（图3）。在以粉末冶金工艺制造結構零件时大大地降低了成本，并节省了可观的工时。在这方面，可以在尺寸、形状和复杂程度上达到一个极为广闊的范围。除此而外，由于粉末冶金零件可以具有儲油和自潤滑的性能，常常較淬硬的鋼制零件更为耐久。

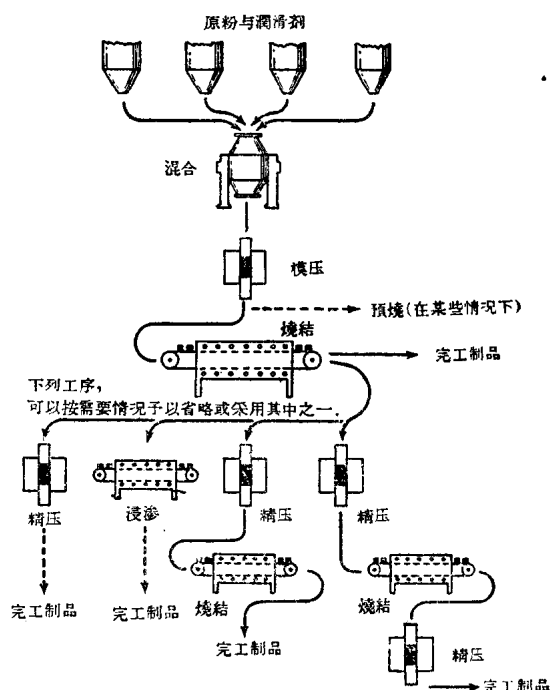


图1 粉末冶金方法工艺流程图

图示在生产結構零件中所需的各道工序。如图中所見，在燒結后即可产生完工制品，亦可再經過随后的任何一項或全部加工步骤。除图示的情况以外，尚可增加或插入渗碳、热处理、引伸、蒸气处理、发黑、电镀、浸油、机械加工等工序或其綜合工序。

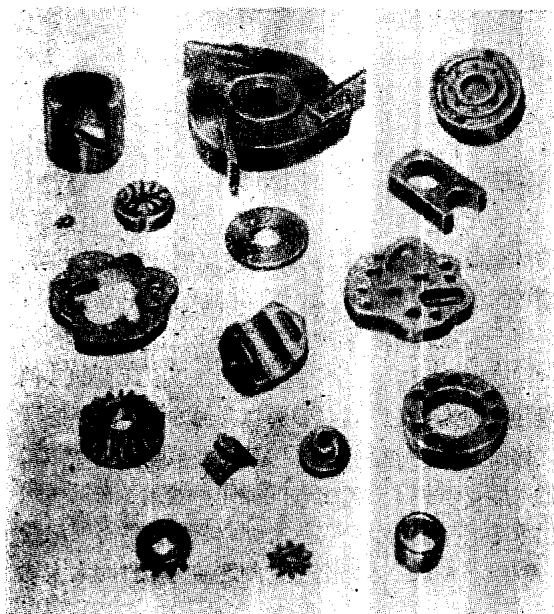


图2 在机器或其他类似设备中所应用的各种结构零件,包括齿轮、活塞、阀门、凸轮、垫圈、极靴等等。这些粉末冶金零件的性能要求中包括了强度、耐磨性能及尺寸精度等等。

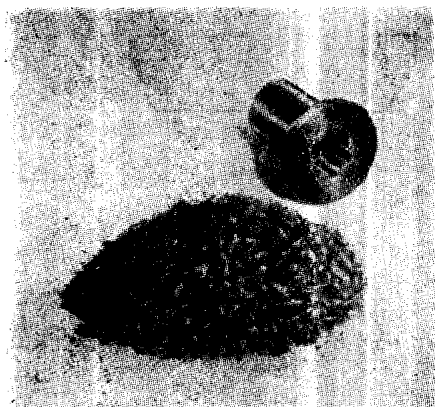


图3 图示通过模压和烧结制成的这个典型的粉末冶金零件节省材料的情况。切屑反映出以通常的机械加工方法制造同一零件过程中所要耗损的材料。

当采用一个粉末冶金构件以代替若干个以其他方法制成的零件时,往往也省却了装配工序。

工艺过程概要

粉末冶金零件的生产方法涉及一个很广泛的范围(图1),其中并存着冷加工和热加工的工序,同时这也是一个综合了粉末冶金学和熔融实践经验的特殊工艺技术。

粉末冶金的控制线材是人所共知的,即以已经过热处理的粉末压块进行锻打、加热锤击、型锻等热加工,及以粉末制成的锭坯进行热轧和拉丝。

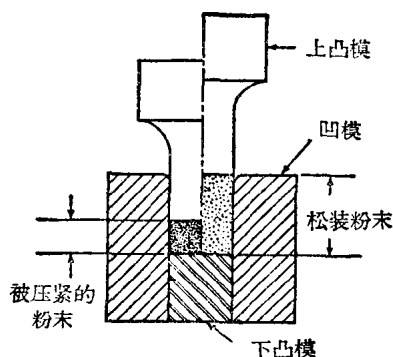


图4 压制模具的最简单的形式,以上、下凸模及凹模所构成。在本例中松装粉末压紧后的压缩比为2.5:1。在这里粉末系加在凹模中的下凸模的端面上,单独由上方施加压力。然后升起下凸模以顶出已压紧的压块。

在最通常的方式中,其过程必先由准备粉末开始,进行粉末清洗、干燥储藏、检验、混合入便于压制的增塑剂,或是混合入合金粉末以构成复合组织。可以用不同的混合方法进行;可采用湿粉或干粉,在某些情况下可在球磨机中混合。

然后进行模压或压制,通常均在常温下操作,其压力和生产率随着零件的尺寸、外形及粉末的组成等情况而异。在这一工序中,将一定称量的粉末置于有适当形状的凹模中的两个凸模之间进行压制。零件上所需任何形状的孔穴可借芯棒在平行于压制力的方向制出。对于结构零件所常用的模压压力范围为28.1~70.3公斤/毫米²;对于多细孔的轴承、过滤器及其他类似零件的模压压力宜取得略低一些。较高的压力适用于压制铁、钢、紫铜、黄铜或青铜的结构零件。通过本工序,使具有不规则形状的金属粉末的粒子互相结合起来形成了具有足够强度的外形状态,因而当压力除去后可以由凹模中顶出而卸下。

再下一个步骤,通常是要在一个具有还原气氛的炉子内对压块进行热处理,其温度要接近但低于其固态金属的熔点,以产生分子之间的附着力,这一工序称为“烧结”,是将模压后的生坯转化成为坚固的金属件,类似以锻造的金属所制成的零件,但较其更轻、价格更廉,同时某些性能上较致密金属更为优越。有时候为了要获取特殊的性能,要进行多次

