

76.13
11.5.2
C.2

毛主席语录

古为今用，洋为中用。

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份，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。

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。

前 言

铁基粉末冶金是一项少无切削新工艺，国内外发展较快。我国的粉末冶金工业是从 1958 年大跃进年代兴起，在毛主席的革命路线指引下，我国工人阶级发扬自力更生，奋发图强的革命精神，使这项新工艺得到了迅速发展并取得了显著成效。目前，我国的粉末冶金工厂如雨后春笋遍及全国。铁基粉末冶金零部件已在汽车、农机、仪表、纺织等各部门广泛应用，在节约钢材及有色金属，提高劳动生产率，节约机床加工等方面发挥了巨大作用。我国生产的铁基粉末冶金零件，品种日益增多，数量不断上升，质量显著提高，但是仍然跟不上我国工农业生产飞跃发展形势的需要。

我们遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，选择了近年来国外铁基粉末冶金方面的资料，本译丛着重介绍新工艺，粉末锻造及合金钢零件的生产及其应用，供从事粉末冶金工作的同志参考。

本译丛的翻译工作，承蒙上海科学技术情报研究所及上海纺织轴承一厂的同志大力支持，在此，谨表感谢。由于我们水平有限，在编译及校对工作中，难免有错误之处，恳切期望广大读者予以批评指正，共同为把我国的粉末冶金工业推向一个新的水平而努力。

编 者

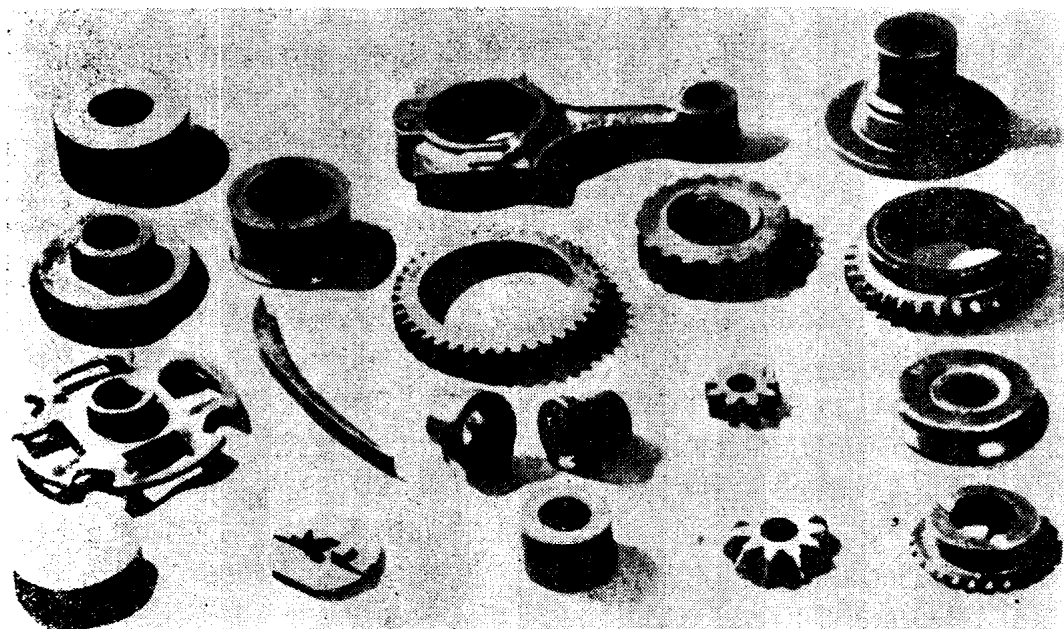
一九七四年五月

目 录

铁基粉末锻造工艺发展概况·····	(1)
粉末锻造工艺的前途·····	(6)
粉末冶金工艺新发展——铁基粉末冶金锻造·····	(8)
法国汽车上的粉末冶金零件·····	(14)
粉末冶金零件的密度和经济性的关系·····	(16)
低合金钢粉预制件在烧结中的淬透性问题·····	(21)
供粉末锻造用的商品粉末·····	(28)
粉末冶金钢制凸轮和齿轮的技术性能, 经济性和设计·····	(33)
烧结钢零件的热处理·····	(38)
海绵铁粉中添加磷铁的烧结合金·····	(46)
应用滚动轴承生产中的废钢屑制造粉末冶金使用的钢粉·····	(52)
用粉末直接轧制金属复合材料的新技术·····	(58)

铁基粉末锻造工艺发展概况

摘要：近两年来粉末锻造工艺有了较大的进展。粉末生产厂已在市场上销售了供锻造用的低合金及可热处理的钢粉，以适应扩大使用。设备制造商相应地发展了一整套生产用的锻造设备。零件制造商已使这一工艺由试验阶段进入到小批生产，从而准备纳入大规模生产。许多零件将取代高质量的传统锻件。由于这一活动具有国际范围的意义，因此，日本、澳大利亚、英国、瑞典、德国及法国都在全面开展制造粉末锻造零件。下图为英国 G.K.N. 锻造公司生产的粉末锻造零件实例（见下图）。



由图的顶上第一排开始，自右至左：汽车传动凸缘、连杆、齿轮坯件；第二排：第一运动齿轮、阀配件、环形齿轮、带槽滑轮、侧齿轮；第三排：侧齿轮坯件，油泵齿轮，管配件，散气片，离合器轮壳，最下排：同步器齿轮，小齿轮，耐磨试块、锁紧键（轮箍的）及挤压坯件。

独立的工厂例如英国的 G.K.N. 公司，美国的古尔德·费德勒尔，莫古尔及伯吉斯-诺顿三工厂现在都能够经济地生产粉末锻造零件。美国有三个主要汽车公司正在积极开展应用。他们期望在 1972 年内有几种零件投入大规模生产。

现在辛辛纳蒂公司正在市场上出售供制造粉末锻造零件的成套设备。格林森公司计划在最近期内也将出售它生产的成套设备。

粉末生产厂正在扩充设备，为适应这种

新工业的需要。例如赫格纳斯公司新建了一个雾化制粉车间，能年产粉末 50,000 吨以上，该公司正在加速研究，并努力发展制粉以及锻造工艺本身。

粉末制造者必须努力地摸索适应各零件制造厂商所需的幅度范围要求以达到制取各种机械强度的最经济的生产方法。这些努力很自然地涉及到制粉的发展及锻造工艺的发展这两个互相关连的领域。它们互相有关，这是由于一个粉末锻造零件的机械性能是由

