

— 高等学校教学用书

粉末冶金学普通教程

鲍培克、奥尔霍夫著



中国工业出版社

76.13
813
C3

高等学校教学用书



粉末冶金学普通教程

韩凤麟 译

王基厚 校

244119

中国工业出版社



本书是根据苏联冶金出版社 (Металлургиздат) 1948年出版
鲍洛克 (В.А.Борок) 和奥尔霍夫 (И.И.Ольхов) 著的“粉末
冶金学普通教程” [Порошковая металлургия (общий курс)]
翻译的。原书经苏联高等教育部推荐为高等工业学校教材。译本
可作为我国高等工业学校教材和工程技术人员参考书。

书中阐述了粉末冶金——粉末的制取、混合、筛分、压制及
烧结等工序的原理，技术检验，制品的性能与应用，以及粉末冶
金理论研究方面的主要情况。

В.А.Борок И.И.Ольхов
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ
(ОБЩИЙ КУРС)
Металлургиздат
1948 г.

粉末冶金学普通教程
鲍洛克、奥尔霍夫著
韩凤麟译

(供机械工业出版社出版)

中国工业出版社出版 (北京东黄城根17号)
(北京市书刊出版事业管理局出字第113号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷
新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

开本 850 × 1168¹/₃₂ 印张 4¹/₁₆ · 字数 96,000
1955年11月北京第一版

1961年10月北京新版 1961年10月北京第一次印刷

印数 0001—1,543 · 定价 (10—6) 0.60元

统一书号: 15165 619 (冶金—178)

原 序

近幾十年來，粉末冶金作為製造特殊性能製品的方法來說，具有着非常重要的意義。粉末冶金能够成功地解決在普通和特種機器製造中的許多最重要的問題；在許多情況下，當生產先用鑄造，而後機械加工的方法製造成品時，若採用粉末冶金法來製造則更為經濟。

粉末冶金工藝得以迅速發展和掌握的保證條件之一，就是培養[粉末冶金的]專業的技術人員。同時，使機器製造師，設計師，機械師和其他專業人員熟悉新方法的技術與經濟的可能性和優點，也是很重要的；因為他們直接關係着運用粉末製品的成效、範圍與速度。因此，在很多高等工業學校中，增添了粉末冶金學普通教程，這樣一來，適當教材的出版就成為必要了。巴利新(М.Ю.Бальшин)的[金屬陶製學](1938年)與達仲斯(В.Д.Джонс)的[粉末冶金原理](1940年)已經不合時代的要求，而拉可夫斯基(В.С.Раковский)的[金屬陶製的硬質合金](1945年)，沙魯平(Н.М.Зарубин)與科泊契克(А.Н.Копчик)的[難熔金屬的生產](1941年)，只僅僅闡明了粉末冶金學中的某些問題。

本書可作為大學生學習粉末冶金學普通教程的課本。同時作者也力求滿足工業企業中廣大工程——技術界，對新冶金方法的興趣，因此，對金屬粉末製品的性能與特性，新方法的發展，優點和前途比工藝方面寫的較為詳細。

本教程主要取材於，作者們在1946~47與1947~48學年在莫斯科業餘機械製造學院講授的粉末冶金學教程，以及1947~48年在莫斯科與其他城市對許多企業的工程——技術人員的演講。

在壓製和燒結過程中，由於金屬粉末聚合體的塑性變形，尤其是強化，因之形成了堅固的金屬體，這種現象到現在為止還沒有適

當的解釋——全面的與有實驗根據的。如同教學實踐所指出的，對於粉末聚合體的強化現象，若沒有十分詳細與一定程度概括的解釋，學生是難於接受的，因為在一般人的想像中，認為金屬粉末製品，必然是不堅固的，脆弱的，甚至受到機械力時就要粉碎為粉末。甚至，用製品的試樣來證明，也難以打破這種觀念；因此，作者們特將這些問題分為專門的一章（第三章）。壓製與燒結時的一系列現象的解釋，及與解釋有關的專門實驗，皆為作者們在中央黑色金屬冶金科學研究院（ЦНИИЧЕРМЕТ）粉末冶金試驗室中完成的。由於本書的篇幅，與第三章附加意義的限制，使作者們不能把自己在這方面所有的工作，給以充分而詳細的敘述。

