



1995年的粉末冶金

W.J. Huppmann 以世界知名的 50 名粉末冶金专家（例如，A. Accary, E. Adler, B. Aronsson, G.T. Brown, G. Petzow, G. Zapf 等）的著作和观点为根据，分析了粉末冶金的优点及其发展前景，并提出了如何发挥粉末冶金潜力、加速粉末冶金发展的某些具体建议。

他认为，目前粉末冶金工业正处于“蓬勃发展的时代”，许多新材料、新工艺以及新制品正在以前所未有的速度发展，其中大部分将面向高性能的应用。

一、材料

快速冷凝粉末 在超合金气体涡轮盘、叶片，高速钢预制坯以及飞机用特制铝合金的生产中，快速冷凝高性能材料具有很大的潜力。用快速冷凝技术制成的非晶和过饱和微晶材料没有任何偏析及杂质的聚集，就电磁、机械、磨损以及抗腐蚀性而言具有很大的潜力。

工业陶瓷 以氧化铝、氧化锆、氮化硅、碳化硅以及各种硼化物为基的工业陶瓷，具有耐高温（表1）、耐磨损的优良性能。为了克服做为陶瓷最大缺点之一的易碎性，近年来设计了氧化锆—氧化铝复合陶瓷，

表1 涡轮和柱塞发动机特殊陶瓷材料的最高操作温度

材 料	最 高 操 作 温 度 °C
氮化硅	1400
碳化硅	1400
氧化锆	1000
玻璃陶瓷(如 $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$)	700~1200
氧化铝/氧化锆	1200
富铝红柱石/氧化锆($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{ZrO}_2$)	1000
铝钛酸盐	800

并取得了很大的成功。

高合金钢 由于粉末冶金工艺为材料提供了更为均匀、各向更为同性的微观组织（以高速钢为例，示于图1），大大提高材料和制品的性能，所以，冷、热加工工具钢、不锈钢以及特种钢的质量在不断提高，而超合金、钛合金以及低合金完全致密碳钢也取得了可观的发展。