粉末的化学成份及粉末压制，锻造工序等方法而决定的。

一般来说，粉末材料的要求和普通浇铸及锻造用途的铁基的材料要求差别很小。美国钢铁学会（AISI）标准的低合金成份的粉末在正常条件压制下，可以获得与普通锻造同样成份及热处理后同样的性能和结构。

但是供锻造用的粉末必须满足单纯的成份条件以外的要求。这是由于它的表面积很大而且在锻造前需要压制及烧结坯件。

粉末类型

制造粉末有三种方法：电介，氧化物用氢或一氧化碳还原，以及用雾化法。每种类型的粉末有它自己的特性，适用于普通的粉末冶金用途（70~85%致密度）。

在普通粉末冶金用途中，通常采用混合元素粉末的方法来达到合金化。但很难获得均匀的结构。对于很多用途中的机械性能都可以满足。如能采用较高密度的锻造将使机械性能得到实质性的提高。

为锻造用的预混合的粉末估计将大量销售。确实，对许多要求持有锻件机械性能的零件，现在已能够用锻造粉末混合物来加以代替。

制造均匀的合金粉，只能采用雾化法制取。目前，在现有的材料中均已证实，对一个

粉末锻件来说，能重现高质量的锻造性能的唯一方法是，两个锻件必须具备相同的金相组织。很明显，由于雾化法制造的粉末均匀，对于要求严格用途的零件采用低合金钢粉是必需的。

粉末成份

虽然用雾化法能够生产几乎任何一种金属粉末成份，但是只有几种方法是经济合理的。对于低合金钢粉来说尤其如此。在很大程度上，采用此类粉末是与其价格有关。

较大的粉末表面面积已成为一个受气体污染的潜在问题，它存在于零件或预成型毛坯中，由于空隙的存在直到压到致密结实为止。这意味着粉末的成份必须限于那些能受保护而不致引起不需要的化学反应的合金元素。

氧化是最致命的化学反应，虽然脱碳是和它相关而且有严重影响的。普通采用的保护气体是氢及一氧化碳由于它的还原潜力。它们在制造所用温度下保护铁。它们不会保护比铁更稳定的氧化物例如铬、锰、钒、钛及铝。通常被考虑到应用在生产粉末锻造零件上的粉末是不含有这些合金元素的。两种最普遍采用的粉末（见表1）是基于加镍及钼以得到所需的硬度。铜及钴是另外的容易保护而不受氧化的值得注意的合金元素。

表 1 普通商品低合金钢粉

钢 粉	成 份 (%)								
	C	P	Si	S	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni
变型 4600	0.02最大	0.02最大	0.02最大	0.02最大	0.10最大	0.10最大	0.20~0.30	0.45~0.55	1.75~1.90
低 镍-钼	0.02最大	0.02最大	0.02最大	0.02最大	0.10最大	0.10最大	0.40~0.30	0.55~0.65	0.40~0.50

一种第二代的包含锰及铬的粉末正在积极发展中。纯锰及铬在商业性生产的气氛中会氧化。但是它在铁的稀溶液中（约小于1%）能避免氧化。这样加进去后能生产粉末锻造零件的有美国钢铁学会（AISI）牌号 1500，4000，4100，4300，4600，8600 及 9300 成份的

粉末。其中大部分适宜于合金钢的用途。这些成份组成的粉末能在严格的保护性条件下制造及锻造。锻件具有和传统的锻件相类似的机械性能。（见表2）应用含锰和铬的低合金钢粉末生产零件很可能要推迟到镍钼钢的锻造方法建立之后。

表 2 美国钢铁学会牌号锻造钢粉的机械性能

钢粉类型	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	屈 服 强 度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)	断 面 收 缩 率 (%)	硬 度 (R _c)
1040	110(88)	84.5(66)	12(20)	35(56)	40(40)
4140	151(132)	138(123)	10(15)	39(52)	42(40)
4340	143(134)	129(123)	12(15)	48(54)	42(42)
8620	76(83)	61(55)	17(22)	44(52)	22(22)

