

YE JIN YI WEN JI FEN MO YE JIN YI WEN JI FEN MO
YE JIN YI WEN JI FEN MO YE JIN YI WEN JI FEN MO

粉末冶金 译文集

(一)

华北地区粉末冶金行业组
机械委天津第五设计院
北京市粉末冶金研究所

卷一

编 者 的 话

鲁迅先生提倡“拿来主义”。凡国外有用的东西，都可拿过来，为我所用。国外工业发达国家的粉末冶金技术发展很快，不断取得新的成就。为了促进我国粉末冶金工业的发展，国外粉末冶金在新技术、新工艺、新材料、新设备和新产品等方面的近期成果，都应拿了过来，消化吸收，营养自己。国内同行多希望有一本介绍国外粉末冶金技术的杂志。由国家机械委通用机械粉末冶金行业华北地区行业组、北京市粉末冶金研究所和机械委第五设计研究院合办的《粉末冶金译文集》，就是适应这种要求而产生的。

本刊为不定期刊物。主要内容选自美、日、英、德、苏、法等国的粉末冶金会议论文、专业杂志、专利和标准。本刊面向生产和应用，选题着眼于实用性和新颖性，重点译登粉末冶金制品、材料、工艺、模具工装设计、质量控制、后续处理和制品应用等方面的文章，侧重于铁基、铜基、摩擦、多孔、磁性、电工触头等材料和制品。

本刊编辑委员会由(按姓氏笔划排列)王振常、刘文昌、李孔兴、李祖德、陈宏、张宏才、赵士达、赵秉宣组成，责任编辑王俊民、刘彦如。

本刊诚望得到粉末冶金同行的支持和爱护，欢迎提出批评和指导，以便改进我们的工作，不断提高刊物质量，更好地为读者服务。

1987.6

目 录

发展概况及动向

1. 苏联第十二个五年计划开始时的粉末冶金..... (1)
2. 粉末冶金结构零件的现状与发展前景..... (6)
3. 金属粉末和陶瓷零件注射成形市场和技术前景..... (9)
4. 日本汽车工业用粉末冶金零件四十年来的发展..... (17)
5. 烧结炉技术的进展..... (21)
6. 扩大粉末冶金结构零件品种的途径..... (24)

工艺、材料及制品

7. 气氛对水雾化铜粉还原和退火的影响..... (29)
8. Cu-Sn-Pb 系 烧结时的结构形成..... (36)
9. 合金成分对铜—锡合金系粉末性能的影响..... (41)
10. 成分配比和烧结温度对含油轴承用Fe-Sn、Fe-Sn-Cu系烧结合金的影响..... (45)
11. 制取条件对铁—铜烧结钢强度的影响..... (51)
12. Fe-Cu 和 Fe-Cu-C 压坯液相烧结的研究和分析..... (56)
13. 磷添加剂对烧结铁基压件的结构和机械性能的影响..... (63)
14. 密度和孔隙形状对烧结铁冲击性能的影响..... (71)
15. 烧结含高锌的雾化黄铜粉末制品时氢化钛的应用..... (75)
16. 含 MoS₂ 的烧结Cu-Sn-Ni轴承的性能..... (79)
17. 烧结 齿轮..... (84)
18. 高速摩擦时铜粉末冶金材料孔隙度对机械性能和摩擦性能的影响..... (88)
19. 雾化青铜基金属氟塑料减摩材料的性能及制取..... (91)

零件精整及设计

20. 粉末冶金精密零件的精整系统..... (94)
21. 烧结结构零件的合理设计..... (102)
22. 设计粉末锻造预形坯的“专家”系统..... (109)

性能测试

23. 烧结轴承寿命的测定..... (114)

苏联第十二个五年计划开始时的粉末冶金

В. И. Трефилов

(乌克兰苏维埃社会主义共和国科学院院士、
乌克兰苏维埃社会主义共和国科学院材料学问题研究所所长)

在1985年6月11日苏共中央全会上提出并进行深刻说明的加速科学技术进步,被定为1986~1990及至2000年苏联经济和社会发展基本方针草案的主要政治与经济任务。苏共把这看作是其经济战略的主要方面,是强化国民经济的主要推动力。科学技术成果的运用,对国民经济各部门的革新,对于解决迫切的政治、经济及社会问题都会产生决定性影响。

在国民经济的技术革新中,机械制造,首先是机床制造、计算技术业、仪器制造、电子工业与电子工业起着主导作用。

我们时代与可见未来的绝大多数战略性重要科技成就的实际实现都与创制新材料的问题相关。就是说,没有所需要的具有一定性能水平的材料,那么在热核能与可靠工作的快中子反应堆,特别是高温反应堆——核—氢动力工程的基础,固定的磁流体动力系统与热电子变换器,高温气轮机及新一代火箭发动机方面,在创制特别密集的与可靠的微电子学、新存储系统、输送电的超导动力线、大动力工程用经济的太阳能电池、机械制造用特高强度合金、程序数控机床用的新型工具等方面,在某种程度上都会阻碍它们现在的进展。

特别应该指出的是,这类材料的研究与生产正处于现代科学知识和现代技术可能性的边缘,因此,需要物理学家、化学家、力学家及工艺学家的联合努力。在这个领域要取得事业上的成就,科学家与生产者的经过深思熟虑的和协同一致的工作是绝对必要的。

无论从创制具有无比的综合性性能的新材料的观点,还是从经济与技术优越性的观点来看,在具有很大潜在可能性的生产方法中,粉末冶金及复合材料与涂层技术都具有极大的可能性。

与传统生产相比,粉末冶金法具有一系列优点。冶炼时,制造1t成品轧材,金属的消耗量不低于1250kg,就是25%金属实际上未供给机械制造部门。在机械制造中,机械加工时金属的利用系数为0.4~0.5。因此,生产1t零件,实际上要用2t轧材,为此,冶金工作者必须生产2.5t钢。粉末冶金技术实际上可以完全从金属生产中消除既有缺点,又很复杂的普通冶金过程(熔化,过热金属与渣子,笨重和难以自动化的炉子设备,多阶段性),不再需要在机械制造中对毛坯进行机械加工,并可大大改善生态环境。可将金属的利用系数增高到0.98,劳动生产率最少可增高一倍。将冶金与机械制造生产有机地联结成一种工艺的粉末冶金,可使由矿石或冶金生产的废料直接制造金属粉末,随后用压制和烧结将它们制成制品,而不需要经过像高炉炼铁,炼钢,轧钢及切削加工那样复杂的,以大量耗费金属与热能