作者們對於黑色金屬與有色金屬製的製品，材料和粉末的製造工藝，性能與特性給與了充分的注意。但對稀有金屬，難熔金屬與硬質合金的工藝與性能只簡略的予以闡明，因為這些金屬的生產規模小，企業的數量有限，若對它們作詳盡的敘述，將使非粉末冶金的專業人員不感興趣。

本書利用了蘇聯與國外文獻中發表過的材料，以及作者們從事於工業及教學的經驗。圖 13, 14, 15, 18, 19 取自作者們自己的著作。所有其餘圖表皆取自其他各種文獻。

作者們對問題未能詳盡無遺的，充分的予以說明，同時，本書初版又是作為教本，書中的錯誤與缺點在所難免，如蒙指正，不勝感激。

技術科學博士，克爾遜（Г.А. Меерсон）教授在審查原稿時曾給予寶貴的指示，特此致謝。

作者

目 次

原序	5
第一章 概論	7
1 粉末冶金學的對象	7
2 粉末冶金學的發展史	8
第二章 粉狀金屬與合金的製取	11
3 金屬粉末及其性能與特性	11
4 金屬粉末的生產	25
第三章 金屬粉末在壓製和熱處理時的物理-化學過程	42
5 金屬粉末壓製時的強化	42
6 經壓製的金屬粉末的熱處理過程	52
第四章 金屬粉末製的材料與製品的生產	57
7 粉末的壓製準備	57
8 金屬粉末的壓製	59
9 壓製的半製品的燒結(熱處理)	69
10 熱壓製	78
11 燒結半製品的特殊加工	80
12 成品的檢驗	83
第五章 金屬粉末製的製品與材料及其性能与应用	87
13 減磨材料	87
14 摩擦材料	98
15 主砲彈箍	100
16 過濾器	100
17 難熔金屬	102
18 硬質合金	103
19 重金屬	105
20 高度多孔質材料	105
21 磁性材料	106
22 電工材料	107
23 機械零件	109

24 粉狀金屬的直接應用	115
25 發展前途	118
參考文獻	124

76.13
813
C3

高等学校教学用书



粉末冶金学普通教程

韩凤麟 译

王基厚 校

244119

中国工业出版社



本书是根据苏联冶金出版社 (Металлургиздат) 1948年出版
鲍洛克 (В.А.Борок) 和奥尔霍夫 (И.И.Ольхов) 著的“粉末
冶金学普通教程” [Порошковая металлургия (общий курс)]
翻译的。原书经苏联高等教育部推荐为高等工业学校教材。译本
可作为我国高等工业学校教材和工程技术人员参考书。

书中阐述了粉末冶金——粉末的制取、混合、筛分、压制及
烧结等工序的原理，技术检验，制品的性能与应用，以及粉末冶
金理论研究方面的主要情况。

В.А.Борок И.И.Ольхов
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ
(ОБЩИЙ КУРС)
Металлургиздат
1948 г.

粉末冶金学普通教程
鲍洛克、奥尔霍夫著
韩凤麟译

(供机械工业出版社出版)

中国工业出版社出版 (北京东黄城根17号)
(北京市书刊出版事业管理局出字第113号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷
新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

开本 850 × 1168¹/₃₂ 印张 4¹/₁₆ · 字数 96,000
1955年11月北京第一版

1961年10月北京新版 1961年10月北京第一次印刷

印数 0001—1,543 · 定价 (10—6) 0.60元

统一书号: 15165 619 (冶金—178)

目 次

原序	5
第一章 概論	7
1 粉末冶金學的對象	7
2 粉末冶金學的發展史	8
第二章 粉狀金屬與合金的製取	11
3 金屬粉末及其性能與特性	11
4 金屬粉末的生產	25
第三章 金屬粉末在壓製和熱處理時的物理-化學過程	42
5 金屬粉末壓製時的強化	42
6 經壓製的金屬粉末的熱處理過程	52
第四章 金屬粉末製的材料與製品的生產	57
7 粉末的壓製準備	57
8 金屬粉末的壓製	59
9 壓製的半製品的燒結(熱處理)	69
10 熱壓製	78
11 燒結半製品的特殊加工	80
12 成品的檢驗	83
第五章 金屬粉末製的製品與材料及其性能与应用	87
13 減磨材料	87
14 摩擦材料	98
15 主砲彈箍	100
16 過濾器	100
17 難熔金屬	102
18 硬質合金	103
19 重金屬	105
20 高度多孔質材料	105
21 磁性材料	106
22 電工材料	107
23 機械零件	109