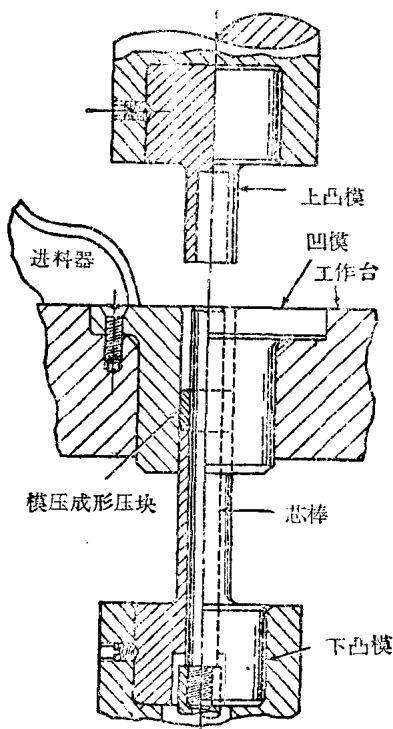


图5 一个形状简单的筒状的粉末冶金零件的压模剖视图,表明了其压制方法。粉末由一自动进料器注入凹模中的下凸模上,后者正位于“进料”位置以容许将已预测其容积的粉末倾入模内,并调节被压制件的长度。在本例中,凹模中可加粉的容积和被压制件长度之比约为3:1。加粉后上凸模进入凹模即将粉末在上下凸模之间压到所需的高度。在移去上凸模后,下凸模上升而顶出被压制件。并由于芯棒而形成了中孔

的烧结,但在极大多数情况下一次烧结即可。

很多工件的制造过程到此即告结束。但在另一些情况下,为了要获得特殊的性能,或者因为所要求的外形不能仅由压制来解决而需要增加其他工序。后一类情况包括以机械加工螺纹孔、外螺纹、与压制方向成一定角度的孔及凹槽等;齿轮的剃齿,以及其他工序等。

为了要取得在模压工序的条件下所不可能形成的某些尺寸的公差,往往要将烧结后的压块再在特制的模具中进行“整形”或复压。由于烧结引起尺寸变化,所以当需要特别精密的尺寸时,即有必要在淬硬的工具钢的模具中将工件复压到准确的公差。这一工序通常是在高速的压机中快速地进行。与此略为近似的一项工序有时也常被用来提高工件的密度,即“精压”。这一工序包含了将烧结过的工件放

在紧密的模具中复压,以达到增加密度和使其结构加强的目的。有时按照特殊的零件及其所需要的条件,可将整形和精压工序合并起来;在某些特殊的例子中,工件可被整形或精压两次或三次。



图6 典型的模压设备以高度的生产率压制汽车工业用的构件。图中模具正处于顶出位置,一个工件正顶出凹模与凹模工作台面位于同一水平。进料器(未摄出)将这压块推入盒内并在模内为下一个工件加料。

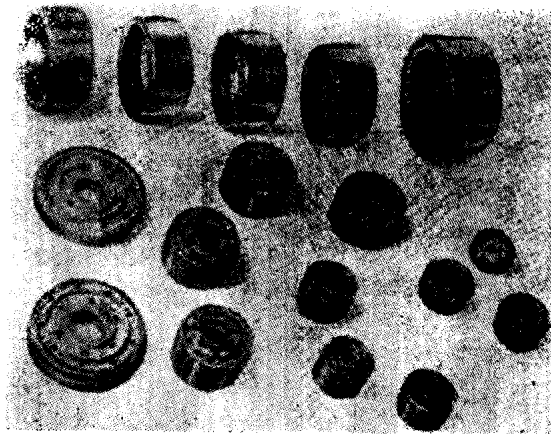


图7 制造汽车零件是粉末冶金应用的最大领域之一。这里是用于转向机构和孔动副总成中的一些有代表性的零件。

在烧结之前,时常将模压过的生坯先经过一个低温度、短时间的加热阶段,称为“预烧”。这是用以增加压块的强度,使其在烧结前的搬运中可以不致碎裂或变形。有时候应用预烧是为了烧去一种模具润滑剂或粘结剂,后者往往是以一种液态的附加成

分而加进去的。然后开始进行常规的燒結工序，以取得适当的密度、硬度和强度。

“浸渗”亦是工艺方法中的另一部分，用来使粉末冶金制品添加一些额外的物理性能。当需要的

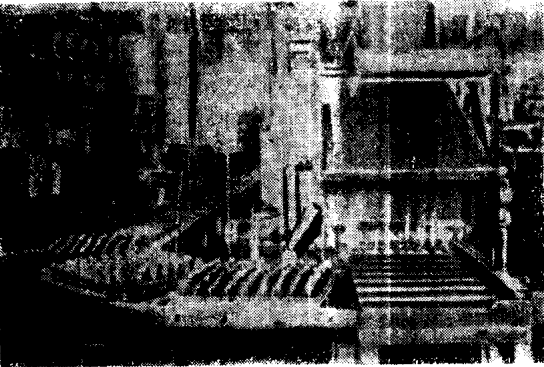


图 8 燒結工序通常在具有可控制的保护气氛的連續炉中进行。构成压块的粉末顆粒在低于其中基本金属熔点的温度中相互結合而形成一個堅强的金属构件。在很多实例中，和以鍛造的金属所制造的工件无法区分。

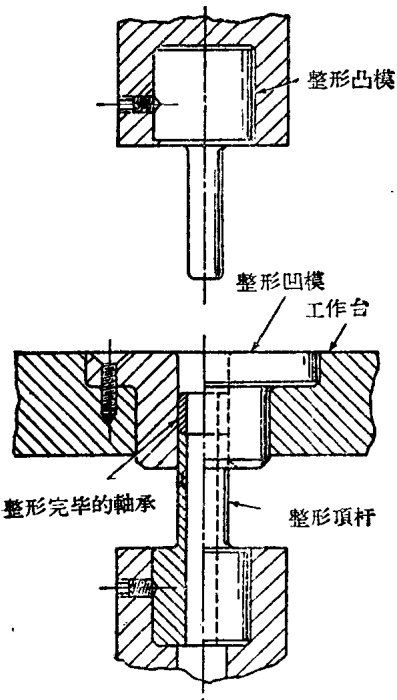


图 9 当單純的压制和燒結不能取得某些尺寸公差时，通常即在燒結后进行整形。图中即为用于一个需要精密的外徑与孔徑尺寸的圓筒状工件的模具。由上凸模貼紧工件的内孔将工件压入外徑整形凹模中，当工件停止在下方的頂杆面上时，凸模繼續压进而完成內孔的整形。然后抽除凸模，待下方頂杆上升到工作台平面而頂出工件。

高密度单纯用压制和燒結过程无法获得时，通常便采用这一步驟。在这个工序中，将熔点比工件基体成分熔点低的地料的散粒或小丸放在尚未送进燒結炉的工件生坯或已經过預燒的压块的上面。当这些丸粒被燒結时的温度所熔化，即均匀地渗透入压坯的組織，充填入燒結零件内部所必然具有的細孔中。根据这些材料的不同成分，浸渗过程就产生了具有高强度和硬度的或具有大的延展性和耐冲击性能的工件。

以一般的热处理方法可以淬硬鉄合金的粉末冶金工件。同时亦时常采用氮化、渗碳及其他热处理方法来进行表面硬化。渗碳的工件可以获得任何所希望的深度乃至完全渗透的硬化层，而工件的密度和孔隙度則和未經渗碳前的原結構几乎一致。由于这一工序将略使尺寸脹大和歪曲变形，因而如果所需公差較紧即必須再經机械加工，不过很少需要大量的去除量。除鉄基合金以外，其他材料亦均可适用通常的热处理。



图 10 在大型設備中，压模置于燃結炉兩端的附近，以簡化材料的处理

为了一些特殊的目的，亦常可采用滾轉、磨削、鍍复和其他的各种工序。

工艺过程的设计主要按每个具体任务的需要而决定。有的工件可能需要較多的上述这些工序；另一些工件可能需要得少一些；还有一些工件可能仅仅需要經過压制和燒結。

优点

若干年前，粉末冶金結構零件的生产几乎毫无例外地采用制造含油軸承的工艺。以后随着較好的粉末、加热炉、工具和压制設備的发展使工艺方法有了进步，使其应用范围由具有均匀截面的及其强度