注：括号内的数值表示普通的铸锻材料。

夹杂物的影响

锻造零件中的夹杂物归根于粉末的制造；这种夹杂物也可能从粉末到零件的制造

工艺过程中生成，图 1(A)，(B)，及(C)中证明了一种冷锻 4630 钢粉中的夹杂对抗拉强度，延伸率，冲击韧性的影响。

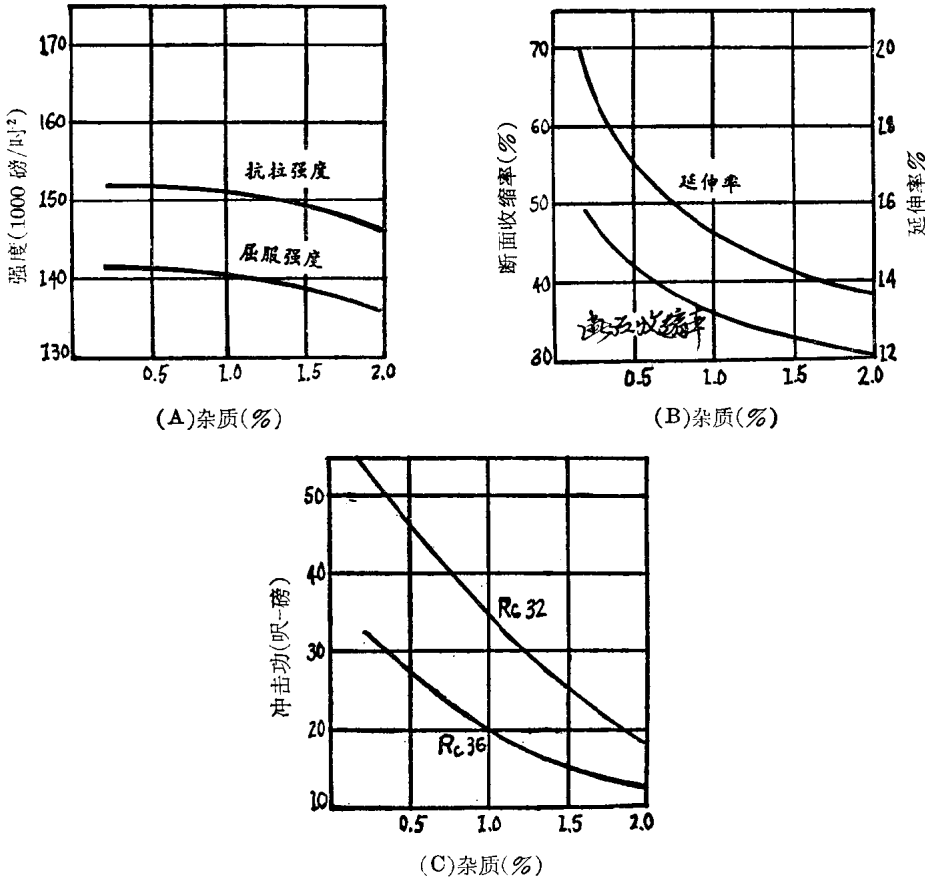


图 1 (A) 粉末锻造到完全致密时，夹杂物对抗拉强度稍有影响；但对延伸率 (B) 及冲击功 (C) 却有较大的影响。粉末均为 4630 型。

虽然夹杂含量的增加似乎对抗拉强度影响很小，但对延伸率及冲击韧性却有显著影响，这是关系到锻件用途的关键性能。

要使粉末中含夹杂低，需在制造过程中

予以严格的控制才能取得。为了在零件制造时避免夹杂的生成，必需保证所用的气体使金属粉末不受氧化，并需用石墨基涂于表面以保护压制毛坯，尚需限制压坯暴露在氧化

条件中的时间。

当压坯从电炉中移到锻造模具时，一般是使压坯处在一种氧化的气氛中。图2为铁碳烧结粉末锻件容许在空气中暴露的时间对最初暴露温度之间的关系曲线。“容许暴露的时间”是指在压坯上形成最初而明显的氧化层的时间。

两种观测是重要的。当温度升高时则氧化加快，且在1400°F左右(760°C)脱碳作用成为很重要(由暴露形成的氧化物被材料中的碳所还原)。

由于脱碳作用，从约1,400°到1,800°F(760°到982°C)，容许暴露的时间明显地增加。

压坯表面涂石墨基后能帮助延长容许暴露的时间而且保护其不致引起脱碳。当实际锻造循环中温度最低限度高到1,800°F(982°C)时，涂面有保护作用，甚至于压坯内还存在20%孔隙率时依然。

增加压坯的密度则容许暴露时间延长。使用合金元素似乎并不改变其基本作用，但是当温度超过2,000°F(1100°C)时合金粉末则倾向于在压坯表面上形成一种非透过性的氧化膜。

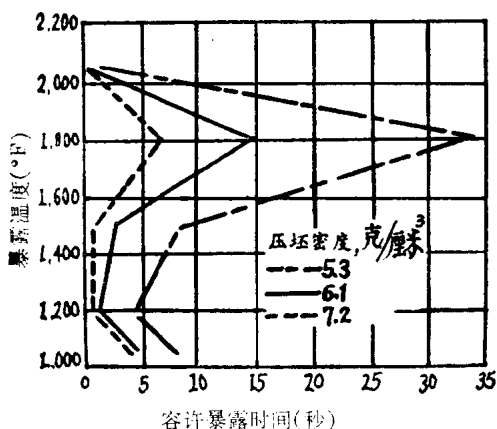


图2 曲线表示密度，暴露的温度和时间对氧化的综合影响

变形

压坯的变形具有几种作用：它使零件构成一定的形状；封闭压坯的孔隙；而且提供足

量的材料流动，借以得到所需的机械性能。压坯的设计是个关键，这是决定这些目的达到的好坏程度。因此，零件，设备及粉末制造厂商对压坯的设计都很重视。

在许多已发表的研究报告中提出了金属粉末压坯的密度问题。在几篇概括性的资料中指出：1.压坯所给予的应力愈大，最后的密度愈高。2.在一种不变的应力下，压坯的密度愈高，最后的密度愈高。3.所需要的流动愈大，达到任何特定密度所需的应力也愈大。

多孔粉末(海绵粉)要比致密粉末(雾化粉)需要更大的应力才能达到同等的密度。要达到某一特定的密度所需的锻造压力，这是材料强度的一个函数，而且自然会随着压坯的化学成份而改变。

机械强度是锻件密度的一个函数。力学性能例如冲击韧性对密度特别敏感，见图3。虽然普通的粉末冶金零件能做到具有高达200,000 磅/吋²(140公斤/毫米²)的抗拉强度。但由于它们的密度范围受到限制(到约7.5克/厘米³)它们不能达到高水平的冲击韧性。利用锻造能使孔隙实际降低到0%。

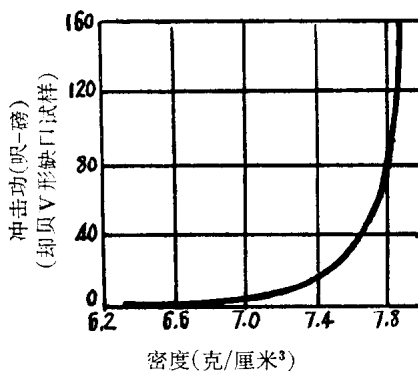


图3 锻件的冲击功和它的密度有着显著的关系，在此实例中，压坯密度为6.2克/厘米³

在去除孔隙以达到一般铸锻钢件的力学性能水平以外，压坯的变形还必须完成一些材料的流动。这个要求已经通过应用锻造不同密度的铁粉压坯以达到不同的最后密度的

方法加以解决。所得结果见图4，将压坯冷锻到完全致密所作冲击功对于压坯密度的关系曲线说明了用密度约6.2克/厘米³的压坯能得到最大的冲击功。

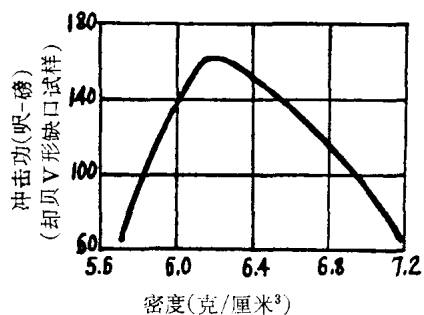


图4 研究以不同密度的铁粉压坯锻成不同的最后密度。图中约6.2克/厘米³压坯密度锻至完全致密时取得最大冲击功。

当用较高密度的压坯时，压坯的变形尚不能提供足够的材料流动。如用较小的压坯密度，材料变形的程度大些，但是有效的流动较小，因为这种变形必须大量用来封闭孔隙，加热再压粉末压坯时，流动对于疲劳强度已观察得出同样的影响。

