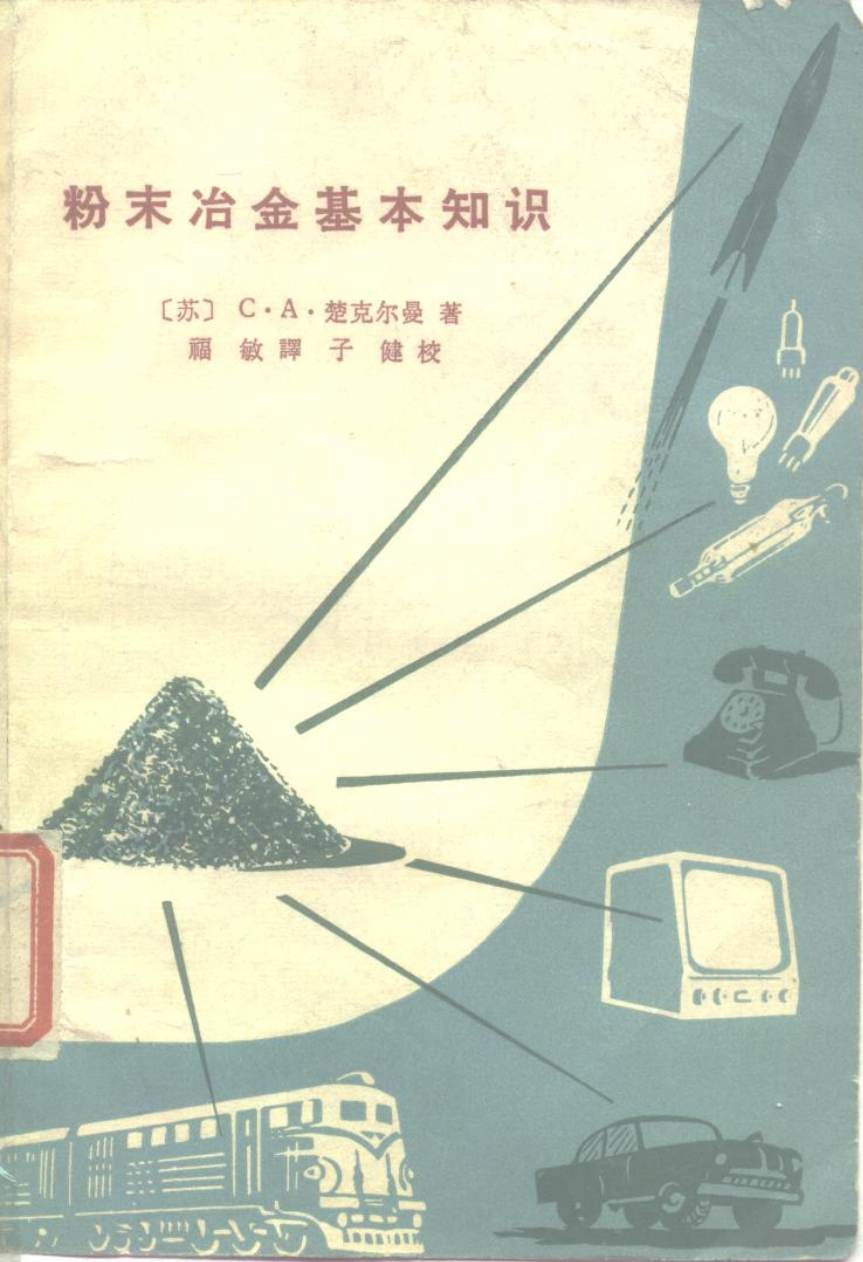


粉末冶金基本知识

〔苏〕 C·A·楚克尔曼 著
福敏译 子健校

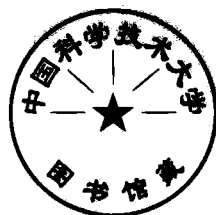


76.13
580
C.3

粉末冶金基本知識

[苏] C. A. 楚克尔曼 著

福 敏 译 子 健 校



中国轻工业出版社

本书介绍了现代技术的一个重要部门——粉末冶金（又称为金属陶瓷制术）的产生和发展简史，详尽地叙述了金属陶瓷材料及其制品的各种生产工艺、性能和应用范围，以及粉末冶金的经济价值与发展远景。