类似鑄鉄的簡單工件，扩大到具有各种不同截面的及其强度与經热处理后的合金鋼相同的复杂形状的工件。在任何一個工艺方法中，高强度的粉末冶金工件的成本自然比不需要特殊工序的工件为高。如果确定一种材料的强度超过了实际需要的程度时，所造成的較高成本实质上即降低了从这方法中所期望的节约。

很多机械零件之所以用鋼制造，并不是完全为了需要鋼的机械性能，而是因为鋼是最廉价适用的原材料。这种应用鋼鉄的习惯有时影响設計师們对粉末冶金构件也制訂了与鋼同样的强度要求，虽然对于具体的工作物是并不需要如此的。为了要获得粉末冶金的全面的优越性，結構零件設計师們必須要正确地决定工件所需要的强度、延展性和硬度。他們經常可以发现只需要采用基本的粉末冶金工件而无需特殊的处理。很多場合仅需应用强度与鋼相近的工件；而有时他們则需要粉末冶金技术所能提供的一切特点。在任何情况下他們必須明确对工件特性的要求，制造所付的代价，不要超过他們所实际需要的程度。

粉末冶金的一个值得注意的优越性即在于能全面控制其物理性能，对于一个使用者能切实地解决其所需要。抗拉强度、延展性、冲击强度、韧性和硬度等无一不可滿足要求。以燒結鉄粉所制造的构件通常可以达到抗拉强度为 21.10 公斤/毫米²，以冷軋鋼材所制构件的强度則为 31.15~56.20 公斤/毫米²。通过增加燒結零件的密度，其强度可以高于从單純的压制和燒結过程所获得的结果。在許多增加密度的方式中，主要的是应用較高的模压压力或是采用可压缩性較大的粉末。在燒結之后，可以加用精压工序。如果需要增加延展性，則工件在精压之后必須再燒結一次。可以增加燒結的温度和时间，以促使工件具有較多的收縮从而增加其密度。对于低密度的結構零件中的細孔，可以在燒結进行时用低熔点合金如銅或鉛进行浸滲。采用了这些或其他措施处理后，抗拉强度可以提高到 35.15~49.20 公斤/毫米²，甚至达到 70.30 公斤/毫米²以上。

另一种制造高强度粉末冶金制件的方法是采用热压，这是将通常的压制和燒結工序合并进行，用于生产特別高密度的工件。热压方法除了在相对低的压力下能获得很大的强度之外，并且能在一个单一的工序中使粉末冶金零件达到坚实的密度而不需要一个单独的燒結工序。这种工艺在实际进行中技术較难，同时生产的粉末冶金制件的成本也較高。

必需的条件和限制

粉末冶金除了被用来达到一些以其他方法所不能获致的特殊性能之外，通常只有在大批量生产同一工件时才是經濟的。由于其模具一般地都很昂貴，更换压机机具裝置的費用也很高，所以它在本质上是一个大量生产的方法。在很多情况下只有长期連續生产才合算。工件一般均以每小时 500~5,000 件的高速率进行生产，对于形状簡單的小零件还可以更快一点。每次裝置机具所需的時間視所采用的模具与操作的复杂程度而异，約为 1~30 小时。

一般认为經濟的最低生产量約为 50,000 件，視工件的尺寸、形状和材料而定。大量生产明显地有利于在一个合理的时间周期内來分攤工具的費用，因为模具的成本对于小而簡單的工件为 150 美元，对制造大型或复杂的工件为 2,000 或 3,000 美元，甚至更多。

在符合一定需要的情况下，虽然是少量生产的粉末冶金零件也能带来很多好处。正在使用中的一个粉末冶金零件，其每月制造的各种零件的批量由 50 件直到 250,000 件。采用这种极小的批量是因为如果应用普通的制造方法时，将需要进行特殊的和繁复的机械加工。

另一个工厂声称他們制造粉末冶金零件的年生产量低到 1,000 件，但每年获得了 40~80% 的成本节约。应用小批量的粉末冶金零件而取得成就，首先要决定于四个支配因素。第一个要求是这个零件必須是按粉末冶金的特点来設計的，因为按这种工艺而設計的零件，比原来为其他方法所准备的設計而采用粉末冶金法制造时，所引起的参数变化可以少得多。第二个要求是要有良好的工具設計，这也是对任何規模的粉末冶金生产的共同要求。第三是标准化工作，对有些零件的設計可以做到以一套工具或以其中的一部份来公用于若干种不同的工件。最后一点，是要由固定的一部份人員來严格控制工艺过程，以防止各种变化和返工。

虽然工具的成本一般均随着工件的尺寸而增加，但小而复杂的零件的模具可能比大而簡單的零件要昂貴得多。同时，工具的費用很高，这是由于預計到在长期不間断的使用下，时常有必要制造芯棒、凸模等額外的易耗配件或成套的备用模而造成的。在大量生产中应用旋轉式压机时，需要多倍的工具，有时有必要采用具有成打凹模和若干套凸模的結

构。一般的淬硬工具鋼的凹模因被磨損而必須進行修理或更換之前，可以生產 50,000 到 250,000 個工件，主要視所加工的工件而定。大的模壓壓力會縮減工具的壽命；形成小孔用的脆弱的芯棒常易損壞；同時某一些粉末又較另一些粉末的磨損性大得多。

硬質合金的凹模比鋼質凹模的壽命遠為長久，但是如果需要硬質合金凹模具有複雜的形狀時，工具費用就會很高，而大批量的生產往往就必須要求其成本具有保證。製造花鍵、齒輪、凸輪或其他形狀工件用的未經燒結過的硬質合金模具坯件，可由專門工廠供給，在其燒結後尚保留 0.25~0.37 毫米的磨削和研磨余量，將模具做到最後的尺寸還需要長時間的細致的加工。由於目前對高密度的鐵基工件的普遍需要，硬質合金鑲嵌的採用正與日俱增，因為高密度的工件對鋼質凹模的磨損要比一般的粉末冶金工件迅速得多。例如某公司在生產高密度工件方面即完全採用了硬質合金模具。

在製造粉末冶金零件的工具中需要最好的實際經驗。鋼制的模具通常採用高碳高鉻鋼淬硬到 $R_{c}62\sim65$ ，或是用同等硬度的高速鋼。凸模和芯棒同樣也以高級的工具鋼製成，並經過妥善的熱處理。凸模和凹模間及芯棒和凸模之間的最大單面間隙，舉例來說，必須保持在 0.005~0.0125 毫米之間，按所用粉末的粒度、壓塊的大小和所需的精度而定。光整的工序是非常重要的，凸模的端面、芯棒的工作表面，特別是凹模的型腔壁都需要有鏡面的光整程度，這往往是以紅粉順着壓制的方向研磨或拋光而得。在表面上即使是有極微小的只能以顯微鏡察見的疵痕，也將在高壓力下被嵌入細的粉末而在頂出階段造成壓塊撕裂。

一般地說，在压制凹模中要避免有錐形或斜度，否則固有粉末陷入，而使工件上產生飛邊或毛刺，況且工件的尺寸精度也往往不允許採用斜度；這樣，在緊密的公差中要保持一個長而直的型腔就給工具製造者提出了添加的問題。在可能的情況下，可以採用極小的斜度，因為這可以大大減輕頂出時的摩擦力；但是在凹模中所能採用的程度要視所制工件的精度要求而定。在最理想的情況下是容許將工件壓入一個具有斜度的型腔中，當不可能如此做時，由直筒形的型腔中頂出工件必然會產生可以想見的摩擦和磨損現象，這是相應縮短凹模壽命的另一個因素。