为特点的生态“污染”过程。统计资料表明，用粉末冶金法生产1t钢铁零件可保证在机械制造中节约2t轧材，考虑到冶炼与密度的差异可节约金属达2.9t。用粉末冶金法生产1000t钢铁零件时*，可节约金属2900t**，可腾出190名工人和80台金属切削机床。

将粉末用于焊接技术效果也很大。在焊接中，粉末用于焊条涂层，用作焊条填料，及用于制造熔焊带。引用的关于节约金属、设备及劳动力的资料中，并未考虑到与由轧材制造件相比粉末零件的使用寿命长这一点。如，由粉末制造的机床液压系统中用的油泵零件，其耐磨性比由轴承钢轧材制造的高1.5倍。

因此，粉末冶金是一种效益高、效率高的技术，它可保证节约大量金属，增长制品的使用寿命，至少提高劳动生产率一倍，它使生产能实现深刻的自动化与机械化，大量地节省劳动资源。

现在，国民经济各部门都在应用以粉末冶金法制造的制品与半制品；在机械制造中—结构零件、摩擦材料制品、减摩零件、多孔零件、金属纤维制品及其它制品；在电工中—触头、永磁体、铁氧体、加热器、耐火材料；在金属加工与采矿工业中一切削工具用的硬质合金与超硬合金；在航空、火箭技术及原子动力技术中—热强合金、耐热合金及耐蚀合金；在化学工业与冶金中—耐化学与耐热材料、催化剂、过滤器、耐火材料等。

粉末冶金技术的第二个重要优点是能够独一无二地将多种物资(组份)复合于一种材料中，这用其它方法是无法实现的。正是利用粉末冶金技术的这个优点创制了用途最广泛的复合材料系列—弥散强化合金、增强合金、假合金。各种涂层在相当大程度上也是根据粉末冶金的这个特点制成的。

粉末冶金的第三个重要特点是，可创制由非常细的颗粒制造的材料，从而，可获得特细晶粒态。一般说来，用传统的冶金方法和材料压力加工的方法是无法获得特细晶粒态的，高度分散状态可产生异常的性能结合。正是利用超细晶粒态的方法可以解决我们世纪困难的材料学问题—制造结构陶瓷。

金属系统的超细晶粒态可保证难熔过渡金属基合金与铍兼有很高的强度与低的脆化温度。最后，超细晶粒态实际上能利用超塑性现象来提高不变形铸造合金的工艺性和改进它们的性能。

近年来，在粉末冶金领域取得了一系列第一流的科学与技术成果，毫无疑问，它们不仅对粉末冶金生产，而且，对科学—技术革命的进一步发展都将产生强烈影响。

在我们的年代正以非常快的速度发展复合增强材料的生产。只要记住下面一点就够了，比方说，复合材料按照比强度拥有最好的记录—它已突破了100~105km，可是强度最高的钢、钛合金、铝合金及镁合金的比强度只有25~30km。此外，这种复合材料具有较高的疲劳强度、高的耐磨性及耐蚀性，能够极好地阻尼振动，可以导电，具有特种磁性、吸附性能及其它性能。在它们的开发与创制中集中了许多科学学科(固体物理，力学，物理化学与有机化学)和各种工艺方法(等离子喷涂，高温轧制，电沉积，铸造等)的共同努力。

开发了一系列第一流的复合材料，已将它们成功地应用于新技术中，关于它们工厂已有相当多的生产经验，现在的任务是大大扩大它们的应用领域，特别是在宇宙技术、航空、建

*、**处原文有误，已进行改正——译者。

筑、造船、运输等领域中的应用。实际上，在我们的年代已诞生了一个新的生产部门—复合材料工业。对于广泛用于国民经济各个部门极有意义的是玄武岩纤维基复合材料，按照一系列指标，这种材料超过了玻璃纤维，而生产这种材料的原料基地无穷无尽。这种材料可取代用于隔热的石棉，可用来取代玄武岩混凝土中的钢筋，可生产隔音、过滤及建筑材料，其特点是成本低，使用寿命长，因为它们耐腐蚀，不会腐烂等。

广泛利用最近十年开发的制取涂层的新方法，将使机械制造与金属加工产生真正的深刻的技术革命。提高机器连接的可靠性与耐久性和切削加工与压力加工用工具的耐久性，以及防止金属腐蚀的问题都具有重大的国民经济意义。现在，大量资金都耗费在制造备件与维修工作上。由于工具的耐久性差，不得不大量地生产它们。在我们的年代，在汽车拖拉机制造中，制造备件消耗的金属已超过为新机器生产这些零件所消耗的金属。

在制取扩散涂层、气体加热涂层、等离子涂层及爆炸涂层方面，现有的科学—技术成果能几十倍地提高机械零件、工具、易受腐蚀制品的工作能力，并在提高制品的可靠性与质量的同时，可保证节约大量的稀缺金属、劳动资源、基本投资。

预计在世界范围的实践中，将趋向于日益广泛利用强度高于1.2~1.6GPa的粉末材料。

众所周知，粉末材料的强度取决于它们的密度；密度值低时，材料的强度低。倘若给予被变形的粉末材料以相当大的能量，则可制得密度接近轧材与铸件的粉末零件。所以，在粉末冶金中已开始采用高能制造制品法，如像热挤压、热等静压与撞击压制、热冲压等。倘若由粉末制造的不是半成品，而实际上是成品零件时，经济效益最大。撞击压制与热冲压在一次加载的条件下，可由铁粉基材料制成相对密度达98%的制品。苏联对这些方法在理论与工艺方面都在广泛地进行研究。已经开发了由铁粉、铁—碳材料及合金钢制造一系列制品的方法。按照强度水平，粉末材料相当于轧制的钢材，在许多场合下，超过了由金属锭用锻造制造的制品。

最近十年，许多新技术部门对难熔化合物的兴趣在急剧增长。开辟了利用它们的极为重要的新方向—创制了特高温热强与耐热结构制品，即实际上创制了结构陶瓷。利用这种材料可将结构中的温度从1100°~1150°C增高到1600°C，与其同时可大大增高气轮发动机的经济性。

创制结构陶瓷的中心问题是如何克服它的脆性破坏，应该说，用传统的制品制造工艺（例如粉浆浇注）不能保证解决这个问题。在这里需要新的物理概念。在这方面，苏联深入研究过的建立脆性（实际上宏观塑性为零）固体粘滞性态的构想具有巨大意义，它已达到工厂工艺的水平，虽然，目前还仅限于超硬耐撞击工具的生产。