24 粉狀金屬的直接應用	115
25 發展前途	118
參考文獻	124

原 序

近幾十年來，粉末冶金作為製造特殊性能製品的方法來說，具有着非常重要的意義。粉末冶金能够成功地解決在普通和特種機器製造中的許多最重要的問題；在許多情況下，當生產先用鑄造，而後機械加工的方法製造成品時，若採用粉末冶金法來製造則更為經濟。

粉末冶金工藝得以迅速發展和掌握的保證條件之一，就是培養粉末冶金的專業的技術人員。同時，使機器製造師，設計師，機械師和其他專業人員熟悉新方法的技術與經濟的可能性和優點，也是很重要的；因為他們直接關係着運用粉末製品的成效、範圍與速度。因此，在很多高等工業學校中，增添了粉末冶金學普通教程，這樣一來，適當教材的出版就成為必要了。巴利新(М.Ю.Бальшин)的「金屬陶製學」(1938年)與達仲斯(В.Д.Джонс)的「粉末冶金原理」(1940年)已經不合時代的要求，而拉可夫斯基(В.С.Раковский)的「金屬陶製的硬質合金」(1945年)，沙魯平(Н.М.Зарубин)與科泊契克(А.Н.Копчик)的「難熔金屬的生產」(1941年)，只僅僅闡明了粉末冶金學中的某些問題。

本書可作為大學生學習粉末冶金學普通教程的課本。同時作者也力求滿足工業企業中廣大工程——技術界，對新冶金方法的興趣，因此，對金屬粉末製品的性能與特性，新方法的發展，優點和前途比工藝方面寫的較為詳細。

本教程主要取材於，作者們在1946~47與1947~48學年在莫斯科業餘機械製造學院講授的粉末冶金學教程，以及1947~48年在莫斯科與其他城市對許多企業的工程——技術人員的演講。

在壓製和燒結過程中，由於金屬粉末聚合體的塑性變形，尤其是強化，因之形成了堅固的金屬體，這種現象到現在為止還沒有適

當的解釋——全面的與有實驗根據的。如同教學實踐所指出的，對於粉末聚合體的強化現象，若沒有十分詳細與一定程度概括的解釋，學生是難於接受的，因為在一般人的想像中，認為金屬粉末製品，必然是不堅固的，脆弱的，甚至受到機械力時就要粉碎為粉末。甚至，用製品的試樣來證明，也難以打破這種觀念；因此，作者們特將這些問題分為專門的一章（第三章）。壓製與燒結時的一系列現象的解釋，及與解釋有關的專門實驗，皆為作者們在中央黑色金屬冶金科學研究院（ЦНИИЧЕРМЕТ）粉末冶金試驗室中完成的。由於本書的篇幅，與第三章附加意義的限制，使作者們不能把自己在這方面所有的工作，給以充分而詳細的敘述。

作者們對於黑色金屬與有色金屬製的製品，材料和粉末的製造工藝，性能與特性給與了充分的注意。但對稀有金屬，難熔金屬與硬質合金的工藝與性能只簡略的予以闡明，因為這些金屬的生產規模小，企業的數量有限，若對它們作詳盡的敘述，將使非粉末冶金的專業人員不感興趣。

本書利用了蘇聯與國外文獻中發表過的材料，以及作者們從事於工業及教學的經驗。圖 13, 14, 15, 18, 19 取自作者們自己的著作。所有其餘圖表皆取自其他各種文獻。