在計算工具費用時，同樣應將整形和精壓的模

具考慮在內。它們在很多方面和通常的冷沖壓模具很相似，也時常在普通沖床上使用。但是，它們的價格並不便宜，只有在大批量生產的情況下採用整形和精壓的工序方能被認為經濟合理的。當需要進行再次的機械加工以製造模壓所不能解決的形狀時，在這些工序的成本中就要包括增加的工具費用。這裡就要將鑽具、夾具、切削刀具，以及為了長期生產所應配備的自動進料和脫卸裝置等的費用計算在內。

檢驗工具，包括裝在模壓生產線上的用以防止對超差工件再繼續加工的試驗設備在內，也都是需要的。標準的檢驗量規可以不至於成為訂貨者的負擔，可是當具有特殊的性質、尺寸和其他各種要求時，就得將特殊量具的費用再增加到全部的工具費用中去。

工具的維修問題同時亦必須加以注意。壓模不斷地需要更換已磨損或損壞了的芯棒，凹模的型腔必須重加光整，或者有時在其形狀許可的條件下要進行鍍鉻以恢復其原有尺寸。凸模時時需要修理，尤其是它的端面是最容易被磨損的。整形和精壓的模具以及其他各種夾具等也都需要不時的加以注意。

當在決定採用粉末冶金工藝之前，為了要取得充分的論證，作一番慎密的研究是很必要的。必須注意到無論製造量在一千件、十萬件或百萬件等很寬的範圍內，所用於其工具的工藝過程設計、工具設計及製造的時間一般是相同的。每一個工件按比例地分攤着一份工程成本，所以大量生產顯然是最經濟的。同時，訂貨的方式如何也是一個很重要的問題。連續的生產可以容許採用自動化的工序，如在大量訂貨中作分批投料則需要額外的裝置時間，或可能要很多手工勞動或是需要操作者在工作中當心、和增加搬移的工序。在每一批量中同時亦要加上燒結爐的準備工序時間。因此，大量訂貨而分批進行生產的工件，較之同一數量而作單一連續生產的工件的成本為高。

工件幾何形狀的限制

通常使用的典型壓機的總能量是相當低的。所具有的压制壓力為 28.10~70.30 公斤/毫米²，因而工件的受壓面積顯然是有一定限度的。當然在採用特殊的裝置和方法下，也可以压制大的工件，但是應用普通的方法時總是將压制的工件尺寸限制在設備

所許可的範圍內。在压机适用的能量範圍內所压制的大工件总比小工件要昂貴得多，这不仅是因为要耗用較多的原材料，并且也由于需要大的压力，同时在較大的压机中采用較低的压制速度。

在压制方向的工件长度是另一个限制因素。通常要求完成的工件在其整个高度均具有較一致的密度是十分重要的。当由上向下压制的結構零件較长时，其两端和中間的密度差异亦增大，所以在实践中限制其长度和直徑之比为 3:1。在这里，压机的能量是一个重要的因素，大部分材料的压缩比（松装粉末的体积和压成工件的体积之比）約为 2.5:1，因而一个压制 25 毫米长工件的凹模即要具有大于 63 毫米的高度，以允許能保持有一定的长度作为凸模

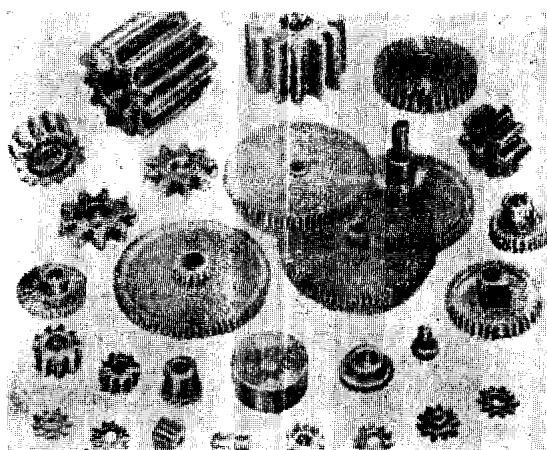


图 11 由于省去了机械加工而节约費用，齒輪特別适宜于采用粉末冶金工艺制造。这里是一些粉末冶金齒輪的实例，用于油泵、計算机器、割草机等等。有些情况下并可与一凸輪或另一齒輪制成一个整体，这样不仅节省了两个工件的机械加工，并且由于省却了裝配而获得更大的节约。

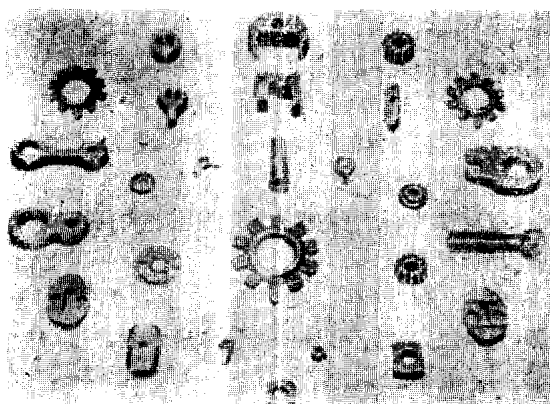


图 12 計算机器零件的强度有賴于大的密度。有很多种具有特別小的公差。但是所有这些零件均較一般制造方法的成本为低。

的导程，同时下凸模亦必須移动 63 毫米才能頂出工件。对于較长的工件，这些尺寸数据亦就相应地較大，所以当計劃生产这样一个工件时，即应注意衡量压机的下压头的行程及其裝模尺寸。

对工件的外形亦应象对其尺寸一样地加以注意。由于粉末是傾入凹模內然后加以压缩的，工件外形必須保証能被一次頂出，而无須拆开凹模或损坏压块。因此要避免有周圍凹陷、凹角、弧形沟、反斜度及其他类似情况。

与其他工艺方法的比較

除了那些明显地非其他方法所可与倫比的、十分适合于采用粉末冶金的工件之外，也有一些工件若采用其他方法制造也可能是經濟合理的。在考虑采用粉末冶金时，可以获得的好处是很清楚的，但应注意其受限制的因素，同时應該和其他各种方法、特别是和金属鑄造的工艺范疇作一比較。如精密熔模鑄造、砂模鑄造和压力鑄造等往往是可以和粉末冶金相竞争的。虽然这些方法都具有各別的特性和問題，在金属工艺中也都据有肯定的特別的位置，但是它有一些相类似的条件可以在一定程度內来参与竞争。其中每一种方法都需要严密的控制和仔細的工程設計。它們都能制出只需要少量光整加工的工件，是唯一可以应用某种原材料的实际手段。每一种方法都可能在不同的程度內减少一部分零件机械加工的困难，在某些程度上它們也互有相同之处。

除了研究某些特殊的工件外，只能概括地来将这些工艺方法相互地或直接地和粉末冶金作一些比較。

例如砂模鑄造，由于其原材料比較便宜，又不需要高质量的工具，一般來說对于制造小型工件是价廉的。砂模鑄件可以将一些复杂的构件并合成为一个单件，常常可以具有有角度的型芯和凹隔形状，因而占有比粉末冶金有利的地位；同时以多鑄型方式的砂模来制造小型鑄件也比以粉末冶金制造类似尺寸的工件的生产率为高。在另一方面，其所需公差較大，为 ± 1.6 毫米，这远比粉末冶金工件所能具有的精度差得多。鑄鋼件的精度平均又較低于鑄鉄件，而成本較大；有色金属的砂鑄件則是其中最昂貴的。当砂鑄件必須获得較小的公差时，即需要进行机械加工，这样就要在木模、造型、熔化和澆注等方面外，再增加其費用。同时，在成本中还要加上由于