今后的展望

以上这些说明了粉末锻造工艺的发展结果，但它只是代表这一新的金属加工工艺的开始情况。在今后几年中这种工艺的各个阶段必将取得迅速发展。

摘译自“Metal Progress” April, 1972,
vol. 101, №4, p. 44

粉末锻造工艺的前途

粉末锻造工艺发展很快,从现在到1976年粉末锻造工艺在生产上将继续得到很大的发展。至少有3个或者5个工厂将要大量投产,例如通用,福特,克雷斯勒等汽车公司已获知,在美国已有约15家工厂生产粉末锻造钢零件;在欧洲不久也可达到这数字;日本和澳大利亚以及东欧国家也都对粉末锻造大有兴趣。由于过多的企业从事粉末锻造钢零件的生产势必导致生产能力过剩,而相互之间破坏性的竞争必将导致阻碍粉末锻造工艺的进一步发展。

瑞典有一台新式锻压机,每小时能锻造粉末毛坯600件以上,每个零件以重量2公斤计,并按每天8小时工作,每年200个工作日计算,则这台设备每年能生产大约2,000吨产品。

瑞典每年本来用普通的锻造法生产大约12,000吨各种锻件。但所有的锻件并非都适合于用粉末锻造的工艺来进行生产。以乐观

的估计,在用普通锻造法生产的零件中至少有1/3可适合改用粉末锻造法来进行生产。假定每年增产率为3%,到1980年瑞典可供应市场粉末锻件约5,000吨。在这里再加上大约1,000吨的粉末锻造零件,以代替过去用铸造法的所生产的零件。因此瑞典的全部市场所需粉末锻件到1980年时最高量可达到6,000吨。这意味着只要4台新式的压机即可轻易的满足整个瑞典市场的需要。

为避免误会起见必须提一下,粉末锻造生产是一个很大的投资规划。除了一定数目的锻压机外,还需要多到双倍于此数的特种压机以压制粉末毛坯。如果压制复杂形状的工件时,则不一定能达到一般的粉末锻造速度。而且烧结炉及加热炉包括感应加热设备也都是高价的投资项目。

市场情况

普通烧结钢从1960年以来在一些重要工业领域中平均增长的速度见下表。

铁粉1965年、1970年的估计消耗量及1975年、1980年的预计消耗量

	西 欧				北 美				日 本							
	65	70	75	80	65	70	75	80	65	70	75	80				
估计铁粉消耗量 (单位: 1,000吨)																
普通粉末冶金方法	17	35	55	95	51	80	125	165	3	15	28	45	71	130	208	305
粉末锻造法	—	—	20	130	—	—	20	120	—	(0.1)	17	50	—	—	57	300
总 计	17	35	75	225	51	80	145	285	3	15	45	95	71	130	265	605
汽车零件(%)	50	50	55	65	60	50	55	65	45	60	60	65	55			
每辆汽车上粉末冶金 零件的估计重量(公斤)																
普通粉末冶金方法	1.1	1.8	2.4	4.5	3.3	6.3	7.5	11.0	2.2	2.8	4.0	7.0	2.2	3.3	4.4	7.2
粉末锻造法	—	—	0.9	6.5	—	—	1.5	7.0	—	—	2.5	6.5	—	—	1.3	6.7
总 计	1.1	1.8	3.3	11.0	3.3	6.3	9.0	18.0	2.2	2.8	6.5	13.5	2.2	3.3	5.7	13.9
平均每年增长率:																
60年代实际增长(%)	14				16				28				16			
70年代预计增长(%)	20				13				21				17			

在 1969~1970 年许多较大的粉末冶金制造厂在西欧大量增加了新投资，特别是在压机及烧结设备方面。新设备的交货期迟缓，新的生产能力还不能利用。现在的生产能力利用率估计在 60~65%，西欧按这生产率每年能生产普通烧结钢约 56,000 吨。粉末冶金零件的最重要的基本主顾的是汽车工业，它吸收产品总数的一半以上。汽车生产在某些最重要的工业地区在 1970 年及预测在 1980 年(以百万件为单位)如下表：

市 场	1970	1975	1980
EEC	7.6	8.2	9.5
全部西欧	9.9	12.0	13.6
美 国	6.5	8.5	8.6
日 本	3.2	4.1	4.9

对粉末冶金零件发展的预测估计数字是不可靠的，如果那预测实现的话，在 1980 年西欧，北美，及日本全部烧结钢零件的总数达到大约 60 万吨。

摘译自 “Metallurgia and Metal Forming” vol. 40. №2, Feb. 1973. p. 31.

粉末冶金工艺的新发展—铁基粉末冶金锻造

粉末冶金是一种成熟的零件制造方法，它能积极地、有效地，和其他的零件制造方法如：铸造，冲压，复接，和机械加工相竞争。此外，粉末冶金工艺还能有效地制出特殊的产品，如金属过滤器，密度受控制的零件，以及自润滑轴承等。粉末冶金的经济性本已为众所熟知，例如减少材料和切屑损耗，减少机械加工或精加工的工序，以及是一种改进材料，便于大批量生产的工艺，近年来由于设备和制造方法的改进，更大大提高了粉末冶金制品的机械性能。粉末冶金零件的抗拉强度可以超过 90 公斤/毫米²。

阻碍粉末冶金零件更广泛应用的主要原因是材料中含有孔洞，以致难以得到较高的动机械性能。当零件承受高的疲劳和冲击负荷时，就要求比普通粉末冶金零件所能达到的更好的机械性能。虽然通过一些附加工序例如渗铜以及复压，和复烧结等处理，能使粉末冶金零件的疲劳和冲击强度有某些改善，但是，一般说来这些工序是昂贵的，所达到的动机械性能仍不及同样成份并处理过的典型锻造制品的水平。