作者們對問題未能詳盡無遺的，充分的予以說明，同時，本書初版又是作為教本，書中的錯誤與缺點在所難免，如蒙指正，不勝感激。

技術科學博士，克爾遜（Г.А. Мерсон）教授在審查原稿時曾給予寶貴的指示，特此致謝。

作者

第一章 概 論

1 粉末冶金學的對象

不用熔煉和鑄造，而用金屬粉末製造零件的方法，叫做粉末冶金[●]。這個方法主要的特點在於用壓製金屬粉末和熱處理的方法，來獲得材料和零件，熱處理的溫度較所用金屬的熔點為低。當用多種粉末的混合物時，則所用的溫度較其中最難熔成分的熔點為低。

最近幾十年來，粉末冶金已脫離了實驗階段。在 20 世紀初，粉末冶金法已被採用作為生產難熔金屬的唯一方法，粉末冶金顯著地擴大了現代技術的能力，並於生產規模內掌握了各種類型零件的製造，這些零件因為具有一些特殊性能而不能用其他已知的方法來製取。粉末冶金作為一種方法，其價值決定於一系列的特性和優點。茲說明其主要者。

當以燒結代替熔化時，除了降低金屬和合金熱處理的溫度之外，粉末冶金法可以製得：

1) 所謂假合金，這些假合金是由彼此不相熔合，並於許多情況下，比重和熔點有着很大差別的金屬所組成；

2) 含有均勻分佈的非金屬成分（如石墨，二氧化矽等）的金屬與合金；

3) 孔隙度和孔隙的大小可準確控制的多孔質物質，這些孔隙必要時，可充填以油或其他填料；

4) 各種具有高級化學純度和任何指定成分特別精確的金屬與合金，可不受熔化和鑄造條件的限制；

● 在文獻中遇到的名詞「人造的金屬體」和「金屬陶製術」意義表示的不完全，因為第一個僅說到，金屬體是人造的（但沒有說明過程的本質），而第二個僅僅說明其方法與製陶方法相似。

- 5) 含有均勻的微粒結構的金屬和合金;
- 6) 不用機械加工或稍加精修即可的形狀複雜和尺寸精確的製品。

同時, 粉末冶金的方法也受到許多限制, 如同:

- 1) 原始粉末的成本高, 因之就必須將產品的加工費用竭力地縮減。
 - 2) 在壓製時, 所需的單位壓力很高, 這樣就使得製品的尺寸受到限制。
 - 3) 粉末的流動性低, 使得難以壓製複雜形狀的製品。
 - 4) 壓模^⑥的成本高, 故此法只有在大量生產的條件下才有利。
 - 5) 在熱處理操作時, 要應用能控制的具有保護性的還原氣氛。
- 在判定粉末冶金的方法對於某種產品或材料的生產是否適合時, 在每一個個別情況下解決問題時, 都應當考慮到上面所指出的優點與限制。

2 粉末冶金學的發展史

粉末冶金學是最早的冶金方法之一; 這些作業, 如同粉末的壓製和燒結, 還原礦石製取海綿鐵, 粉末混合物的混合和隨後的加工, 在很久以前就被採用了。

粉末冶金學的原始資料指出, 粉末冶金學與古代社會的技術是有些關係的, 特別是埃及, 距今 3000 年以前, 即已使用與粉末冶金有關的方法, 製造鐵的器械。地中海區域的國家, 距今 1200 年以前, 已使用鐵和鋼的製品; 稍遲, 雖然在相當晚的年代中, 才發現產生足夠用來煉鐵的高溫度的方法, 但在 300 年以前, 在印度(德里)便已製成了重 6.5 噸的大鐵柱。古代鐵製品的製造程序如下: 用木炭還原鐵礦製取鐵粉或易碎的海綿鐵, 然後, 將鐵粉或海綿鐵在還原氣氛下進行熱鍛, 使分散的顆粒聯結起來; 再繼續鍛造即可得到

⑥ 術語「壓模」應理解為組成壓製粉末的工具的所有零件的總稱。作者認為術語「壓製工具」更為恰當, 但是, 術語「壓模」這個名詞在粉末冶金及與它有關的技術範圍內, 已成為既具有歷史性也是廣泛流行的術語了。