澆口和冒口所引起的損耗。

壓力鑄造工件一般說來其強度不及粉末冶金零件，通常也不大採用這種工藝來製造黑色金屬工件。這兩種方法都具有高的生產率、極少的廢料和較緊的公差。但是壓力鑄造所具有的一些優點是不能被忽視的：它的原材料較便宜；工具費用一般較低；同時，雖然兩者在工件設計的範圍內均有所局限，但是由於液態金屬的流動性較好，所以採用壓鑄的可能性要更大一些。壓鑄件所需要的壓力不大，故模具的強度可以略為減低以有利於增加其可撓性。在其模具上所存在的導塊、鑲件和多動作機構等方面的問題也較粉末冶金工藝要少些。其公差一般約為 0.025 毫米，比只經過壓制、燒結而不加整形的粉末冶金工件的精度要高。粉末冶金工件當經過整形後，其公差特別是在徑向方面可以小於 0.025 毫米，但是成本要因此而增加；這點在和壓鑄件相比較時即有所遜色。

金屬模鑄造的位置可視為處在砂模鑄造和壓力鑄造之間。經常應用於中批量的、精度要求不如壓鑄件或粉末冶金件那樣高的生產。通常的公差為 ± 0.125 毫米。其制品設計的可適應性大於壓鑄和粉末冶金，但小於砂模鑄造。

以熔模結合离心鑄造和真空鑄造的方法，能兼得砂模鑄造的複雜可能性和接近壓鑄件的精度。可達到 ± 0.075 毫米的公差和高的生產率。這種工藝雖然是非常適合於那些對粉末冶金來說形狀過於複雜、對砂模鑄件來說公差太緊、以及對壓力鑄造來說金屬所需要的熔點過高的小形工件的大規模生產，但由於其原材料的耗損較大並且需要較高的操作技術，因而其經濟性是較差的。

其他可以和粉末冶金相比較的金屬加工工藝尚有冷頂鍛、模鍛、熱擠、沖壓、引伸以及以熱軋或冷軋的棒材進行機械加工等。在機械加工中要損耗大量金屬，而這對粉末冶金來說幾乎等於零的。機械加工除了採用自動車床以外，其勞動生產率不如粉末冶金的高，同時它還需要配備很多的機床和工具，並且要由熟練技工來操作。另一方面，粉末冶金零件的強度比以棒材切削加工的工件為低；粉末成本較棒材為昂；工具費用較高；同時對工件設計上的限制也較大。此外，粉末冶金（或任何其他需要模具的工藝）所需準備工藝裝置的時間要比機械加工為多。應用自動車床或多軸自動車床操作，既迅速而又十分精確，因而要比採用粉末冶金為优越；除了有些能夠進行模壓的外形複雜的工件，和在機械加工中需

要切削掉過多金屬的工件等例外。

冷頂鍛工藝的生產率很高，同時其工件的強度也明顯地大於壓制和燒結成的粉末冶金零件。它的材料損耗極小，並能獲得出色的表面光潔度。但是，其工具磨損較為劇烈；工件設計僅限於可以被頂出的；軸向的凹面必須再經機械加工；同時大多數產品需要退火。

當工件的機械性能是首要的要求時，具有高的強度和韌性的鍛件即遠勝過壓制和燒結而得的粉末冶金零件。但是和後者相比，它具有公差較大、產生鍛鱗和有材料火耗損失等缺點。其鍛模成本亦較高，因而平常必須要有較大的生產量經濟上才合算。在熱壓鍛中，工件設計所受的限製和粉末冶金相同，同時，若要獲得尺寸的精度，就必須犧牲模具的使用壽命。

沖壓和引伸是大量生產的工藝方式，其特點是工具成本高，勞動與材料成本低和少量的廢料。通常能獲得高的強度和生產以粉末冶金所不可能完成的薄壁工件。它們所能做到的公差極小，在這一類工件中粉末冶金是無法與之相競爭的。

優點和限製因素的綜述

作為一個製造結構零件的方法來說，粉末冶金所具有的主要優點如下：

1. 採用迅速和自動化的工序，只有很少的廢料損失，可以減除機械加工的操作；
2. 具有緊密的公差和光滑的表面；
3. 免除熔化金屬的損耗；
4. 可以製造由於密度和熔點的不同而以其他方法不能取得的合金或金屬混合物；
5. 可以製造在金屬基材料中均勻地分布着非金屬材料的組合物產品；
6. 可以製造高純度材料的制品；
7. 能夠控制工件燒結後的結構的孔隙度和密度到較高的水平；
8. 可以在制品細孔中浸飽所需要的潤滑劑以耐磨損。

和在任何其他製造零件的工業生產方法中一樣，粉末冶金工藝也有它的一些限製因素。

1. 當加壓時，粉末不易在凹模內自由流動；因此工件的幾何形狀或外形成為一項限製因素；
2. 如果要免除額外加工的成本，其長度公差和同心度就必須比機械加工零件的大；

3. 产品具有截面不一致的复杂外形时,即不容易获得均匀的密度;

4. 用于工具、压机、烧结设备等的最初投资很大,所以在批量生产中经常需要将工具或设备的成本作适当的分期分摊;

5. 工件的机械和物理性能受有一定的限制,除非另外再施以特殊的加工工序;

6. 金属粉末的成本和锻状材料比较起来是相当地高,因而有时即成为一个经济方面的限制因素。

粉末冶金结构零件 的典型应用

一种模拟车轮的制造是以粉末冶金工艺生产结构零件的许多良好实例之一。这个零件原来是在锌压铸件上加装钢质轮箍,需要九道单独的工序。轮体本身经过压铸、修整、车制、热处理和电镀。轮箍则由钢管切断、去毛刺、电镀、然后压装于轮上。现在改用粉末冶金生产,经过铁粉混料、模压和烧结。免除了废料损失,整个工艺过程是自动化的,降低了工具成本,材料成本下降了30%,同时更重要的是总成本降低了68%。

在另一个例子中,用铁粉制造一个环状的炮用导火管零件,节约了成本62%。原来这工件以钢材切削需要八道工序,然后再进行电镀。在用粉末冶金生产中以三道工序完成了一个具有抗磨性能的零件,能够承受发火时极大的震动和最初冲击。并且没有废料的损失。

用于在轴向封闭泵部件来维持所需要的泵内压力的水泵端盖,过去的制造方法要车制青铜铸件的内径和外径,并再进行平底钻孔和铣切。现在采用青铜粉末加以少量石墨配合,所制成的零件其成本较前法节约了50%。

以粉末冶金方法制造一种收银机的记录块,免去了机械加工,使成本降低了82%。过去制造这种零件是以SAE1010钢进行切削。新方法则是以非铁粉末压制和烧结而成;其螺孔是在烧结以后再攻的。

有很多应用粉末冶金的例子可以说明它与其他各种金属加工方法相比较所具有的优点。粉末冶金工艺和所有其他的生产技术一样,有其有利之处,也有其肯定的局限性,为了要取得最恰当的生产技术效果,进行详尽的方案分析是必不可缺少的。

美国工具工程师学会所作 的工艺方案研究

美国工具工程师学会为了要找出制订工艺方案的普遍原则,并使其具有有规律的可用的形式,因而在其各分会中组织了实例的研究。这些研究工作是由一些专业工程师委员会来担任的,各个委员会均对指定的制品对象提出具体的设计和制造规范。