现在已采用多种由粉末制成无孔隙零件的方法。挤压，轧制，以及粉末热压成完全致密的形状都是众所周知的工业上的制造方法。将粉末预成型件直接锻造为成品的方法已使用多年了，但这种独特的方法只是在最近才发展到工业生产水平。这些致密化的方法从金属粉末中制成的产品和从普通的熔炼，铸造，和机械加工工艺得到的性能相等，或者超过许多倍。

粉末预成型件锻造(粉末冶金锻造)最近的加速发展是由于许多互相关联的因素引起的。粉末冶金零件从开始引用到现在普遍为

工业生产所采用不过四十年；从 1960 年到 1970 的 10 年中已看到粉末冶金零件应用到许多关键性结构中，例如动力联接及传动零件。由于制造粉末零件的设备，压机，烧结炉，气体发生炉等已大大改善，这样才能通过更好的控制工艺得到较高质量的零件，并且能生产多种多样的零件。铁粉的质量也大大改善了。在六十年代引用了高压压缩性的雾化铁粉后，不仅能生产更高密度，更高强度，更为复杂的普通粉末冶金零件，而且还能成吨地制造廉价的，完全合金化的粉末，这是用粉末制造普通的锻造零件必不可少的条件。

许多零件制造者为了提高生产率和寻找更经济的制造方法而考虑采用粉末冶金工艺。采用粉末冶金锻造的方法，从而更扩大了用粉末制造零件的数量和品种。粉末冶金锻造法的多种多样化对目前的粉末冶金零件制造者，对用普通方法锻造者，以及对于希望建立一套与其他金属加工操作并行的新零件制造工艺的人们都是有用的。

粉末冶金锻造零件的机械性能

粉末制成的零件的机械性能，首先与其密度有关系：其密度愈接近普通铸造和锻造材料，则零件的性能亦愈接近铸造和锻造制品。金属颗粒间联结的程度是影响粉末制件机械性能的另外一个因素。在烧结前主要是机械的联接，虽然存在某种程度的冷焊。这些零件，即使压制到接近该材料的最大密度，其机械性能仍然很差，需要进行高温烧结，使原子产生必要的移动，以便在颗粒间建立冶金联接。

上段中指出的后一点，在现今粉末冶金工业所制的正常密度范围的零件特别明显。它们的最大密度一般在 75~90% 之间变动，

而它们的机械性能则与所用粉末的品种和烧结条件很有关系。换一种说法，机械性能也与颗粒之间结合的程度和结合的质量有关。

粉末锻造零件的颗粒间的联接也很重要，即使那零件已锻造达到最大的密度。要使零件获得最大的机械性能，就必须完全改变它的粉末面貌。这就要求在制造工序中有高的温度能产生原子运动以获得冶金联接。此外，为了获得最大的机械性能，对锻造工艺似乎必须要有一定数量的材料流动，以保证粉末颗粒之间的充分结合。

图1表示粉末锻造零件的密度与抗拉强度的关系。粉末锻造零件的抗拉强度随着密度有规律的增加是典型的，并且以极小变形量锻造到最终密度，但仍旧包含有孔隙的粉末锻造零件，也能够得到同样成份的普通锻造制品的抗拉强度和延伸率。

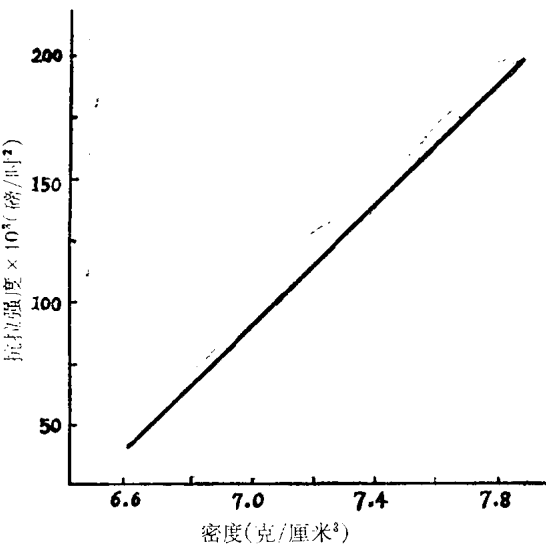


图1 热锻4640粉末材料(Rc 38~40)
密度对抗拉强度的关系

粉末锻造零件的疲劳和冲击性能的情况稍许不同。这二种性能对零件内部和表面的裂缝都很敏感。图2包括二根曲线代表零件的最终密度与冲击强度的变化关系。A曲线是用粉末锻造预成型坯密度7.2克/厘米³所作的。B曲线用密度6.2克/厘米³的预成型坯锻造所作的。图2表示出有关粉末锻造零

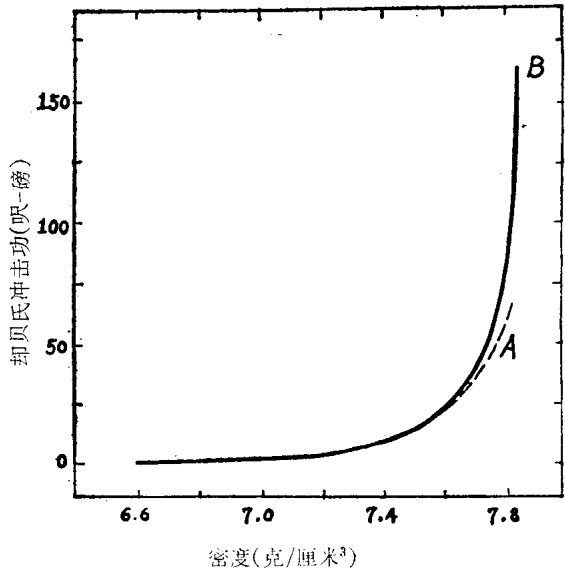


图2 雾化铁粉预成型坯密度7.2克/厘米³(A)及密度6.2克/厘米³(B)经冷锻至最终密度，最终密度与却贝氏V形缺口冲击强度的关系

件性能的二个重要事实。第一，冲击强度对于留存在零件中的孔隙量，(以及任何夹杂物)十分敏感。指出孔隙与夹杂物的总和必须小于1%才能达到同样普通结构和同样成份的普通锻造零件的典型的冲击性能。第二，冲击强度与零件达到最终密度的变形程度有关。太小的变形量会产生一个较低的冲击强度。