所需尺寸的製品。研究的結果證明，德里的鐵柱就是用這種方法製成的。

如金、銀、銅、青銅和鉛等金屬，在古代廣泛的用於製造裝飾品，貴重物品，以及陶器和油畫的顏料。金粉的精製法，在遠古時的埃及就已經知道了（公元前 3400~3000年）；在一本手稿（公元前 300年）中，就曾敘述了金屬粉末的製造方法。

金屬粉末在中世紀就已相當熟悉了，並且在各方面加以應用，連醫學方面也曾用到了它們。在第十世紀愛拉克利烏斯（Эраклиус）敘述了金粉的製取方法，而契涅費利烏斯（Теофилис）詳盡的記述了關於製取金、銀、銅、黃銅和錫粉的磨坊，以及產品加工的操作程序。嗣後（1580年）愛爾蓋爾（Эркер）又記述了用液體金屬傾入水流中的方法來獲得粒狀金屬的過程。

十八世紀和十九世紀初葉，在粉末冶金學上完成了一系列具有非常意義的工作。1724 年發表了關於確定兩塊經過壓製的鉛，它們的潔淨表面之間黏着強度的論文；1739 年記述了在固態線與液態線之間的臨界溫度下，用機械方法製取金屬粉末的方法。

1826 年，俄國聖-彼得堡貨幣製造工場，利用了薩波列夫斯基（П.Г.Соболевский）〔1, 2, 3〕所創議的方法，用鉑製作物品（貨幣，獎章等），這個方法完全基於粉末冶金學的原理：就是經過冷壓的鉑粉，燒結後再進行熱鍛。

1840 年，俾施麥（Бессмер）〔4〕創造了鱗狀金屬粉末的製造法，把纖薄的金屬刨片用軋輥壓成粉末，然後，於粉末中加以少量潤滑劑（橄欖油）進行研磨。俾施麥用這種方法製造了各種金屬與合金（銅、黃銅等）的粉末。

在 1750 至 1850 年間，即可製造二十種以上不同金屬的粉末。

1870 年有人用熱壓錫屑與石油焦的混合物，製作自動潤滑軸承的方法，得到了專利權；嗣後，又有人用鉛、錫與汞的混合物，和含有鉛及其他塑性金屬的石棉的混合物冷壓製作減磨合金的方法，也得到了專利權。

19 世紀末，發表了一系列在理論上及實用上有特殊意義的文獻。很多研究者研究了壓製壓力的影響，及在低於熔點的溫度下，由粉末混合物製得了合金。由羰基化合物製得的金屬，給予粉末冶金以高度純潔性和特殊性能的材料。最後，關於研究碳化鎢的著作，是在硬質合金粉末冶金發展上的第一個階段，它的特殊意義是衆所週知的〔5〕。

20 世紀粉末冶金發展的特點是研究工作的深入，粉末冶金學的方法迅速地滲透到工業的各個部門中去，以及一系列新的生產的發展。許多研究者的一系列理論工作〔6, 7, 8〕幫助了正確的理解工作過程，並具有着特殊的價值。

電燈燈絲的製造工作，推動了粉末冶金工業的發展。由鎢粉先經過壓製成型後，再經熱處理，以及最後施以機械加工（鍛、拉絲）這些步驟所組成的一套工作方法，在 1909 年首先提出了申請書。用這種方法製得的鎢絲，在 20 世紀初葉就已得到了廣泛地應用。

在 20 年代中，在工業上開始生產製造具有很高工業價值的硬質合金，以及其發展，引起了人們對粉末冶金更加重視，同時使研究工作得以廣泛開展。

用粉末冶金方法，製取多孔質自動潤滑軸承是粉末冶金第二個重要的發展階段；這種軸承在汽車，航空等工業上很快地獲得了應用。

在所引述的情況中，粉末冶金的方法已使用來獲致特殊性能的材料。

掌握如同磁石，電接點等類零件，以及各種細小的機器零件（齒輪、填料盒、導板等）的生產，是粉末冶金今後的發展階段，這些小零件，雖可用普通的冶金方法製取，但用粉末冶金法製造它們可更經濟些。

粉末冶金製品的種類，在逐年的擴大着。到目前為止，理論和實驗工作的規模，已經使得粉末冶金學，在一系列新的，有前途的冶金方法中鞏固了它的顯著地位。