在第十一个五年计划期间，苏联在发展粉末冶金技术和扩大其应用范围方面前进了一大步。主要是完成了综合科学—技术计划〈粉末冶金〉的目标任务，这是46个部及其所属200多个单位共同努力的结果。苏联部长会议科学技术委员会的科学委员会对其完成进行了协调，像过去20年一样，乌克兰苏维埃社会主义共和国科学院材料学问题研究所是牵头单位。在过去的五年中，铁粉与铁粉制品的产量增加了一倍，铜粉与铜合金粉的产量增长了30%。

工业上掌握了9种制造粉末的新方法，其中包括用空气、水、惰性气体、蒸汽—空气混合气体雾化金属，以及用转化煤气与氢还原超精矿。最近，预定可用它们来建立出产优质粉末的核—氢冶金综合体。建立了新的和大大扩大了现有的生产材料与制品的能力，开发了多种新的结构材料、电工材料、磁性材料（包括非晶态基材料）、工具材料、热强材料、无线电

电子学用的材料。可靠地掌握了热冲压、等静压制与气体静压制、双金属材料连续轧制的工艺方法。创制了10种新型成形设备、6种电工设备及5种磨碎—混合及筛分设备。

对实现计划目标作出重大贡献的主要科学中心有：材料学问题研究所，超硬材料研究所及乌克兰苏维埃社会主义共和国科学院的帕顿电焊研究所，白俄罗斯共和国的粉末冶金科学—生产联合体，巴尔金黑色冶金科学研究总院，〈土拉黑色冶金〉科学—生产联合体，乌克兰特殊钢科学研究所，顿巴斯黑色冶金科学研究所，全苏难熔金属和硬质合金科学研究设计院，全苏轻合金研究所，全苏航空材料研究所，全苏电子机械科学研究所，国立镍工业企业设计院，国立汽车与内燃机科学研究所，国立稀有金属科学研究所，苏联科学院乌克兰科学中心研究所和西伯利亚分院，拉脱维亚苏维埃社会主义共和国科学院无机化学研究所，全苏钛设计研究院，以及俄罗斯联邦、乌克兰、白俄罗斯、亚美尼亚、爱沙尼亚、乌兹别克斯坦的许多高等学校的教研室。

遗憾的是，苏联生产的专用设备并不都符合用户的高的要求。苏联机床工业部的某些企业制造的压制设备就属于这种情况。对电工部的工厂生产的粉末冶金用电热设备的质量与品种也有意见。机床工业部与拖拉机农业机械部没有完成建立生产金属粉末制品的大型专业化工厂的计划。

机械制造者也应想一想关于扩大应转为用粉末冶金法制造的制品的品种问题。

无论是按照科学—技术成果，还是按照工业上掌握它们的规模来分析第十一个五年计划执行的结果，都深信，进一步发展粉末冶金的重要课题是，扩大机械制造中制品的品种和大大提高各部门牵头科学—研究所的作用与责任。

预计在第十二个五年计划期间，粉末冶金制品的产量至少翻一番，与之同时应大大改进工艺设备的质量。只有在专业学科全规模的〈参加〉下，这个任务才能完成。

韩凤麟 译自〈Порошковая Металлургия〉1986(2)，1~6

附 录

苏联的粉末冶金工业

韩凤麟

苏联是一个比较重视发展粉末冶金工业的国家，但是，由于管理体制与汽车工业生产水平等方面的制约，一直发展缓慢。在第八、第九、第十个五年计划期间，粉末冶金工业发展较快。根据资料〔1〕，1965~1970年期间，普通机械制造与电工用粉末冶金材料与制品的产量翻了一番；在第九个五年计划（1971~1975）期间，粉末冶金制品（不包括硬质合金）的产量增长了50%以上，1975年为1970年的188.8%；1967~1977年期间，铁粉产量增长了1.7倍，粉末冶金制品的产量增长了6倍。

苏联政府一直到70年代末才认识到发展粉末冶金工业的重要性与必要性，因此，在苏共二十六次批准的〈苏联1981~1985及至1990年期间经济和社会发展基本方针〉〔1〕中规定：

1. 扩大新型的金属粉末、合金粉末及难熔化合物基结构材料、涂层及制品的生产；
2. 广泛应用工序少、废料少及无废料的工艺方法……扩大取代黑色与有色金属的先进材料的生产……；

3.为了制造具有较高耐磨性、较长使用寿命、较高耐蚀性的制品,和为了减低机械与机构的劳动量与金属消耗量,要将金属粉末的生产增加二倍。

据资料〔2〕,1980年苏联粉末冶金制品的总产量约为5~6万t,其中结构零件约占60%,减摩零件约占25%,硬质合金约占6%,余量为摩擦材料、永磁体及电触头。粉末冶金级铁粉的生产能力约为4万t。

阻碍苏联铁基粉末冶金零件发展的主要障碍之一是适用铁粉的生产能力不足〔2〕。为此,1980年左右,苏联与西德Mannesmann的Meer-Pulvermetall division签定了技术合作合同,合同规定西德这家公司将帮助苏联建造一座年生产能力约为8万t的,水雾化钢铁粉末生产工厂,原计划1983年投产。同时,还将为苏联包建二个粉末冶金零件生产厂。二个工厂将建在季米特洛夫格勒汽车厂内,生产20种左右零件,年产粉末冶金零件9000t,是苏联最新最大的粉末冶金厂。

苏联有100多家工厂在生产各种粉末冶金材料与制品,其中包括铁基和有色金属基合金、硬质合金、永磁体等。苏联在莫斯科(生产能力5000t)、布劳瓦(生产能力3000~4000t)、土拉、苏林、高尔基汽车厂、克里莫沃、卡卢加、罗斯托夫及米丘林斯克都建有粉末冶金厂。

在1986年开始执行的《苏联1986~1990及至2000年期间经济和社会发展基本方针(草案)》〔3〕中,关于发展粉末冶金规定如下:

1.机械制造系统。……在机械制造业中增加使用先进的结构材料—低合金钢轧材、弯曲、异型及定尺型材、粉末冶金材料和塑料。……;

2.机床制造和工具工业—……增加由金属粉末、塑料和其它材料零件的生产,……。发展工具的专业化生产。将装有硬质合金和金属陶瓷不重磨刀片且有多层耐磨涂层的高效刀具的生产提高2~3倍。广泛利用强化工艺;

3.黑色冶金—加速生产的技术改造。……,金属粉末的产量提高一倍以上。……;

4.有色冶金—扩大金属粉末的生产。……。

1986年是苏联第十二个五年计划的第一年。那么,苏联现在粉末冶金是处于什么状态呢?乌克兰苏维埃社会主义共和国科学院院士、乌克兰苏维埃社会主义共和国科学院材料学问题研究所所长В.И.Трефплов的文章《第十二个五年计划开始时的粉末冶金》很好地回答了这个问题。这篇文章详细阐明了粉末冶金在国民经济和科技发展中的作用,说明了苏联当前粉末冶金的发展状态、第十一个五年计划的执行情况和存在的问题。这对于我国政府的有关部门,对于我国机械和冶金企业中的广大工程技术人员,研究、思考我国的粉末冶金工业如何发展,可能是有益的。为此,将这篇文章全文译出,推荐给各位一读。

主要参考文献

1.Г.А. Либенсон, Производство Спеченных Изделий, Москва, Металлургия, 1982, 7~8.