在这些全面的研究实例中,有一项是一个模拟车轮,由学会的三个分会对这项课题进行了合作。为了要取得可以比较的研究报告,所有的分会均收到了一份零件图纸(图13)和如下的规定要求:

1. 轮子的材料必须是导体。
2. 轮子必须耐磨并能经受适当粗糙的用途。
3. 生产量:年产量300万件;月平均产量25万件;首批订货10,000件,在90天内开始交货。
4. 参照最后将被选择的制造方案,下列材料价格可作为核算依据:

a. 钢带(切成专用长条)	0.142 美元/公斤
b. 钢管	0.176 美元/公斤
c. 压铸用铝	0.748 美元/公斤
d. 金属粉末	0.264 美元/公斤。
5. 工具成本以一年摊清计算,设备投资按六年分摊。
6. 产品结构假定固定不变。
7. 准许采用新增的或原有的设备。
8. 零件尺寸要求如图13。

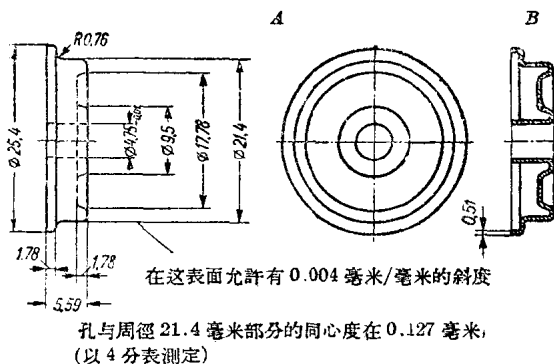


图13 美国工具工程师学会对下面两项进行研究:

- A. 指定的制品图纸要求;
- B. 以钢带冲压的建议

表1为各组方案的研究结果,列出了其内容及其最终达到的成本情况。

表1 实例的工艺方案研究比较

方 法	机 械 加 工			冲 压 加 工		粉 末 冶 金	
工 艺 方 案	A	B	C	D	E	F	G
設 备	六軸轉塔車床 (原有設備)	单軸自动車 床(原有設 备)	五軸轉塔車床 (原有設備)	单側双曲軸 三吨冲床; 300吨液 压 机;单軸自 动車床(原 有設備)	26 吨 可 傾 式冲床(原 有設備)	20 吨压机; 控制炉氩电 炉(原有設 备)	30 吨 十 位 旋 轉 式 压 机;控制炉 氩电炉(新 設備)
工 序	1. 淺 钻 2. 钻中心孔及 車 削 外 形 (加工两件) 3. 車出凹入的 圓沟及粗絞 中心孔 4. 光絞第一件 并割断 5. 車制第二件 的圓沟 6. 光絞第二件 并割断 7. 洗 淨, 修 毛 刺 8. 檢 驗	1. 定位 2. 定 中 心, 車削外形 3. 钻 孔 4. 車圓沟 5. 絞孔 6. 修边 7. 清 洁 8. 檢 驗	1. 以 $\phi 19$ 毫米钻 头初步淺钻中 心;粗車外形 至 $\phi 21.8$ 毫米 $\times 3.96$ 毫米深 2. 钻 $\phi 3.55$ 中心 孔,光車外形 至 $\phi 21.4$ 毫米 并車端面到所 需长度 3. 車制端面平底 圓沟 4. 切割到离中心 孔壁厚 1.6 毫 米处, 絞孔至 $4.75^{+0.00}_{-0.0125}$ 毫米 5. 割断, 下一工 件进料	1. 坯块落料 2. 压形 3. 檢驗 4. 自动車床 (自动加 料): a. 定位 b. 定中心 c. 钻孔 d. 絞孔 5. 修毛刺 6. 檢驗	1. 落料及引 伸 2. 二次引伸 3. 三次引伸 4. 修边及整 形 5. 檢 驗 (图 13)	1. 混粉 2. 模压 3. 燒 結 4. 檢 驗	1. 混粉 2. 模压 3. 燒 結 4. 檢 驗
所 用 材 料	B-1113 $\phi 26.2$ 毫米	B-1113 $\phi 25.4$ 毫米	CDB-1113 $\phi 25.4$ 毫米	AA-2024 鋁	1010 $0.5 \times 51 \times$ 2440 毫米	鉄 与 銅	鉄 与 銅
每个单件的各項 成本(美元): 材料; 加工过程; 工具; 設備投資分摊;	0.0079 0.0494 0.0030 未提出	0.00692 0.0439 0.00004 未提出	0.0067 0.0132 0.0023 0.0053	0.0149 0.0615 0.0006 未提出	0.0022 0.0584 0.001 未提出	0.00041 0.01697 0.0002 (见图 14) 未提出	0.00315 0.00561 0.001 0.00389
制造周期(秒)	6.5	30	6.3	—	—	2.4	3.6
附加費用(%)	660	225	150	225	225	400	250
单件总成本(美元)	0.0603	0.05086	0.0213	0.0770	0.0616	0.01758	0.01865

各組均分別按其所认为合宜的工艺方法，結合自己工厂的方便条件、劳动組織和所积累的經驗，分別地分析了这项課題。

研究結論：由表 1 中可以明显地看見单件模拟車輪的总成本是以采用粉末冶金生产的方案 F 和 G 最为低廉。

方案 A：这方案表現出了周密和睿智的安排，但是由于极高的費用附加率(660%)，使得它无法立足。如果附加費用能降低到如方案 C 中的 150%，則由这方法所得的单件成本尚可比方案 F 的結果还少一些。

方案 B：由于长的加工周期而造成了高的单件。如果将其中的若干工序合并起来，可能便可降低工时和成本。

方案 C：这是在整个車制加工組中获得最低的单件成本的一个方案。可能由于其高的設備投資分攤額而影响最終成本超过了粉末冶金的零件。

方案 D：这个方案提供了一个极有趣的内容，由于其材料和生产过程的成本高昂而无法采納。虽然減去鋁廢料的價值后略可降低，但是在生产过程中轉运成本仍是明显地高的。

方案 E：为了要适合冲压工艺，工件是略作重新設計过的，如图 13B 所示。这方案的内容是好的，但是生产过程中的成本使单件过高。看来应当考虑选用級进式的模具来代替現用的单工序的模具。

方案 F：通过具有卓越准备的分析，确定了以粉末来制造这工件。在作出这个决定之前，制訂本

方案的小組事先曾对所有其他各种可相竞争的方法进行过研究。值得注意的是，在图 14 的 A、B 两处示出工件設計上有一点极小的改动，这是为了适合粉末冶金工艺而提出的。

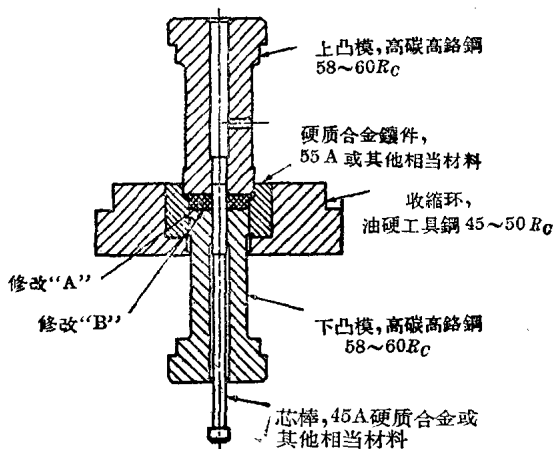


图 14 为表 1 方案 E 中所需用而設計的压模

- (1) 凹模型腔、凸模表面及模具內各表面必須研磨到精度在 0.125 毫米以內。
- (2) 全部零件相互配合間隙不大于 0.0125 毫米。
- (3) 所有零件必須垂直或平行于中心綫，同心度在 0.025 毫米以內(以千分表測定)。