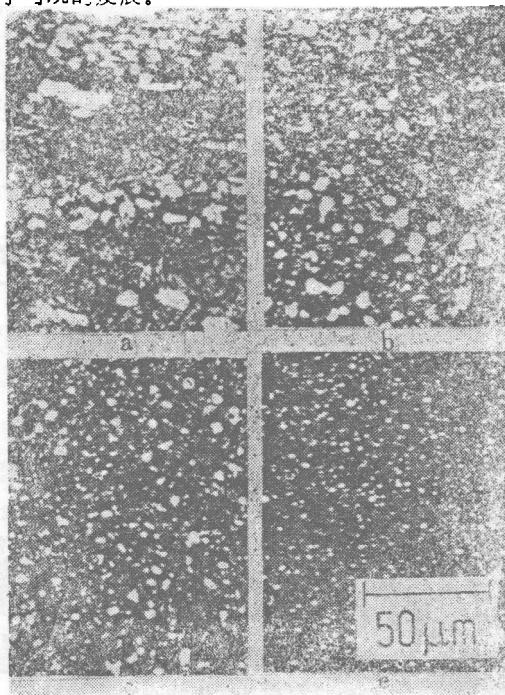


图1 用四种不同工艺制造的高速钢的微观组织

a—铸造和锻造； b—烧结到理论密度；
c—烧结到97%理论密度； d—热加工热等静压

铁磁材料 在铁磁材料领域，一个转折性的发展是 Nd—Fe 材料的出现，这种材料在日本正在进行工业规模的生产，而且其生产规模超过了稀土—钴磁材料（图2）。

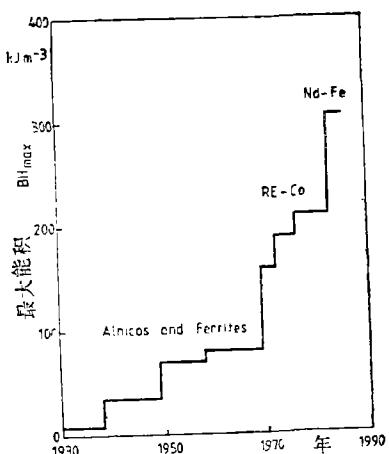


图2 粉末冶金硬磁材料的发展

图中, Alnico and Ferrites为铝镍钴永磁合金与铁氧体。

二、工艺

知名的粉末冶金专家们一致认为: 热等静压、粉末锻造以及经过改进的烧结方法是粉末冶金行业今后十年中最重要的生产工艺。

热等静压 多年来, 包套粉末热等静压和包套粉末预成形坯的热等静压得到了迅速发展, 这是一种通用工艺, 不仅适用于成品或近于成品零件的生产, 而且也适用于常规工艺坯型材的生产。该工艺的最大特点之一是可以提高陶瓷材料的机械性能, 以 $\text{Al}_2\text{O}_3-1.5\% \text{ZrO}_2$ (wt) 陶瓷为例, 采用烧结热等静压工艺和采用烧结工艺相比, 其弯曲强度可提高70—75%。

经过改进的烧结工艺 在烧结中, 使用计算机控制炉内热循环以及炉内气氛, 可以大大地提高热加工坯料和零件的质量, 使其密度达到或接近理论密度。而且, 作为有关热加工的原材料, 烧结坯较热等静压坯更为经济。

粉末锻造 用来制造高强度、高精度零件的粉末锻造工艺, 近几年来, 由于使用了计算机、自动化技术以及可靠的操纵装置, 工艺潜力得到了充分发挥, 在汽车等零件的制造中受到了最为广泛的考验。

此外, 近年来还发展了许多其他的新工艺, 随着现代粉末冶金工业的不断发展, 这些新工艺正在显示出其独到的优越性, 具有无限的生命力。例如,

先进的合金化工艺 如机械合金化、磨碎合金化等, 具有生产“不可能”合金(“impossible” al-

loys)的优点, 这种工艺在一定程度上甚至优于快速冷凝工艺。因此, 它在新的粉末冶金工艺中可能具有最大的潜力。

注塑成形 这是一种把粉末冶金与塑料注塑成形方法结合起来的工艺, 它是把超细、高纯粉末与有机粘结剂混合, 用常规塑料注塑成形机以较低的压力和温度注塑成形。而后通过先进的控制方法将粘结材料烧除或渗出, 最后烧结到接近或达到理论密度, 且零件表面具有厚度约0.50mm、硬度约HRC60的硬化层。该工艺适于制造精致而复杂的零件。

喷射成形 该工艺包括喷射沉积以及与此同时发生的喷射冷凝, 它是将喷射的金属液滴导向成形模, 液滴在模内一层一层地迅速冷凝而达到所需要的形状和厚度, 然后将模子用浸蚀或机加工方法去掉。该工艺适于生产要求较高抗拉强度和耐疲劳的零件, 例如, 涡轮盘等喷气发动机零件。

干袋冷等静压制技术 该技术具有与普通压制成形方法(即在刚性模具内进行轴向压制)相等的生产率潜力。而且, 能够生产用普遍压制方法不能生产的接近成品形状的零件, 因此扩大了粉末冶金制品的应用范围。

许多新的粉末冶金工艺, 例如, 常压冷凝、STA MP、粉末挤压(CONFORM)和喷射成形等, 都是用来生产诸如坯锭、带材、管材或线材等半成品金属制品的。所有这些工艺都不同程度地具有: 工序少、材料消耗少、微观组织均匀以及材料性能优良的特点。

三、制品

烧结钢制品 1950年以来, 烧结钢制品在汽车发动机和齿轮箱中的应用明显增加, 其品种的发展示于图3。而且, 通过材料和工艺的研究, 制品的机械性能也取得了令人满意的提高。粉末冶金齿轮的经济优点非常突出, 但由于材料和工艺的限制, 扭矩传递齿轮目前尚不能进行大量生产, 但这一问题在1995年以前肯定能够解决。

高温制品 在目前为止, 在汽车发动机的发热部位, 只有为数不多的阀门座圈是用粉末冶金方法生产的。随着工业陶瓷以及弥散强化合金的迅速发展, 粉末冶金制品的高温应用必然会迅速增加(例如图4)。现在, 粉末冶金技术正在用来制造超合金的飞机发动机涡轮盘(图5); 将来, 粉末冶金技术将用来制造特殊钛合金和特殊铝合金的飞机发动机涡轮盘。