2.MPR, Vol.36, № 11 (1981), 539~543

3.中国科学技术情报研究所重庆分所译,《1986~1990年及至2000年,苏联经济和社会发展基本方针(草案)》,科学技术文献出版社重庆分社出版,1986年4月。

粉末冶金结构零件的现状与发展前景

И. Д. Радомысльский

结构材料及其零件，是粉末冶金产品类型中最普遍的一种。用粉末冶金方法生产的典型支承零件有齿轮、链轮、凸轮、金属垫圈、盖板、端盖、棘轮、连杆、三通接头、顶盖、法兰、轴承体等。结构用粉末冶金零件应用在机械和仪表制造业的各个部门，不管在传统的或新型工业部门，例如在微电子技术、原子能和宇航工程、计算机和半导体工程上都得到广泛的应用。

生产出的成品或预制坯形式的结构用零件，有时要求少量的机械加工。原料是铁粉、碳钢和合金钢粉、青铜、黄铜、铜、镍、钛以及其它金属和合金粉末。

深入地研究组织结构因素对材料物理机械性能和特殊性能的影响，可以预测并制造供预定条件下使用的、成本最低的粉末零件。根据这些条件，粉末结构材料可分为两类：一类代替传统的铸造和压力加工方法生产的碳钢和合金钢、铸铁、有色金属及其合金；另一类具有特殊的性能(耐磨性和耐蚀性，具有磁性、电物理和热物理性能等)。

应用粉末冶金结构零件可提高机构的可靠性和经济性，在某些情况下(采用具有特殊性能的材料)，可以开发新型的机械、仪表和设备。

制造结构材料新型粉末领域的进步，由新型粉末制造制品工艺的进步，以及它们在生产中的广泛应用，对机械和仪表制造业发展的现代水平提出的新课题有了解决的可能性。60~70年代对数百个企业所进行的调查表明，对结构零件的工业需要量占粉末冶金零件所有品种的60%以上。

对结构制品提出的要求是，要有规定的强度和耐磨性(齿轮、棘轮、泵和缝纫机零件等)，还应有一系列其它物理性能(磁性、电性能、热性能、耐腐蚀性、热强性等)。

粉末冶金结构制品在各种各样的条件下使用，这些使用条件在作用应力水平、应力状态的类型以及其它物理化学作用方面各有特点。根据作用应力的大小，这些载荷条件可分为轻载荷、适中载荷、中等载荷和重载荷(表1)。

粉末材料的特点是其中有大量的宏观孔隙，这是由原始产品的晶粒结构决定的。孔隙度极大地降低了粉末材料的物理机械性能。运用可靠性理论概念，对粉末体的一般模型进行充分的研究所建立的关系式，就考虑到孔隙度在最宽范围内变化时的这种影响。这一关系式是： $\sigma = \sigma_k (1 - \Theta^2)^2 \exp(-B^\Theta)$ 。式中 σ ， σ_k —分别为成分和结构相似的多孔和无孔材料的物理机械性能； Θ —孔隙度，%； B —故障率，取决于 $\Theta \rightarrow 0$ (在 $2 \leq B \leq 8$ 的范围内)时的材料制取和试验条件。塑性材料在静压时该式有最小值，低塑性材料在动力载荷时有最大值。

粉末冶金碳钢与合金钢是最大的一种粉末冶金产品类型。目前由铸造或轧制材料做的轻载荷和中等载荷零件尺寸，是由于设计和工艺的理由选择出的，其结果是非常大的强度储备和较高的金属消耗。

表1 粉末结构制品的性能及推荐的制造工艺

按负载程度 分类的零件	密度级别	孔隙度, %	多孔和无孔制品性能比, 占无孔零件的%		制造工艺
			强度极限	塑性及冲击韧性	
轻载荷零件	1	25~16	20~45	25~35	ПР-СВ
适中载荷零件	2	15~10	45~65	35~60	ПР-СВ-ТО ПР-СН-ПР-СВ-ТО
中等载荷零件	3	9~2	65~95	60~90	ПР-СВ-ГШ-ТО, ПР-СВ-ХШ-ТО ПР-СВ-ЭК-ТО ПР-СТ-ЭК-ТО
重载荷零件	4	2	95~100	95~100	同上

注: ПР—粉末冶金; СВ和СН—在 $T=(0.75\sim 0.90)T_{\text{熔点}}$ 的高温下和 $T=(0.5\sim 0.6)T_{\text{熔点}}$ 较低温下烧结; ГШ和ХШ—热锻和冷锻; ТО—热处理或化学热处理; ЭК—挤压; СТ—气静压制

轴套、顶盖、金属垫圈类的轻载荷零件, 孔隙度在15~16%以下, 一般用碳钢粉末基混合料通过一次冷压获得, 压制压力为600~800 MPa。随后在氢气或其它保护介质中烧结, 于1150~1200℃保温2小时。零件较高的精度通过精整达到。为了保证零件的密封性, 对其浸渍金属或非金属熔液以及有机物单体(在后一种情况下, 还进一步起聚合作用)。如有必要, 还对零件涂复保护性或装饰性涂层。

适中载荷的零件, 有10~15%的孔隙度, 在600~800 MPa压力下通过两次冷压和烧结获得。低温烧结在800~850℃保温1小时, 高温烧结在1150~1200℃保温2小时。较复杂的零件要进行机械加工, 形状简单的零件精度通过精整达到。根据使用条件, 对零件要进行热处理或化学热处理(一般渗碳)。