方案 G：这是一个特别令人感到兴趣的答案，因为做出这个方案的设计者并无粉末冶金的經驗。但是，最后的单件成本和具有运用粉末冶金經驗的条件方案 F 相比較，其結果却十分接近。

(厉声树譯自《Tooling For Metal Powder Parts》
1958 年，第 1~28 頁)

粉末金属结构零件的设计

George H. De Groat

设计粉末金属零件时，应遵循下列诸因素：尺寸，长度与直径之比，有无径向凸台，槽，凹台，丝扣，锥度，纵向孔与径向孔，零件断面的变化，所需之金属密度，尺寸公差，表面光洁度等等。

零件能否由金属粉末压制，决定于零件形状的复杂程度。设计零件时应考虑到，在整个粉末冶金过程中零件压制是一最重要工序。应该注意，粉末不会充满模腔，同时，粉末不会象塑性材料或液体金属那样，在压力作用下移动。压制时，粉末颗粒间的摩擦与对模壁的摩擦皆阻碍粉末填满型腔（凹模）的某些地方，特别是深窄的凹台；结果，一些地方粉末数量不足，另外一些地方粉末过多。所以，要使粉末沿压模整个容积合理分布，必须采取一些措施。

制品密度均匀的重要性

因为凹模中的粉末在压力作用下实际上不会向侧向移动，所以，在必须保证制品金属密度均匀的地方，应精心配置足够数量的粉末。在压制薄壁零件或截面变异的零件时，这个条件特别重要。

密度均匀一般是零件质量的一个主要指标，所以，设计时必须考虑。

制造零件时，特别是烧结时，密度不均匀在零件中将引起很大应力，这时，将呈现不均匀收缩、扭曲，甚至裂纹。成品零件密度不均匀时，由于强度不够，可能断裂。

虽然，制品在压制方向外形可以不平整，但是，最好在压制方向沿整个长度截面相同。壁垂直于底的截面为正方形或其他形状的制品皆具有这种外形。径向外形不同，长度尺寸相同的零件（如凸轮或齿轮）压制时没有困难。

制造具有两个平坦的平行面的零件最简单（图1）。这种零件一般都是用端面平整的凸模压制的；为了使金属密度均匀，压制时上凸模与下凸模是相对移动的。

有肩形凸出部分、阶台或凸缘的筒形零件必须沿主轴方向压制。

用整体凸模压制时，金属密度将非常不均匀。整体凸模只有在零件截面变化小于25%时才能用。

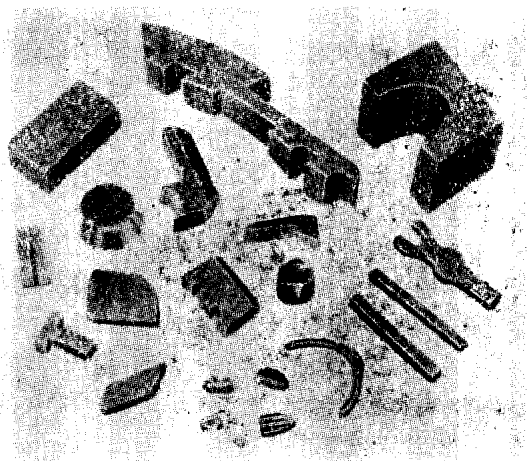


图1 具有两个平坦的平行面、形状简单的零件；它们的制造较简单，需要具有所需形状的凹模和两个相应的凸模。

通常零件截面的每一阶台或准面需用分开的各自的凹模嵌块、衬套或凸模拼块，它们的位置可以调节，以填充各个部分所需要的精确数量的粉末。这些压模构件不但要能分别正确地填充粉末，而且是

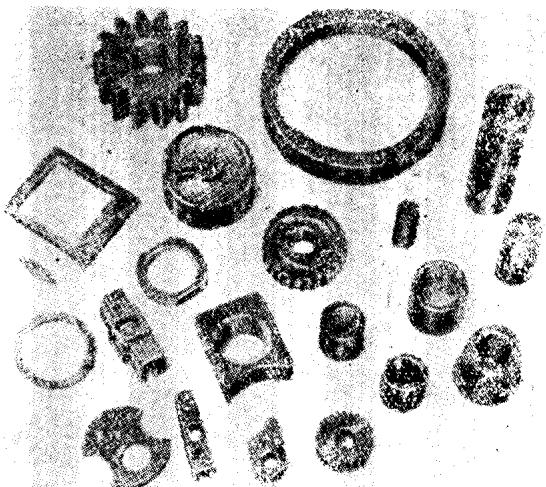


图2 压制时借固定芯棒作出的零件的与压制方向同轴的孔，和可作出任何形状与任何数量的孔。规定芯棒上端面与凹模上面一样高；压制时，当上凸模引入凹模中时，即形成相应的孔。

設計成能各自獨立運動和压制零件的相應各個部分。有時將浮動機構或其他相當複雜的構件裝入壓模中，用來成型截面特別複雜的零件。常常將具有多壓柱動程的壓機用于這種場合。這種機構簡化了压制，而且使得複雜零件能完好地從凹模中頂出。每一單獨凸模或壓杆必須是可以調整的，以適合它的準確的頂出或压制行程，而且是必須能分別獨立操作。沒有配備這種輔助機構的壓機，就採用象凹模衬套或凸模等的獨立操作配件。在製造極複雜的零件時，多壓柱的壓機和特殊壓模衬塊兩者都經常需要。

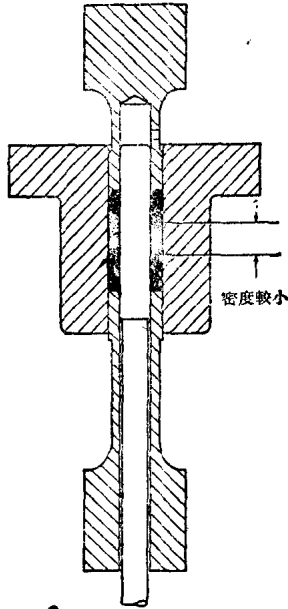


圖3 細長的零件傾向于不均勻压制：兩端的粉末比中部的压制的密實得多。所以零件中部的金屬密度較小。一般零件之長度與直徑之比皆不大於3:1，雖然，在特殊條件下，可製成比例達7:1的零件。

製造複雜零件的專用模具

最常遇到的代表性的複雜截面零件是那些兩端或中間有法蘭的、距任一端不同距離處有凸緣的、和那些一端或兩端有平底孔的以及具有內凸緣的零件。從以上情況所形成的截面或其變形經常能從複雜零件中找到。

例如，一端有凸緣的零件，當成型凸緣部分在零件上端時压制，常常採用一個合適的下凸模，作為成型凸緣部分的輔助機構。這可以是一個用彈簧支承的凹模鑲件（衬套）。鑲件在凹模內的高度即在其裝粉位置，使能保證填裝準確的粉末量以形成扁薄的