粉末金属零件的一个重要的特点是制造者能够通过控制密度及所采用的制造方法来决定零件的强度值。这个经济利益是很清楚，因为较好的性能一般要花费较高的代价。粉末锻造使零件达到和普通锻造零件相似的性能而且使零件达到在指定部位上需要的特定性能。

粉末冶金锻造工序

所有的粉末冶金锻造法一般都按照同样的基本工序。首先，把松散金属粉末压制成预成型坯。将预成型坯烧结，使其获得足够的机械强度以便经得起锻造。零件锻造完以后必需经过最后的处理以符合最终规格的要求。三种不同形式的粉末锻造法常常彼此不相同，它们的工艺流程示于图3。

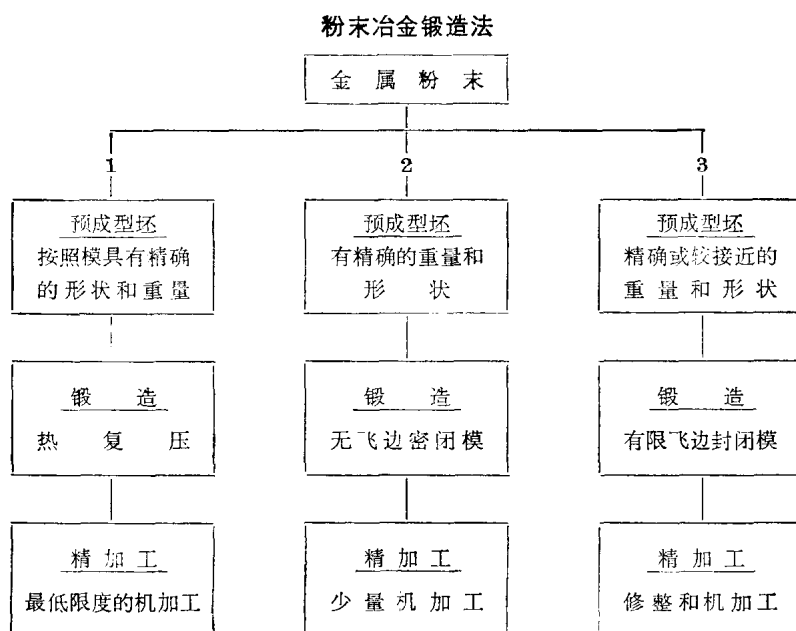


图3 三种基本的粉末预成型坯锻造法

热复压

首先，热复压近似于普通的粉末冶金零件制造方法。这种方法的特点是预成型坯很近似于最终的零件。在锻造过程中很少横向流动产生，材料致密化靠压缩预成型坯的高度来实现的。图4表示预成型坯和用这种方法制造的最终零件。这个零件是枪的撞针，锻造的结果，零件的形状变化很少，只是零件的厚度发生变化。左边的零件是预成型坯，其他二个是最终零件的顶视和侧视图。

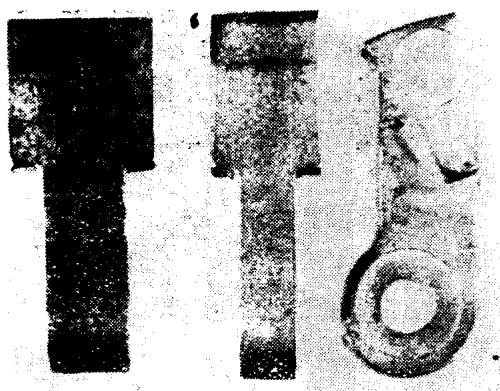


图4 热复压的枪的撞针：预成型坯(左)；零件成品顶视(中间)和侧视图(右)

热复压有几个优点：

1. 容易适应现在的粉末冶金工艺。热复压工艺虽然尚未被普遍采用，但却是粉末冶金工业中早已熟知的方法，目前的粉末冶金零件生产者，不需要很大的努力就可以发展它。

2. 预成型坯的形状同最终零件的形状相似。由于复压方法只是简单的致密化方法，复压时形状上的变化主要是沿着压制方向厚度的减少。预成型坯的设计简单化了，并且因为几乎所有的变形能都用于致密化，很少用于材料的流动，所以在锻造时，热复压所作的功是三种粉末冶金锻造法中最小的一种。

3. 模具寿命较长。由于热复压锻造时材料的流动小，因之模具表面的磨损是很小的。此外，在热复压中所需的能量较小，所以温度就可较低一些，通常较低的锻造温度能延长模具的寿命。

4. 最终零件的公差较小。复压工艺由于大部份的变形用于致密化，以及这种方法不产生飞边，结果在三种锻造方法中，用复压法制造的零件精度最好。而且由于模具的磨损小，就使大量零件所需要达到的精度得到

了保证。在锻造后只需最小的精加工就能满足零件的公差要求。

但是,热复压有一个主要的缺点。大概由于这个缺点使这种方法的应用,局限于对机械性能无更高要求的一些零件。这是由于变形时材料没有本质的流动,因此用这种工艺生产的零件动性能要比用材料较大流动的方法所制零件为差。(见图 2)

热复压工艺还制成了其它一些零件。图 5 是热复压的轴承及其预成型坯(左)。零件顶端面的六个凹穴是锻造出来的,其密度比零件的基体为高。这六个凹穴是磨损面,是要装配球形滚珠的。图 6 是链传动的链轮,左边是预成型坯。图 7 是卷线机的二个零件。图 8 是链条锯的驱动齿轮。也是热复压锻造。