这是一本通俗易懂的技术普及读物，适于冶金工业技术工人、技术人员、管理人员等参考。

С.А.Цукерман

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА—1958

* * *

粉末冶金基本知識

福 敏 譯

子 健 校

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所

书刊編輯室編輯（北京市灯市口71号）

中国工业出版社出版（北京东便门大街10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 787×1092¹/₃₂ 印张 4¹/₄ · 字数 91,000

1962年10月北京第一版·1964年1月北京第二次印刷

印数 751—1,548 · 定价(10-5) 0.52 元

*

統一书号: 15165·1882 (冶金-283)

38850

目 录

緒言	1
第一章 粉末冶金簡史	5
第二章 粉末冶金的科学原理	14
第三章 金屬粉末	19
第四章 粉料的准备和配制	31
第五章 压制	38
压制因素	39
設備和工艺	45
压型的性能	54
第六章 燒結	57
燒結时的各种現象	58
設備和工艺	67
第七章 热压制	72
第八章 金屬陶瓷生产的工艺方案和补充加工	78
工艺方案	78
补充加工	84
第九章 金屬陶瓷材料的性能	87
第十章 金屬陶瓷材料、制品及其应用	91
难熔金属制品	91
硬质合金	95
金剛石金属制品	100
耐热强度合金	101
减磨材料	104
摩擦材料	110
多孔金属陶瓷制品	113

06886

机器和机械零件	116
磁性材料和制品	118
电工材料	121
其他类型金属陶瓷材料	124
第十一章 粉末冶金法的经济意义和发展远景	126
参考文献	130

2-2-001

緒 言

粉末冶金是年輕而又極其重要的現代技術部門，這個部門製造金屬粉末和各種金屬粉末製品。粉末冶金有時又叫做金屬陶制術，因為製造金屬粉末製品的生產過程與陶瓷生產相似。然而，金屬陶瓷材料的制取並不一定就是金屬與陶瓷的組合。

粉末冶金的實質如下。把專門選配和製備好的粉末混合料放在壓模內，用每平方厘米 1,000~10,000 公斤的壓力壓制成型。得到的半成品的強度尚未達到製品的使用強度，但可以將它運至下一工序。材料所需的機械強度僅在熱處理之後才能達到，燒結的溫度應低於混合料中母體金屬的熔點（為熔化溫度的 66~75%）。這一基本工藝流程有各種不同的形式，本書有關章節內將分別加以說明。

粉末冶金在工藝上比其他方法優越是它得到發展的主要原因。粉末冶金法實際解決了現代作為製造高硬度切削刀具基礎的難熔金屬和耐熱材料的生產問題。如果要用鑄造方法以工業規模熔煉這類材料，以及用這類材料製造製品，那是不可可能的，因為難於選得在高溫（例如 3,400°——這是鎢的熔化溫度）下不熔化或不與熔化的金屬（或化合物）起反應的爐襯。只有粉末冶金法才能將用普通方法熔煉時由於偏析而互不溶解的金屬製成合金，特別是當組成合金的金屬，例如，鎢和銅（熔點各為 3,400°和 1,083°），鐵和鉛（1,535°和 327°）等的熔點懸殊很大時，就更為明顯。