重载荷零件(例如齿轮、凸轮、链轮、连杆和法兰盘等)按通常采用的方法来获得所希望的强度。通过两次烧结、热压、热锻或冷锻、预先对由碳钢或合金钢粉制的成形压坯浸渍液体金属来获得零件。较复杂的和较高精度的零件要进行补充加工和精磨。根据使用条件, 对零件要进行热处理、形变热处理或化学热处理, 对其涂复保护层或装饰性涂层。

苏联以及其它国家生产的粉末制品品种的主要部分, 是相当于1和2级密度的多孔零件。

高能成形方法, 可以获得具有高机械性能和物理性能的致密零件, 但目前很少应用。例如在苏联, 这种零件的数量一般占生产总量的6%。

粉末冶金企业的主要任务, 是掌握复杂形状致密零件的生产。这可以急剧增加高强度零件的品种, 以及增加具有特殊物理性能(耐腐蚀性和耐磨性, 磁性和热性能等)。为了这一目的, 必须按照规定的品种组织合金化粉末的生产。

从重量和数量方面分析粉末结构制品的品种, 引起人们极大的兴趣(表2)。重量大于100克的零件为主要的一类, 其生产超过80%。重量大于400克的零件的产量超过50%。但是从数量上讲, 重量在10克以下的零件是主要的, 其产量大于50%; 与此同时, 重量大于400克的零件生产量仅占6%左右。

由上述数据可见, 苏联和其它国生产的粉末结构零件主要相当于低重量的轻载荷和适中载荷这两类。为了改善品种结构, 必须转向大量生产大重量的零件, 这些零件的物理性能将

表2 结构制品按重量和数量的分布

零件重量, 克			年产量, %	
大 于	以 下	平 均	按 重 量	按 数 量
0.5	10	3.5	2.2	51.1
10	20	13.7	2.4	14.0
20	50	26.1	1.7	5.7
50	100	60.3	9.3	12.4
100	200	152.0	20.8	10.9
200	500	414.2	11.4	2.2
500	1000	850.0	35.7	3.4
1000	—	4043.0	16.4	0.3

符合中等载荷和重载荷这两类。为了这一目的,应当首先使粉末冶金企业的设备适应这一情况,并组织合金粉末的成批生产。

增加零件的重量,与压制面积的扩大相联系,因而也和压制压力的增加以及相应压机的功率密切相关。所有这些随之而来的是设备生产率降低。因此应适当地发展在压机上没有冷压工序的工艺。其中包括零件的振动成形并随后低温烧结。最有发展前景的大重量零件的生产流程有如下几种:在压机上成形,烧结,热锻,退火;在恒定模中振动成形,低温烧结,热锻;在恒定模中振动成形,对模具钎焊和抽气,在环境介质的压力下烧结;装填容器,真空脱气,水静压致密并焊接容器,高温气静压制或爆炸成形;将粉末装入容器,振动,焊接容器,抽真空并挤压;在压机上高速成形并随后烧结;将合金化粉末材料轧制成带状和板状(其中有两层的),再用高频和低频电流进行连续烧结。

上述的每一项工艺流程都要求建立高质量的专用设备。

在制造大尺寸制品时,在实践上应将制品分成几部分,然后再焊接、粘结或钎焊以及在烧结时扩散结合。为此应合理地设计一套标准化的组成部分,由这些部分就可装配成复杂形状的零件。

可以看出,铁和铜粉末冶金继续发展最有前途的方向是,用高能成形方法和不施压力的一次成形法,大量生产中等重量或大重量的、具有很高物理和化学性能的、形状复杂的结构零件和软磁零件。应广泛地利用焊接、粘结和钎焊零件的可能性。为了迅速改善粉末零件的质量,应广泛地应用现代固体物理学和金属学的成就。在这些科学原理的基础上,可以开发许多高强合金—弥散强化材料,纤维材料和复合材料。采用细分散合金化粉末以及实现成形和烧结的快速工艺,可以获得具有较高性能的材料。例如,用最大粒度小于 $1\mu\text{m}$ 的技术用铁粉,已获得强度为 0.9GPa 的材料,添加 1% 石墨,可使强度增加到 2.3GPa 。

应合理地广泛采用金属玻璃和金属塑料材料,它们能极大地降低机械和仪表的重量,节约金属。

近期应广泛地开发合金化钢及合金粉末基结构材料的品种:开发供化学和食品机械制造业、飞机和轮船制造业、汽车和机床制造业用的、致密的不锈钢结构材料;应开发在强烈磨损条件下,在高温和低温作用下,在磨料、气体介质和真空作用下以及不补充润滑剂的条件使用的粉末冶金耐磨材料。要求研制轻的、强度高、耐腐蚀的钛、铝、镁粉及其合金基零件的制造工艺,还要求制造复杂形状的双金属和多层零件。

李孔兴译自《Порош, мет.》1985(10), 37~41

金属粉末和陶瓷零件注射成形市场和技术前景

Leander F. Pease III

(马萨诸塞州, 北安多佛, 粉末技术有限公司)

〔提要〕粉末冶金注射成形是一个小的行业, 但它具有巨大的潜力。本文作者对这一新兴的工业进行了客观的观察, 并对注射成形金属和陶瓷粉末零件的市场和工艺提出一个切合时宜的看法。这包括对现行销售价格的评价和注射成形零件的应用领域。通过对现行工艺局限性和新技术的考虑, 有可能预见到技术因素和粉末价格将如何影响这一行业将来的发展。本文并介绍从事粉末冶金注射成形的主要公司的业务活动的概貌。

引言

这一代从事金属粉末注射成形工作的人已经领会到如何做出用单轴压制所无法获得的形状, 以及如何获得只有通过粉末冶金热锻才能达到的密度和性能。有几家公司已能作到使金属零件的公差为 $\pm 0.003''$ /吋, 其中一家能保证尺寸为1吋的零件公差在 $\pm 0.001''$ 之内。我对前景的预测是通过那些对细颗粒金属粉末与有机粘结剂的混合物在烧除粘结剂及烧结工艺中的特有问题的有经验的人员获得的。

下面我将说明金属注射成形零件目前的销售价格以及销售市场。然后, 研究一下现行工艺的局限性和新的技术, 我再来指出技术因素和粉末价格如何影响这一工业的前途。我也将介绍一下从事这一新兴工业的主要公司的概况。