图 3 中第三种方法与普通锻造方法有密切的关系。事实上普通锻造者正在按照操作

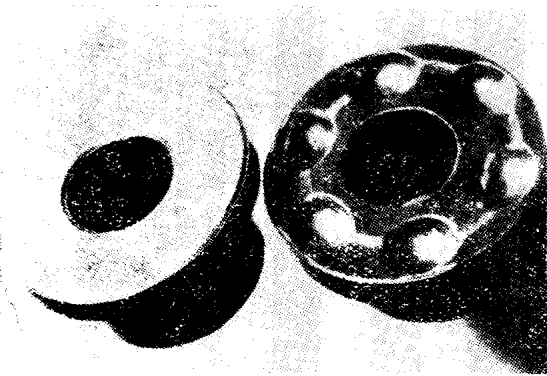


图 5 热复压的轴承: 预成型坯(左)和零件成品(右)

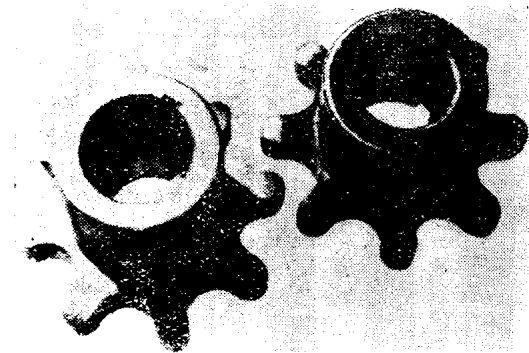


图 6 热复压的链条传动链轮: 预成型坯(左)和零件成品(右)

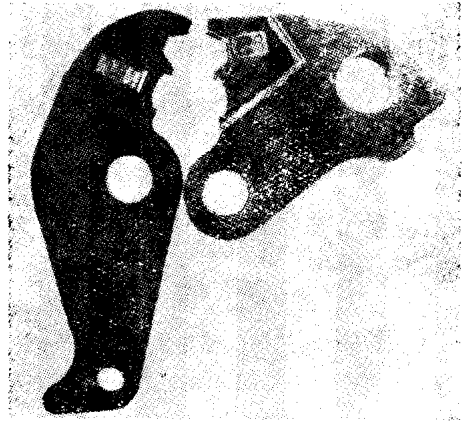


图 7 热复压的卷线机零件

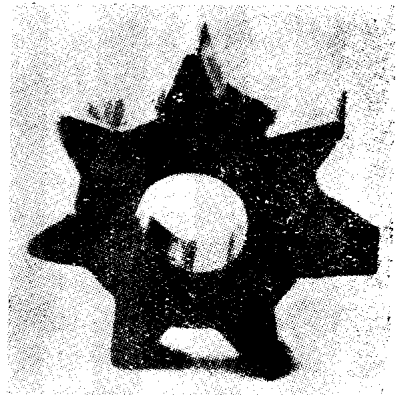


图 8 热复压的链条锯传动齿轮

最有效的材料流动方式去设计密实的预成型坯,从而达到节约材料和节约时间。粉末预成型坯的设计和普通锻造设计密实的预成型坯相同。粉末预成型坯的设计,除了满足所要求的制成形状之外,还必需满足消除孔隙,以及必需的材料流动量,以便得到所需的机械性能。当采用粉末预成型坯时,增加了一个要求是必需采取措施防止预成型坯氧化。然而粉末预成型坯对于普通锻造者却有许多优点。材料损耗和精加工工序可以大为减少。可以节省一些锻造工序例如整理,辊轧,修边,穿孔,及粗锻,并且经常只要锻打一锤就可将预成型坯制成零件成品。

图 9 及图 10 表示普通锻造者用粉末预成型坯的好处。这个零件是一个管道线遥控制阀的磁极块。它是用 50% 的铁和 50% 的镍合金制成,并且从棒材制造需要锻打 10

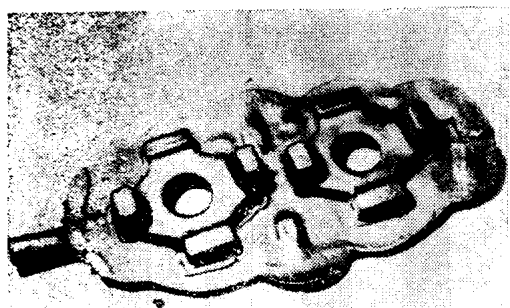


图9 普通锻造法制的管道线遥远控制阀的磁极块

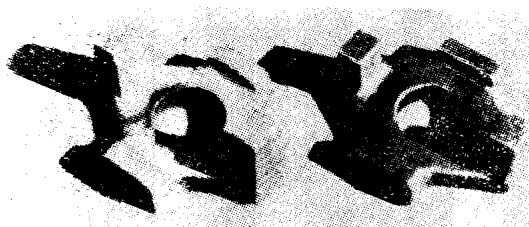


图10 闭合模粉末预成型坯锻造的管道线遥远控制阀的磁极块

锤以上。图9表示普通的锻造法在去飞边前的情况。这个零件用粉末预成型坯只要一次锻造工序。图10表示粉末预成型坯(左面),和粉末锻造零件成品(右面)。这个粉末锻造零件材料浪费极少,只需在最终线上作少量的磨削。这个零件的各细部较精确,而且由于比普通锻造零件有更均匀的组织所以具有较好的磁性。最后,这个粉末冶金锻造零件的总成本比普通锻造零件大大降低。

图11的一只链环是闭合模粉末预成型

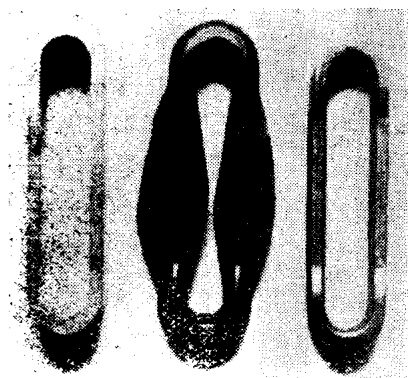


图11 闭合模粉末预成型坯锻造的链环: 预成型坯(左) 锻造后尚未去飞边的零件(中) 零件成品(右)

坯锻造的另一个应用。左边是预成型坯, 右边是零件成品。中间的一块是左边零件锻造后还未去飞边的情况, 它表示在锻造时发生大量的材料流动。

密闭模的预成型坯锻造

图3所示的第二种方法可以认为是由热复压(普通粉末冶金)和闭合模预成型坯锻造(普通锻造法)相结合而产生的。它是综合了普通粉末冶金的大批量生产性和无飞边的特点, 以及普通锻造变形大的特点。预成型坯与最终零件不必很相似, 但其形状需要保证在很好地满足下列条件下产生适当的变形:

1. 变形量必需保证材料的流动能够获得特定的最后形状。

2. 变形量必需按照零件所要求的一定程度和一定部位把预成型坯的孔隙填塞掉。

3. 变形量必需使预成型坯的材料发生足够的流动, 使最后的零件在指定程度和指定部位上有合适的机械性能。

密闭模预成型坯锻造已受到零件生产者的极大注意。辛辛纳蒂公司已在生产规模上发展了使用这种方法制造零件的一整套设备。图12是得到广泛宣传的差速器伞齿轮。它采用这种方法并即将大量投产。预成型坯和其最终零件外形不太相似。但其形状要求满足上述三个必要条件。这个零件在汽车上承受最重的负荷, 并且要求其动性能和高质量的普通锻件完全相等。这一种粉末冶金锻造零件已成功地通过道路试验, 并且其机械性能足以取代目前普通方法的锻造零件。

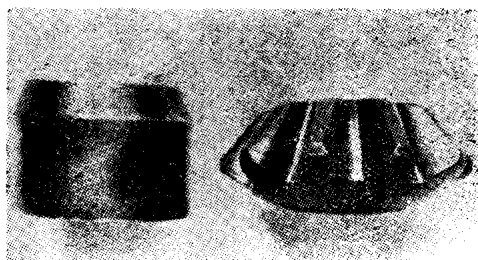


图12 密闭模预成型坯锻造的差速器伞齿轮: 预成型坯(左)和零件成品(右)

图 13 和图 14 分别表示用密闭模预成型坯锻造做成的连杆顶视图和侧视图。在二图中下面是预成型坯。虽然从预成型坯到最终零件在形状上变化很小，但连杆的柄部却需有大量的材料流动，因此，如称它为热复压零件是不正确的。图 15 是汽车自动传动杆上的输入环形齿轮。外周上的凸起部分是锻造

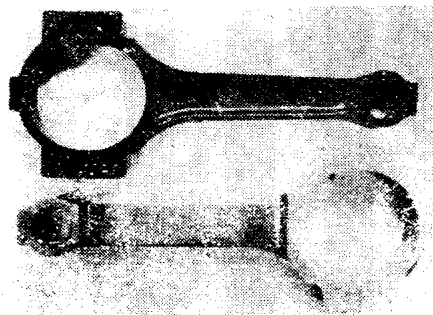


图 13 密闭模预成型坯锻造的连杆顶视图：
预成型坯(下)和零件成品(上)

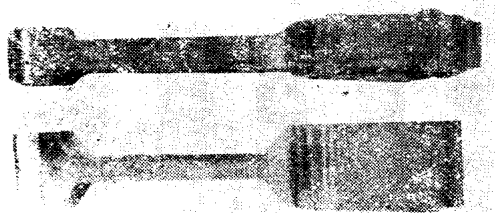


图 14 密闭模预成型坯锻造的连杆的侧视图：
预成型坯(下)和零件成品(上)

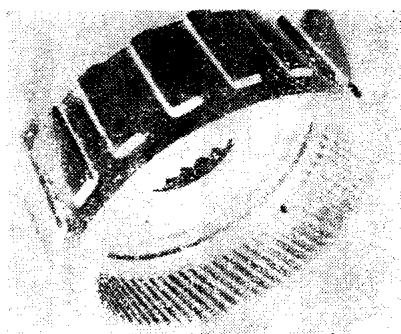


图 15 密闭模预成型坯锻造的输入环形齿轮

在零件上的。内齿和环状凹槽是锻造后机械加工的。

摘 要

在过去几年中应用低合金铁基粉末冶金预成型坯进行锻造的方法发展很快。这个方法能经济地生产零件，因此原来采用普通铸造和锻造的地方可以采用现有的成套设备能生产这些零件。生产大批量零件所需要的金属粉末也可以购到。多种零件已经制出，并经过实际试验。本年将看到粉末锻造零件正式投入生产。

译自 "Progress in Powder Metallurgy 1971, vol. 27, Part Two P. M. in Government Products" p. 103~115

法国汽车上的粉末冶金零件

汽车工业所需的许多零件必须满足严格的，也可能是互相矛盾的要求。一方面它们必须是精密的复杂形状，表面光洁度高，机械性能好，而且最要紧的是可靠，但另一方面它们必须能在合理的价格下大批量的生产。

生产零件有几种互相竞争的方法可采用，它们一般包括最后必需精加工，那往往是复杂的，既费工时又价昂。此外，为要生产某种形状有时需要将二个或更多的单体组装在一起，这样对于精度可靠性及生产时间产生了困难。在这方面粉末冶金工艺开始显示明显的优越性。

由于工艺学的发展，工艺上的及经济上的限制正在消除。这些，加上应用较大压力，加上纯度极高和具有特定适应性的，特别挑选的粉末可供应，加上一些新方法，例如真空处理的出现，导致烧结镍钢零件的性能方面很大的提高。现在大批生产的零件，机械性能可超过 81.6 公斤/毫米^2 ，它同时还保持适当的延伸性能。

在汽车工业中采用烧结镍钢零件的最显

著例子之一是法国巴黎 Societe Anonyme 汽车公司所制造的 Citroen GS 牌汽车。那种牌号的汽车已经生产了 20 万辆以上，而且每辆汽车上有 38 个烧结钢零件，其中 20 个零件选用镍钢是由于它们的优良性能。

每辆汽车上烧结镍钢零件的总重量是 3 公斤 (6.6 磅)。这种汽车的继续发展，自将需要在零件的运行方面作更大的改进，这会导致进一步扩大应用高强度烧结镍钢零件。

再者，对于具有很高的机械强度，抗拉强度 $122 \sim 153 \text{ 公斤/毫米}^2$ 的零件的需要量正在不断增加，而镍钢利用先进的烧结工艺，如二次压制，真空处理及高温烧结，结合锻造即能够达到那种性能。由于这原因，目前流行的趋向之一是烧结锻造工艺相结合。粉末锻造正在经过工业性试验，它可能在某些零件方面找到实际应用，例如：内燃机连杆，差速器齿轮，和其他传动零件。

烧结零件的照片见图 1，详细情况见下表：