用粉末冶金法還可以製造除金屬成份外還含有非金屬成

份的材料，以及由两层(双金属)或数层不同金属组成的材料和制品。金属陶瓷的一个引人注目的用途是能将非金属成份导入金属母体内，这是用别的方法所不能达到的。

粉末冶金独特之处是能够制造其孔隙率可被控制的多孔材料，这是用熔炼和铸造法所不能做到的。

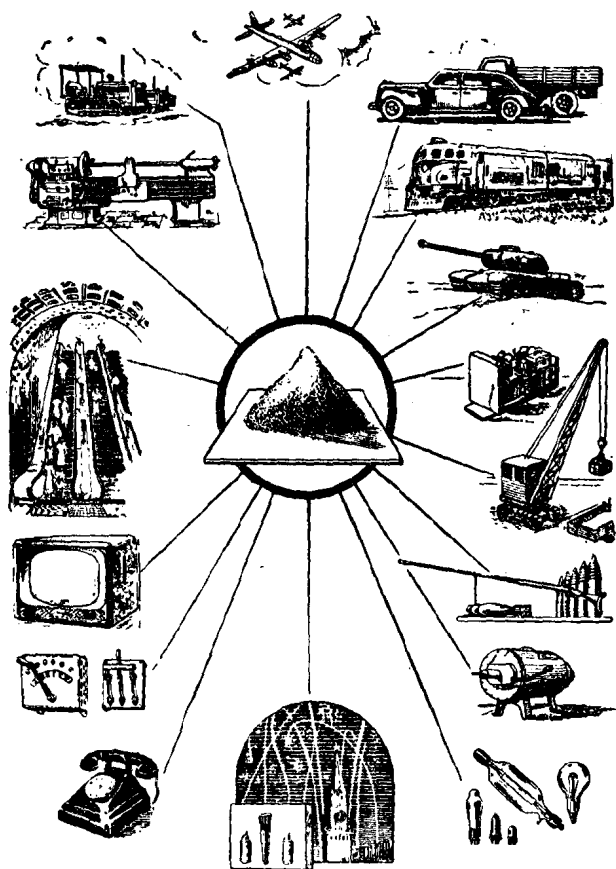


图1 金属陶瓷制品的应用范围

有充分的根据可以断言：現代技术沒有金属陶瓷材料是不可想象的，这种材料的各种应用范围正在逐年扩大(图1)。例如，电灯泡和电子管的零件是用难熔金属——鎢、鉬、鉭的粉末制成的。用粉末冶金法制成的現代硬质合金刀具引起了金属切削加工和采矿业的真正革新：金属切削加工的速度提高了数十倍。在工业中成功地使用着金属陶瓷减磨材料、多孔轴承、过滤器，以及許多其他的制品。粉末冶金法既能用最重的金属(鎢、鉬)，也可以用最輕的金属(鈹、多孔鋁)制造制品。用金属粉末可以制成具有各种不同性能的材料。按照不同的工艺，可以用鉄粉制成机械性能与鑄鉄、青銅甚至和鉛相似的材料。此外，利用粉末冶金法还可以制出与普通鑄造金属不同的高純度金属(不被炉衬材料和脱氧剂沾污)。

粉末冶金的另一主要优点是无需进一步切削加工就能得到成品。这一优点在大批生产中表現得更为明显，因为在这种情况下能获得許多經濟利益：加速制品的制造过程；降低工时消耗；騰出大量的金属加工机床；沒有金属切屑損耗，而这种損耗在用其他方法时占金属重量的20~80%。

例如，用粉末冶金法制造小齿輪时，工艺过程是由制粉、压制、燒結和整形等簡單而少費力的工序組成。当用先鑄造后加工的方法制造同样的齿輪时，用生鉄鑄成的坯件却需要进行机械加工：钻孔、車外徑和內徑、加工鍵槽、切齿和最后精加工，而且最后的两道工序极为費力。图2所示为用普通机械加工方法和用粉末冶金法制造齿輪的工艺对比图。制造1,000个齿輪，用普通方法需要一个熟练工人劳动30小时左右，而用粉末冶金法总共只需一个不太熟练的工人劳动10小时。