注射成形的现状

我们现在讨论的是一个很小的, 但具有巨大潜力的工业。1985年生产的IM(金属注射成形)零件的总值不超过500万美元, 它消耗了大约10万磅羰基铁粉。典型的合金是含有2-8%羰基镍的铁的合金, 同时也有少量的由预合金粉末或采用混合元素法生产的不锈钢。上述铁粉用量的估计是来自两家零件/混合料生产厂商所消耗的粉末和一个粉末供应商提供的数字, 并经过另两个观点的校核。估计总的零件销售额可以通过把数目有限的来源中每一家所生产的相加起来, 或者先按每磅2.16至3美元的价格计算10磅羰基铁粉的成本, 再在材料成本为销售价格10-15%的基础上计算零件价值。更为意味深长的是一个从事此项工作的成员所表示的意见, 在这个工业成长的这一阶段, 销售价格与成本不发生联系! 但这不会无限期的持续下去, 同时我们必需要超越目前的阶段, 看一看这一工业将如何有力地与自动加工, 失腊铸造, 也许还有压铸进行竞争。

在1985年, Parmatech, IBM, multimaterial Molding, Form Physics, Omark, Millette Sights, Brunswick Technetics, Zulauf, 和Ormco等公司都生产和销售注射成形零件。这些公司直接制造这类零件的雇员总共不超过50-70人。关于将来的发展, 其中一家可望在目前大约100万美元/年的基础上有20-50%/年的增长速度。其它的公司正在扩展业务并

可能有更高的增长速度，不过他们现有的销售额却相当低。一位保守的熟悉内情的人士认为在十年之内，这个行业的销售额将达到每年2亿美元。如果后面提到的技术问题有一些能得到解决，我就定会同意这个估计是可能实现的。

注射成形零件的市场包括医疗、牙科(畸形齿校正托架)、宇航和导弹、电子设备、军事装备、武器和军械、办公机械和印刷机、以及照像机等。任何形状复杂、批量适当(5000件)的小型零件都可予以考虑。畸形齿校正行业有4~5个托架供应商，注射成形有可能成为唯一使用的托架制造方法。据一位接进这个行业的人士透露，一个售价为0.65美元的托架只用0.10美元就能制造出来。我们对于目前销售的注射成形畸形齿校正件的价值没有精确的估计。如果这一数字超过每年1百万美元，那么上面所估计的目前总的市场销售额还要增加。

这个工业外表上规模之小看起来与它的潜力和在它的成就中所获得的产业利益的数量殊不相符。考查一下各个公司正在做什么，就会很快发现这个工业部门正面临戏剧性的变化。

什么是金属粉末注射成形

在Parmatech的Wiech的早期工作中，使用细(10 μ m)的金属粉末与大约10%重量的石蜡和塑料混合。这种混合料可以在经过改装的注射成形压机上像塑料一样进行注射成形。去除已成形零件的粘结剂可分为两个阶段进行，第一个阶段使用溶剂，第二个阶段通过加热进行。用这种方法将绝大部分粘结剂去除之后，就可以在控制气氛中将零件仔细地加热以去除残余的粘结剂并使这些微细的粉末烧结到接近完全致密。完成去除粘结剂和烧结大约需要4天。Wiech后来修改了这一工艺，以便完全通过加热来脱除粘结剂。在烧结中，致密度为50—60%的注射成形零件的线性收缩率大约14%左右。典型零件倾向于具有薄的截面以利于粘结剂的逸出，上限一般认为在0.375"—0.500"之间。零件最长的尺寸目前小于4"。尺寸的限制取决于你找谁，并不是所有的公司都认为这些尺寸是上限。

Wiech的专利是4197118(1980)，4305756(1981)，和4404166(1983)。MacPherson有一个专利，这可能就是Form Physics公司的技术来源。Rivers拥有关于使用甲基纤维素作为粘结剂的Cabot专利(4113480)。在我的印象中这些专利仅仅是开始，那些从事金属粉末注射成形的人已经获得了可观的关于其实际应用的诀窍。传统上，古老的德里之柱被作为早期的粉末冶金制品，以同样的态度，我们也有一个不足为凭的故事，那就是福特和丰田公司在1937年就已各自制造了注射成形金属粉末或陶瓷的发动机壳体。

从事注射成形的主要公司

从事金属粉末注射成形最早的公司是加利福尼亚州San Rafael的Parmatech。这家公司是由Wiech, Millette, Zueger, 和Roth等人在1972年左右成立的。七十年代末期，Parmatech公司由于哥伦比亚火箭喷嘴获美国金属粉末工业联合会奖。该公司至今一直采用Wiech最早的工艺及其改进工艺生产零件。他们目前的营业额若以美元计算40%为陶瓷件，60%为金属件，每个营业范围实际使用的模具为20-25套。由于与陶瓷机加工相比可节约成本，故像2000—5000件这样小的批量他们也做。对金属件来说，一般需要每批5000件以上。零件最大截面尺寸估计为0.375—0.5"，其公差对1"长的零件为 $\pm 0.4\%$ ，最高可作到 $\pm 0.3\%$ 。他们认为他们将来的市场在于全致密材料的注射成形。

Parmatech有以下几方面的商业活动：

1. 按用户订货生产注射成形金属和陶瓷零件。
2. 研究与开发工作。

3. 出售注射成形和烧结专有技术, 并提供注射成形和烧结设备。

4. 经营一个被称作“小型精密工具”的分部。

小型精密工具分部制造特殊工具, 包括用于将细导线联结到印刷电路上的注射成形陶瓷工具。他们可以在陶瓷中做出直径为0.001”的毛细孔。

Parmatech向下列公司出售了自己的注射成形专有技术生产许可证:

1. Reminton Arms公司, 生产金属零件。

2. 杜邦公司, 生产陶瓷零件。

3. 肯塔基州Lexington的国际商业机器公司。

4. 新泽西州Ravitan的Thomas and Betts公司。

5. 成形注射公司(欧洲)。

6. Rockwell国际公司。

7. 德克萨斯州Lubbock的Zulauf公司。

8. 加利福尼亚州Huntington海滩的Millette Sights公司。

下面我考察一下持有Parmatech公司生产许可证的多家公司的活动, 纽约州Llion以Remington公司在1983年以前使用Parmatech的工艺进行了几年的开发工作。在1983—1984年期间, 他们开始接受订货, 并制造和提供注射成形零件。他们的经验表明, 不能用对原有工艺进行简单扩大生产去满足大批量生产的要求。那些想要购买注射成形零件的公司对注射成形工艺表现出相当的兴趣。Remington公司用“Injectaloy”的商标名称出售其注射成形零件。近一年半以来, Remington公司又在积极投入扩大这一工艺, 并且再次接受零件订货。这家公司以其高温烧结不锈钢和低合金零件著名, 这一技术应有助于他们处理注射成形材料的烧结。Remington是特拉华州Wilmington的E. I. Dupont. de Nemours公司的一个单位, 其母公司的专利部门也持有一个生产注射成形陶瓷零件的生产许可证。