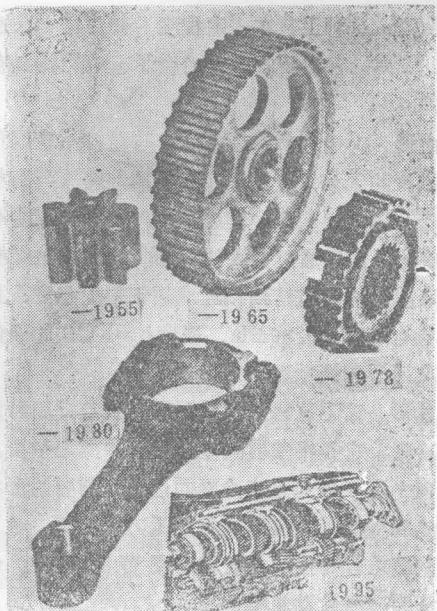


图3 P/M结构零件在汽车发动机和齿轮箱中应用的发展情况：油泵齿轮—凸轮轴齿轮—同步衬套—连杆—承载齿轮

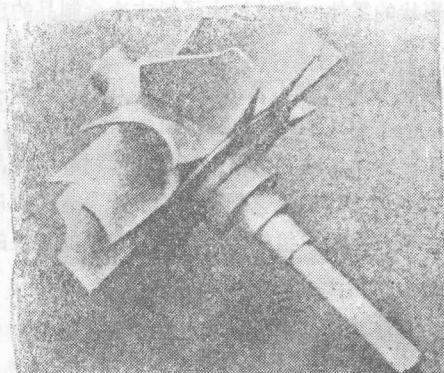


图4 用喷射成形和烧结工艺制造的涡轮增压器的氮化硅陶瓷涡轮(日本, NGK-Insulators)

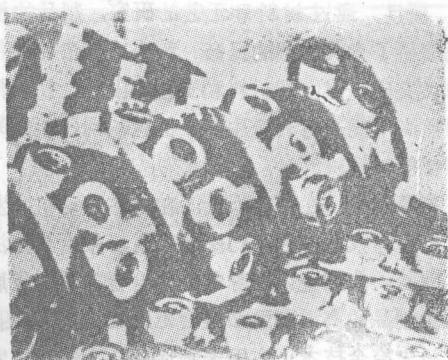


图6 用于加工轴承环的具有硬质合金颗粒的拉刀
(瑞典, Sandvik公司)

硬磁 在诸如人造卫星、宇航通讯、计算机存贮以及印刷等高技术领域中,粉末冶金硬磁零件正在向微型化方向发展。而且,这种倾向在未来也将继续下去,前面提到的Nd—Fe合金就是在这种倾向下发展起来的。

金属切削工具 金属切削工具是粉末冶金最成功的应用领域之一。E.lardner指出,用粉末冶金方法制造机卡刀头的优越性,开始并没有很快地为人们所认识,但是,人们一旦认识了这个问题,其应用就获得了迅速发展。最近,甚至拉刀也采用了嵌银结构(如图6)。

过滤元件 用等静压和真空烧结工艺制造的过滤器元件,在工业上已经应用了许多年(如图7)。在化工厂与污染控制的高效过滤系统中,其优点有待进一步开发。

由以上的介绍可见,到1995年,粉末冶金的发展潜力是极大的。就烧结铁和烧结钢结构零件而言,现在全世界的产量约为35万吨,到1995年可望达到100—150万吨。

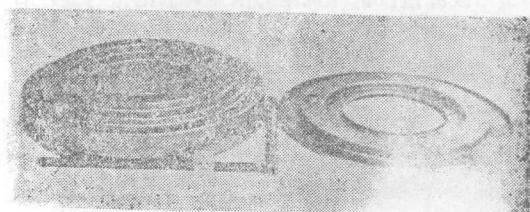


图5 飞机涡轮盘的热等静压粉末元件
(西德, Seil-Storfer)

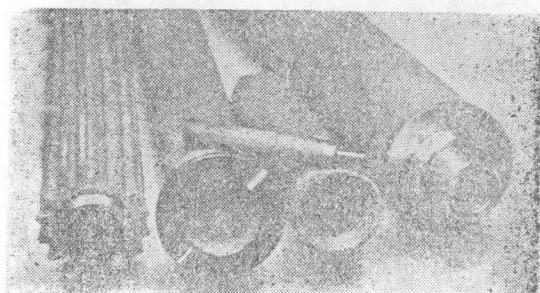


图7 用等静压和烧结制造的不锈钢粉过滤元件

郭庚辰 摘自 W.J.Huppmann 的 Looking Ahead to 1995—The Future of Powder Metallurgy [1984 American Powder Metallurgy Institute, 20 (3)]