除了优点以外，还应指出阻碍和限制粉末冶金法广泛应

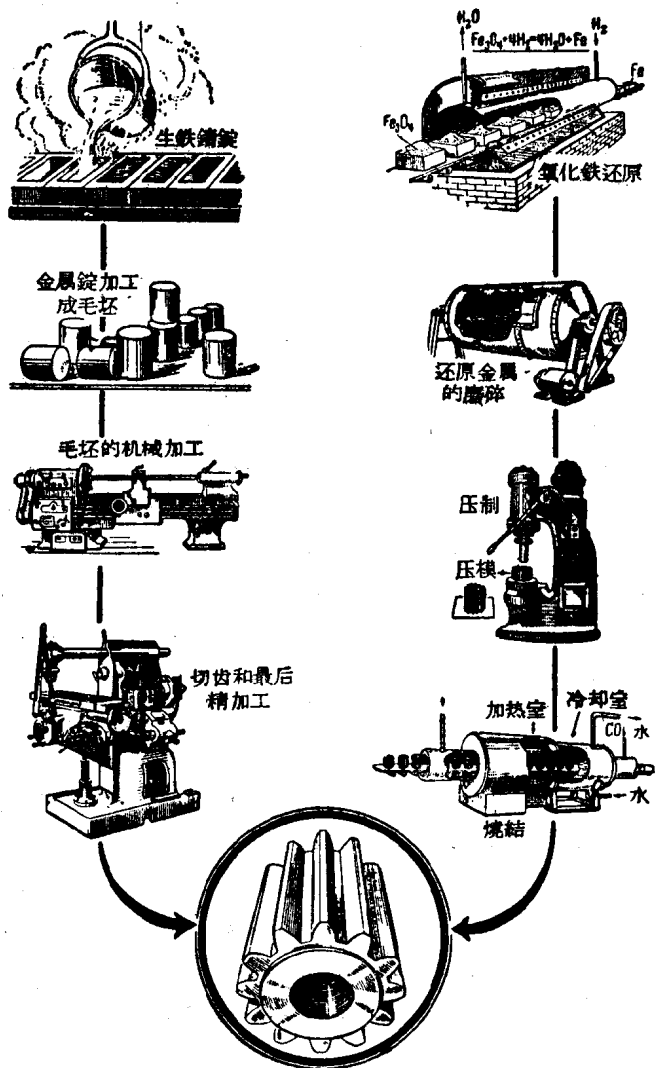


图2 齿轮制造工艺对比图
左—机械加工法；右—粉末冶金法。

用的缺点，其主要缺点是金属粉末的价值高（尤其是因为用粉末金属制造零件时，金属中的杂质都轉入制品中去，所以必須采用最純的金属）和目前还没有有成效的办法制造鋼、青銅、黃銅等合金粉末。用金属粉末制造的制品，由于多孔，所以容易氧化，不仅表面发生氧化，而且整个制品都发生氧化。金属陶瓷制品的塑性（冲击韌性、延伸性）較低。由于压模的价值高，所以不宜于制造数量少的制品。粉末的压制成型有特殊的困难，因而制品的外形尺寸和形状也受到了限制。

粉末冶金在技术中的作用正在日益增大。从数量上看，金属陶瓷制品的产量目前还不大，約为世界金属产量的0.1%，但是，无论从制成的材料和制品的质量上看，或是从每个制品的金属消耗量上看，这个数字都不能真正說明粉末冶金在技术上的作用。例如，1公斤鉄粉制成的零件（由于沒有金属切屑的損耗、比重較小等）就相当于2~4公斤鑄制金属；1公斤金属陶瓷硬质合金在金属切削加工和压力加工时可以代替数十公斤高合金工具鋼。

在工业中广泛采用粉末冶金工艺将促进技术进步和国民經济的高涨。

第一章 粉末冶金簡史

粉末冶金的历史可以說象金字塔那样古老，而又象現代轰炸机那样年輕。

古代往往是对燒結的粉末物质进行热鍛而得到制品的。在埃及法老王图坦哈蒙（公元前14世紀）的陵墓內，发现了鍍有金粉的短劍。有資料記載：还在哥伦布发现美洲以前印加

人就已經用燒結貴重金屬粉末的方法制得了制品。公元第4世紀時印度德里修建的廟宇中，有一些重達6.5噸的柱子，這些柱子是用熱的還原鐵塊鍛制的，因為用煤還原鐵礦石時不能達到鐵的熔化溫度。