肯塔基州Lexington的国际商业机器公司(IBM)自七十年代末期以来一直是Parmatech公司生产许可证的一家有活力的持有者。这方面的工作起初是由Wood, 最近是由Miracle进行的。目前IBM公司有一个6个人的部门, 为本公司生产自用的注射成形金属零件。他们现在使用一台单膛Parmatech烧结炉, 加热区为边长3.5'的立方体。此炉子用于脱除粘结剂(氧化周期)和高温还原两个周期。举一个例子, 这台炉子能在一个工作周期生产1万3千个倾斜环。这个周期需要大约4天半的时间。IBM公司目前生产10种不同的零件, 但倾斜环是从Parmatech购入的。注射成形的倾斜环与失腊铸造的相比, 具有更好的机械性能。IBM公司的各个分部在设计新产品中制造原型机和批量生产时都利用这一部门。有时他们发现在某种零件过时以前用注射成形生产此零件能够节约生产成本一百万美元以上。他们试验了大约30种零件, 有10种零件已投入生产。

尺寸精度可达: 对于最大尺寸为0.437”的零件总公差为0.0115”, 对于其它零件为 ± 0.005 ”/吋。小孔直径公差保持在0.0001”。到目前为止, 最长的零件为3”长, 其最大截面为0.5”。最近的某些零件已经将Woods当初的想法具体化了, 即设计为组件的一组零件可用注射成形的一个零件来代替。

Miracle认为这一工艺可以在一家公司里作为一个主要的部门经营, 就像IBM所经营的那个部门一样。他设想这家公司正像购买其它生产设备一样, 购买注射成形专用设备。这一工艺可以高度自动化, 使一个人就能调整一台压机, 一名技工就可进行这一工艺的操作。而

具有塑料注射成形经验的人，就是这样一个部门最合适的经理人选。

IBM用这个工艺生产批量小的零件，虽然模具寿命可达30万件。更换模具仅需要大约30分钟。他们偶然在烧结炉中同时烧结多达4种的不同零件。成品零件烧结到理论密度的96—98%。

我不了解Thomas and Betts, Mold Inject或Rockwell国际公司的具体情况。位于德克萨斯州Lubbock的Zrlauf公司是Parmatech公司指定的许可证单位，生产畸形齿校正器材。Millette由当初Parmatech的合伙人之一经营，生产金属注射成形零件。

Parmatech公司的发展史圆满地结束了，Roth现在在瑞士生产注射成形零件，Zueger在San Rafael经营Parmatech公司，而Wiech则于1980—1981年前后离开了Parmatech公司并在加利福尼亚州的圣迭戈建立了Witec公司。

到1983年初以前，Witec公司已经向Remington公司、Brunswick公司，多种材料成形公司，神户制钢以及另外三家在瑞士的公司出售了许可证。Witec的业务为提供技术、原料，以及注射成形和烧结设备。位于佛罗里达州Deland的Brunswick公司在1982年1月以前购买了一套Witec的装置，到1983年1月份以前则已买入了Witec公司本身，现在它以Brunswick Technetics Witec公司的名称营业。Brunswick至今一直继续发展脱除粘结剂和烧结的专用设备。第一套这类装置是在1986年2月提供给威斯康星州Janesville的SSI Technologies公司的。Brunswick还有一个目标是以“交钥匙工程”方式出售装备，这样对注射成形有兴趣的公司可以将其作为一个附属部门进行经营，为它们自己生产零件。Brunswick公司长远的兴趣在于提供原料。目前，25磅包装的混合料售价在每磅5美元至10美元之间，这取决于是低合金钢还是合金含量更高的材料例如不锈钢。Brunswick公司的短期经营方针是采用合作制造模型和原型零件的方式，以鼓励其它公司购买本公司生产的装备。

细颗粒技术公司的总部在加利福尼亚州的Camarillo。它是几家有关注射成形企业的控股公司：

- 多种材料成形公司；
- Maya电子设备公司；
- 日内瓦材料研究所；
- R&W陶瓷公司；
- 成型线路公司。

据Borg Warner报道，他们已对细颗粒技术公司投资。我相信其他主要包括Lindgren, Wiech, Verduzco, 以及Walls。位于加利福尼亚州圣迭哥市的多种材料成形公司由Verduzco经营。它从Witec公司获得在美国出售产品的非专有许可证及在南美和以色列出售产品的专有许可证。目前使用20付模具。它所提供的样品包括在计算机打印机工业中应用的零件。他们估计最大的截面尺寸为0.5"，公差为每英寸 ± 0.003 "。

成型线路公司为半导体工业制造专有产品。位于加利福尼亚州Auburn的R&W公司由Walls领导。他们的业务主要是冷等静压并烧结制成的技术陶瓷。日内瓦材料研究所Wiech联合进行研究和开发工作。Maya电子设备公司制造注射成形的原材料以及把原料制成零件的工艺设备。他们提供给我们的样品零件是在一台28吨Arburg注射成形机上生产的。Maya公司出售的炉子只能用于研究开发工作。如果打算进行商业性生产，或者需要一套更大的装置，则必须取得细颗粒技术公司的许可。采用这个程序是为了保证与专有技术许可证持有者

之间不发生矛盾。

俄勒冈州Woodburn的Omark工业公司经营一个由Crydon领导的注射成形部门已有数年之久。使用的技术是Brunswick-Witec类技术的派生物。他们已成功地制造出大约12种不同的刀片，用于他们自己专有的加工线中。他们还按照订货为本地区的用户加工过几种零件。现在他们正在迁入更大的厂房中，以进一步发展其业务。

Ormco公司是Sybron公司的一个分部，它在其位于加利福尼亚州Glendora的工厂中生产畸形齿校正托架。其研究和发展部的经理是Kidd。这些托架由烧结不锈钢制成。他们采用的是一种专有技术。

位于康涅狄格州水域的工程烧结件和塑料件公司是Alves家族所有并经营的。他们自从1977年以来一直积极发展一种金属注射成形方法。1985年，这门技术已发展到他们开始提供零件供销售。当时他们已提供由三套模具成形的零件，第4种零件接近于供货的水平。他们使用各种各样的原料，包括市售细颗粒粉末，也可能包括某些由他们自己使用粗颗粒粉末的混合料而发展出来的粉末。Alves在注射成形的实践经验方面有优势，从他们公司创业开始就有注射成形部门。首批发展的三个零件是枪上用的。第四种零件是办公机械用的，截面尺寸为0.75"。