凸緣，而下凸模則處於較低的位置（形成零件的長段主體部分的裝粉位置）。压制時，上凸模的壓力使得鑲件向下移動至碰到限高器而停止，同時下凸模向上移動。當壓件脫模時，上凸模鬆去壓力，凹模鑲件就上升回復到原來的裝粉位置，下凸模則向上移動到凹模的上端面。這個位置也是由一個可以調節的限高器來控制，而且適合于任何變動的粉末填裝量。鑲件回復到裝粉位置常常有利于凸緣部分的頂出。為了保證這個移動而不依靠于彈簧，可借助于一個由壓機的下壓柱操縱的頂杆。

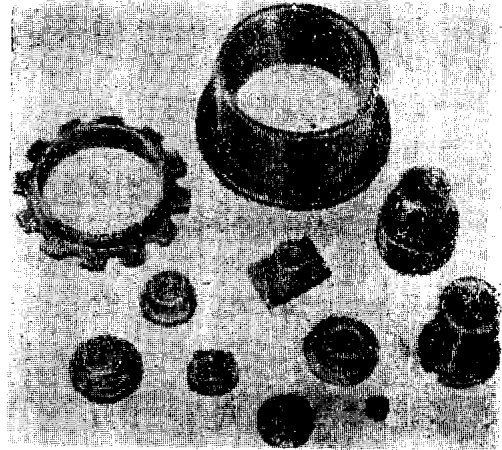


圖4 較複雜的零件是這些具有外凸緣的。一般常常採用上凸模在凹模中的衬套圈上成型外法蘭，而零件的主體則用上凸模和下凸模压制成型。

在其它情況下，當壓機具有多動作的複式下壓柱時，用一個輔助凸模組成同心凸模，可用于成型這種零件（圖5）。其優點在于它也常常作為一般下凸模頂出行程時的附加頂出作用。在压制具有大直徑

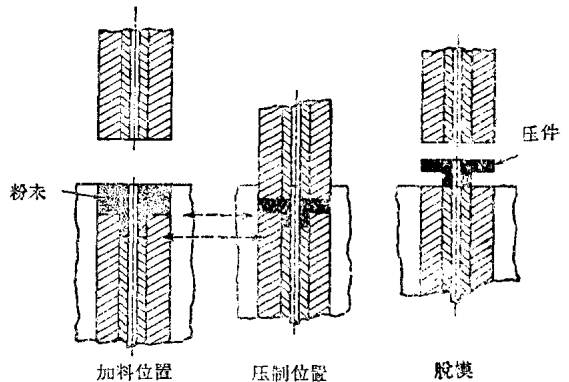


圖5 上凸模向下移動時，內下凸模成型零件主體，外圍下凸模成型凸緣。兩個下凸模將零件從凹模中頂出。

法兰的零件时特别有利,这种零件,当凹模鑲件向上移动时遇到微小阻力即很易碎裂。这类凸模具备更多的变化,在整个操作中可获得更多的规定的控制。在周期中的成型阶段,例如,两个凸模向上移动,此时压力从底下同时施加于零件的主体和凸缘部分,然后两者一起上升,准备脱模顶出。

类似的装置可用于压制在两端之间有凸缘的零件,不过此处另用一个辅助部件附加于上凸模,组成两个同心上凸模。此时,两个下凸模当凹模装满粉末后,从它们各自的装粉位置移下,如此,粉末平面落入凹模端面之下,这样,让出了空间留待两个上凸模进入而避免粉末的被挤出模外。当它们进入凹模时,中央上凸模的行程落后于外圈上凸模,于是在其间形成了空间,在压制阶段时由于动力凸模的上移迫使粉末上升进入上凸模的空间中。这个动作形成了零件主体的上部分,同时,外圈的上下凸模形成了凸缘部分。这时又轮到两个下凸模上升,进行顶出工作;外圈凸模停止,上移到凹模之上,于是零件的凸缘部分处于自由状态,同时中央凸模继续升高至同一位置,此时,零件也就脱离凹模。

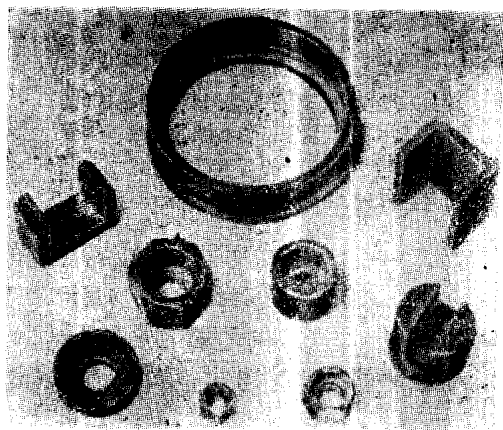


图6 有内凸缘的零件一般是用带肩的芯棒而不是用带肩的凹模来压制成型。压模的设计应保证粉末的均匀分布,以使整个零件的密度均匀。

上述机构可用于压制两端有平底孔的零件。此处,截面的最薄处在零件两端之间的中央部分。装粉时,其中央下凸模上升以保持零件的中央部分有最少量的粉末。在加压行程时,中央下凸模下降,同时外圈下凸模上升,中央上凸模下移时走在外圈上凸模之前来压出上端对称面上的平底孔。

制造具有内凸缘的零件,同样需要特别工具。这种零件常常是杯形或U-形的截面,零件的那个孔

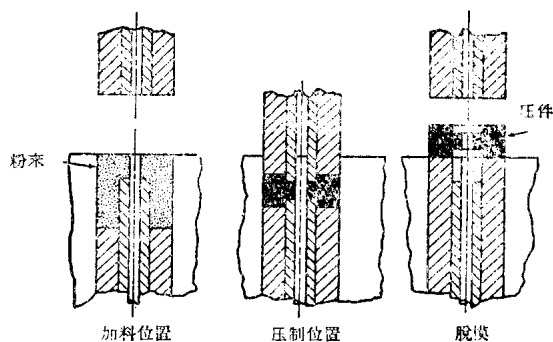


图7 零件的小中心孔是从零件两面压制的,为此有时需要额外的压制组合件,以得到均匀的密度。将中央下凸模推移到在其上端成型零件中心部分所需装粉量的位置。压制时,将这个凸模下移至工作位置,而外圈下凸模上升;两个上凸模成型零件的上部。

是用弹簧支承的芯棒所形成的。这种带肩的芯棒是由一段用来成型小孔的小直径部分和一段用以成型凸缘的大直径部分所组成。弹簧支承允许芯棒在上凸模的压力作用下向下浮动。芯棒下面的弹簧将芯棒升高到用于成型内凸缘的正确装粉位置,以及当凸模在压制动作时,芯棒下移到限高器对凸缘产生底面压力的效应。当上凸模离开凹模时,弹簧返回到装粉位置,其作用实质上亦有助于零件的顶出。

在有些实例中,上凸模的一个中央构件是用弹簧来支承,如此,在下凸模上升和把粉末推向凹模外之前,凹模可以被闭合。在这种场合下,采用固定式的带肩芯棒,芯棒的小直径部分的长度应与装粉深度相等。在芯棒的肩部,即大直径部分的上面,成型零件的凸缘部分,此时,中央上凸模徐徐下移,而下凸模上升。

为简化模具而改变零件结构的设计

常常可以改变零件结构的设计或少许改变,以减少截面的复杂性。这样,可大大简化模具,减少模具费用,延长模具的使用寿命,并可完全省去一些附件。如象零件一端之凸起将使与邻近截面产生巨大差异。改变零件结构后,可克服这个缺点。如将零件的另一端作相当形状或深度的修改。若零件具有长的外伸部分,可以添上加筋以使零件易于完好地从凹模中顶出。另一情况,若添上加筋可使零件壁厚均称,并可避免造成密度特别大的部分。