但是所有這些材料和制品都不是用燒結預先壓制過的粉末的現代方法制得的，而是熱鍛燒結過的粉末物質制成的。

著名的俄國冶金學家索博列夫斯基使現代粉末冶金法第一次得到工業應用。

19世紀初葉，俄國打算在工業中採用高熔點的金屬。但是當時的爐子不適合熔煉這類金屬。例如，熔化溫度為 1773°



帕·格·索博列夫斯基

的鉑就必須用間接法，即先熔煉成亞砷合金，然後在氧化氣氛中長時間地灼熱脫砷的方法制得；因為砷可以降低含鉑合金的熔化溫度。但是用這種不完善的方法不能制得工業數量的鉑；此外，砷對工人的健康極為有害。

當時在烏拉爾發現了富鉑礦床。俄國造幣廠決定用鉑鑄造硬幣。那時還不知道製造可鍛鉑的方法，為了發展制鉑工業就必須擬定制鉑的工藝。索博列夫斯基在留巴爾斯基的參與下成功地解決了這個問題。

索博列夫斯基在1781年出生在一個醫學和植物學教授的家里，畢業於陸軍貴族武備學校，1804年退伍。索博列夫斯基發揮了自己的才能，成功地解決了各種技術問題。他從1816年起至停止活動時止，一直在礦山部門工作：1824年以前在廠礦工作，從1825年起在彼得堡礦業學堂（後來更名為礦業學院）工作。在這裡，在他的積極參加下創辦了“礦業和鹽業部門、礦業學堂和總礦藥配劑室的聯合實驗室”。

擺在這個機構面前的是極重要而又引人注目的課題：“1.試驗和分解礦石、鹽類和在俄國發現的所有礦物；2.有關改善熔化和洗選礦石、熬鹽和其他冶金操作試驗”^①。這樣一來，實驗室成了第一個將化學與廠礦生產聯繫起來的研究機關，也就是俄國的第一所礦冶科學研究所。

在索博列夫斯基和他的實驗室面前的最重要的課題之一，就是尋求可鍛鉑的提純方法和製造工藝。最初，索博列夫斯基試驗了鉑與砷熔合的方法（阿哈爾得法）。當他確認這種方法不完善之後，便試圖尋求製造金屬製品的新方法。

索博列夫斯基在完全放棄熔煉鉑的方法以後，他將用化

① “采礦雜誌” 1827，卷Ⅱ。

学处理天然化合物制得的、经过精炼的海綿鉑填入压模內，用压力机压制，然后将压制品加热(燒結)并再用压力加工。经过这样加工之后，金属改变了自己的形状而成为致密的鉑制品。

正如索博列夫斯基对他的方法所描述的那样：“除了鉑以外，几乎所有我們所知道的可鍛金属都可以熔炼、有时用反复数次熔炼的方法进行精炼，因此金属在精炼后可以得到它所固有的可鍛性；但是，鉑在熔炼炉中最强烈的温度下也不熔化，所以精炼鉑时連最起码的可鍛性都得不到，因而鉑的加工，除了精炼法以外，还需要采用与加工其他金属时見到的冶金过程大不相同的特別方法。”^①他接着写道：“經驗証明我們的想法是正确的，并給我們提供了将精炼鉑变成可鍛鉑的最简单、最可靠的方法。这种方法就是：将冷的、精炼过的海綿鉑极其致密地填入厚的、任意大小的鉄的环形压模內，用螺旋压力机的强大冲压力对它施压，然后将其从模內取出，就得到具有金属光泽的、致密的圓块鉑。鉑块在这种状态下沒有鍛性，而且顆粒間的内聚力不能抵抗施于其上的强大冲击力，因而鉑块会折断和破碎。为了将这种圓块变成可鍛鉑，就只有将鉑块加热到白热，并在这种热度下用上述压力机压制。经过一次錘击之后圓形鉑块就完全改变了本身的形状；其晶粒組織变得致密了，于是鉑块就成为完全可鍛的鉑了……压缩以后，用普通方法就可以把圓块鉑鍛成理想形状的鉑带或鉑棒。”^②