Alves先生对长达2—4天的典型脱粘剂剂和烧结时间而感到沮丧，这个时间至今仍是注射成形工业所普遍使用的。他出身于粉末冶金工业，在粉末冶金工艺中，一般只需30分钟就可脱除润滑剂和烧结，他最近发展了一种特殊的粘剂剂，可以在1500°F下进行预烧结，然后用和常规粉末冶金差不多的方法进行烧结。这代表了脱除粘剂剂和烧结所需要的时间上量的变化。

在这个快速脱除粘剂剂的概念之外，他还提出并不是所有的零件都需要完全致密的概念，这是他在粉末冶金锻造中曾经倡导过的。他认为这种工艺在产品几何形状方面所提供的灵活性应能使钢零件的密度范围在6.6至7.4g/cm³之间，也可接近完全致密。另外，如果在保持公差或平直度方面有困难，还可以通过精整或复压工序来解决。

加利福尼亚州圣迭哥市的Form Physics公司使用由Mac Pherson所发展的一种粘剂剂和注射成形工艺。Form Physics公司主要由一家澳大利亚矿业公司——基本资源公司供给资金。这家公司的产品文献表明它至少已为20种不同零件制造了模具，其中包括诸如畸形齿校正和照像机等领域。这家公司不透露它的技术。它的技术是以一种专有的、与元素粉末或预合金粉末混合粘剂剂为基础。混合之后材料的稠度介于软塑料和硬的棒状皂之间。然后使用塑料成形工业用的常规研磨装置制粒，使之成为不规则的小球粒料。于是就可以用这些粒料进行注射成形，或者采用在模型中压缩等其它手段成形。

在成形过程完成之后，将零件进行化学处理，以有选择地脱除掉大部分粘剂剂。去除粘剂剂后，零件变得孔隙很多而且十分脆弱。然后将零件放入高温炉中进行烧结。这家公司的文献阐述了一台有代表性的用于这一目的的真空炉，这就说明在放入炉中以前绝大部分粘剂剂已被脱除。关于是使用粗颗粒还是细颗粒粉末，或关于脱除粘剂剂或烧结时间的长短等均没有资料。有关产品的资料说明公差能保持在每英寸±0.001"，表面光洁度8微吋。已经成功用于生产的材料包括铁、铁—镍、因瓦铁镍合金、不锈钢、碳化钨、以及多种陶瓷。他们提出最大横截面为0.5"，零件的典型横截面为0.02"至0.4"。

Form Physics公司提及的应用包括不锈钢畸形齿校正托架，硬质合金旋转研磨块，各种模

型和模板，计算机点阵打印机打印锤，挤压氧化铝陶瓷管和喷嘴，铬镍硬质合金齿轮，各种托架、支座及磁带导板。烧结时，零件收缩4%到32%。他们相信大部分零件基本上是全致密的。为了节省小批量产品的模具费用，他们已采用一种在机械加工的塑料或金属模板面上注射成形的工艺生产模具，据说这种技术对于几何形状复杂，零件尺寸小以及模型要求有多个模腔时，成本非常合算。目前，Form Physics公司既不打算转让这一工艺，也不打算出售设备。

位于印地安那州Kokomo的Cabot公司转让Rivers的专利4113480号所说明的技术。这个专利使用一种由甲基纤维素，水，甘油和硼酸组成的粘结剂。根据这个专利，这种有机混合物具有一个很有趣的特性，即它在加热至190°F的温度时形成胶体。因此，当这种材料在这一温度或接近这一温度下在模具中注射成形时，就形成了坚硬的物体。水在250°F时很快就脱除了，这时零件具有足够的连通孔隙使得甲基纤维素和其它材料可以很容易地脱除掉。只要去除了水，就有可能在30至60分钟完成脱除润滑剂和烧结。注射成形周期大约是30到60秒。一旦零件脱除了水，就比它们刚从模型中取出时大大的强化了。在我的实验室中使用Cabot公司提供的锥形环进行的试验证明了这些零件可以在4分钟内从室温加热到2050°F，粘结剂全部脱除，并且没有裂纹和起疮现象。在2050—2100°F之间在分解氨气氛中烧结45分钟，就可以生产出密度大约为7.2g/cm³的零件。使用较低的升温速度，例如在网带炉中，可以得到稍微低一些的密度。在这一试验工作中使用含8%镍的羰基铁粉。当这种材料在2200到2400°F温度下烧结时，可获得96—98%的理论密度。Cabot相信能够制造截面厚度为1"到2"的零件，公差有可能达到每英寸长度上±0.003"。对于大型零件必须注意保证在成形以后出模、搬运或装炉过程中不能压出凹痕。如上面所指出的，该工艺也用于-100目水雾化17-4 PH不锈钢粉和-100目的司太立(铬钨钴合金)材料。

Cabot于1984年决定转让其技术。在此期间，500多名各界人士询问了转让程序的细节，或安排试验计划。Cabot工艺的第一家许可证持有者是位于佛罗里达州Coral Spring的Handy Harmon, NIT公司的一个部门。还有其它几家公司也接近于获得这一工艺的转让。我相信，由于受让公司在常规压制与烧结行业中的声望，这个转让工艺的决定在对未来的许可证受让人施加影响方面将起积极的作用。向NIT的转让是最近的事，我相信迄今还没有任何零件投入实际生产。

1979年，Battelle纪念学院开始进行一个多个委托人的研究计划，目的在于发展金属粉末注射成形的基本理论。初步的目标是发展较粗粉末的一种注射成形和烧结方法。我相信这一项目仍在进行中，并且有大约38家出资倡办者。这个局面是在该学院成功地对陶瓷粉末注射成形进行了研究之后形成的。

为了证实社会各界对注射成形感兴趣的程度，我向几家细颗粒粉末的供应厂商询问了他们的看法如何。一个羰基铁粉的供应厂家现有6个客户在密西西比河的东面，9个在西面，另外在东方还有4家客户对此有兴趣。一个供应预合金材料的厂家收到25到50家公司的询问，但是很难确定他们是否都对注射成形感兴趣。

液相烧结或强化烧结

大多数注射成形工艺均使用10μm的球形铁粉，例如羰基铁粉。一般有两个原因：这种铁粉有好的流变学特性，同时有足够大的表面积使在2200°F左右的温度下烧结1至2个小时能达到接近完全致密的程度。使用价格为0.35美元/磅的-100目水雾化铁粉比使用2.16美