用鉑粉制的第一批工业制品是索博列夫斯基在留巴爾斯基参与下于1826年5月24日(旧历12日)制成的。

① “采矿杂志”，1827，卷Ⅱ。

② 同上。

从索博列夫斯基的叙述中可以看出：这种方法在原理上与現代制造致密的金属陶瓷材料的方法沒有任何差別。

1827年3月21日(4月2日)，在矿业和盐业科学委员会隆重的大会上报告了索博列夫斯基和留巴爾斯基的工作。在这个大会上介绍了用索博列夫斯基的新方法制成的鋼絲、酒杯、坩堝、重6磅的方条、硬币、奖章(图3)。同年索博列夫斯基在“采矿杂志”上发表了自己的著作。

参加过索博列夫斯基試驗表演的謝格洛夫教授曾这样叙述自己的感受：“俗語說得好，偉大的发现往往在以后看来是简单的。几乎欧洲所有著名的化学家七十年来都在努力寻求从自然界中含有鉑的其他普通矿物内提炼純鉑的最简单的方法，并将其制成可鍛和致密状态；但迄今他們的努力却一直沒有成效……光荣和荣誉应属于索博列夫斯基和留巴爾斯基；他們終於找到了这种方法，采用这种方法时，除了鍛造炉、螺旋压力机和微量的煤炭外，別的什么也不需要，用这种方法一小时可以得到大块供做制品用的、完全純淨的成品鉑，其实外国人精炼的鉑往往殘留現在加工鉑时常用的砷。”謝格洛夫在詳細叙述了这种方法后补充說：“許多人可能說：这种方法太簡單了，但是我再重复說一次：欧洲著名的化学家七十年来寻求这种簡單的方法都沒有成功。”^①

用压制和燒結法制取鉑的类似方法是沃尔納斯頓(英国)在1829年，也就是在索博列夫斯基发表这种方法三年之后发表的。

在利用氫氧焰熔炼鉑以前，用粉末冶金法来制取鉑在俄国花了18年的时间，而在国外——却花了30年。在利用氫氧

① 物理、化学、自然历史和工艺的发明索引，1827，卷4。

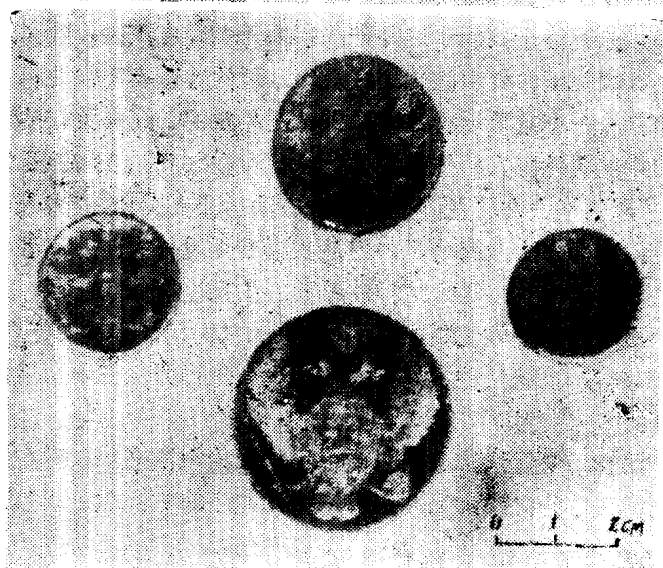
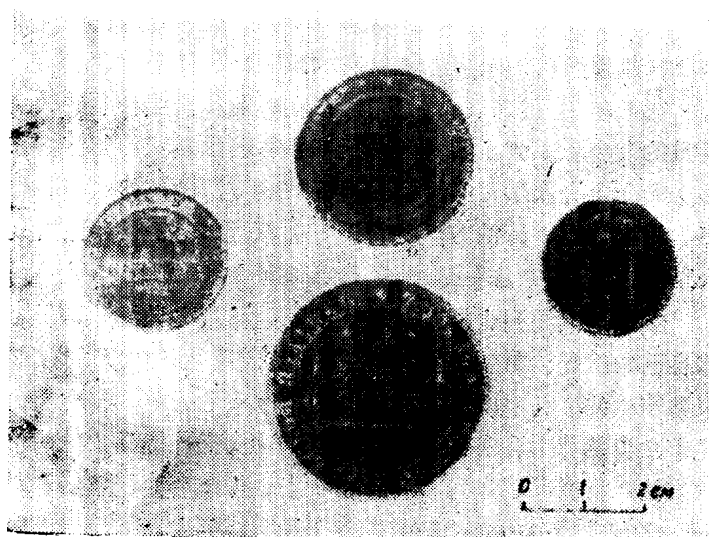


图3 用索博列夫斯基法制成的第一批俄国铂粉钱币

熔煉鉛之後粉末冶金法就被人們忘記了，這種情況一直繼續到19世紀末。在19世紀末到20世紀初，研究製造電燈泡用的白熱金屬絲（在這之前使用不經濟的碳絲燈泡）的方法成了粉末冶金工業發展的动力。用普通方法製造鎢絲是不可能的，因為鎢在 3400° 的高溫下才熔化。可鍛鎢最初用糊膏擠絲制成，即將與某種膠結物質（例如，糊精）混合的鎢從細孔中擠出來。以後想出了用金屬鎢粉製造白熱絲的方法，也就是在近50年來所採用的方法。這種方法是：將鎢粉壓成棒，然後將鎢棒加熱到高溫（燒結），鍛制並在熱狀態下拉成絲。從發現這種工藝時起，粉末冶金法開始得到迅速的發展。

幾乎在這同時，直流發電機和電動機用的金屬陶瓷銅石墨電刷也得到了應用。在20世紀20年代，曾擬制了製造金屬陶瓷接觸材料（鎢—銅、鎢—銀等）的方法；這時還出現了鐵粉制的磁鐵心。

值得指出的是：電燈泡工業是現代金屬陶瓷硬合金的搖籃。為了實現固態鎢絲的拉拔，需要超優質材料做的拉模；在當時，只有很貴重的金剛石才是這種材料。因而企圖製造人造硬質材料，特別是極硬的金屬碳化物來代替這種材料。早在20世紀初就已經用鑄造的碳化鎢代替金剛石作了首次試驗。鑄制碳化物的性質不均勻（粗而脆的結構，析出石墨等）迫使採取在比熔點低得多的溫度下燒結細的碳化物粉末。燒結出來的純碳化鎢的機械強度不夠高，因此開始往碳化鎢內加入少量鈷作為粘滯的滲碳材料。結果，碳化鎢的硬度才得以與粘滯鈷的金屬性能結合起來。就這樣為現代硬質合金的工業生產奠定了基礎。

1909年，關於應用多孔金屬陶瓷製品作為過濾器和軸承的問題已經提出來了。但是，20年以後才在工業中開始採用

多孔軸承。

粉末冶金发展史的主要年代日期列于表 1 中。

表 1 粉末冶金发展史年代日期

金 属 陶 瓷 材 料 和 制 品	出現的年月日
用索博列夫斯基法制取的燒結鉛	1826, 5月24日
难熔金属——鎢和钼	1900
銅石墨电刷	1900
难熔的碳化物	1910
接触材料	1917
磁鉄心	1919
金属陶瓷硬质合金	1922
多孔軸承(青銅的)	1924
磁性材料, 电阻合金, 多孔鉄质軸承	1935
机器和机械的零件	1936
多孔鉄	1936
耐热材料	1942
合金鋼制品	1944
由粉末軋制的金属陶瓷材料	1948

苏联的工程师和科学家对粉末冶金的发展作出了巨大贡献。在中央机械制造与工艺科学研究所曾研究了一种“沃依奇特”鉄石墨減磨材料。用这种材料制成的軸承的某些性能大大超过了錫青銅。1935年, 巴利申、波洛克和奥尔霍夫拟定了制造代替鉛的多孔鉄的方法。費多尔欽柯、格拉宾諾、菲里莫諾維、弗兰泽維奇、拉多梅謝里斯基、西拉耶維进行了有关鉄粉的极有益的工作。別普涅夫、加尔津、雷巴里欽柯关于摩擦材料的研究工作也是值得注意的。

烏曼斯基、麦也尔索、李斯金、薩姆索諾維、日里佐維、安得留申、波洛克、加夫里洛娃等进行的研究工作对发