

76.13
139
C2

粉末金属学

[苏] M. IO. 巴利新著

韩凤麟译



机械工业出版社

书中論述了粉末冶金理論基础——粉末金屬在变形和热处理时所发生的过程，以及与此有关的接触表面、结构及性能的变化。

本书供从事粉末冶金生产的工程技术人员閱讀，亦可供有关专业的科研人员，及高等冶金学校的高年級学生閱讀。

本书这次重印，删去第3~4頁。

М. Ю. Бальшин

ПОРОШКОВОЕ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Металлургиздат 1948

(根据苏联国立黑色与有色金属科技书籍出版社一九四八年版重印)

* * *

粉末金属学

[苏]М·Ю·巴利新著

韓凤麟译

(根据中国工业出版社重印)

*

机械工业出版社出版 (北京翠明庄路 141 号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ，印張 11，字数 241 千字
1965 年 8 月北京新一版，1965 年 8 月北京第一次印刷
印数 0,001—2,000，定价(科六) 1.40 元
(1962 年 12 月北京第一版)

*

統一书号: 15033·3550

目 录

第一章 緒論	9
§1 粉末金屬学, 它在其他科学部門中的地位及其任务	9
§2 接触表面	12
第二章 实体物体中的接触現象的研究	13
§3 致密金屬的表面的状态	13
§4 接触表面的研究	18
§5 原子間力。表面的粘聚力。外力与原子間力間的平衡	21
§6 接触表面的变形。接触面积与压力間的关系	25
§7 接触表面形成的机理。进一步說明	32
§8 接触表面的形成功	35
§9 卸荷时接触表面大小的变化。彈性后效	36
§10 接触强度	42
§11 滑动时接触表面的位移	47
第三章 金屬粉末	51
§12 关于金屬粉末結構单元的基本概念	51
§13 散粒体在本身重量作用下的状态	61
§14 多孔性物体容积特性的各种表示方法	68
第四章 金屬粉末的冷变形	71
§15 概論	71
§16 粉末物体中的最大应力与最小截面。接触表面与压力之間的关系	74
§17 压制所引起的粉末的結構与状态的改变	76
§18 压制压力	83

§ 19	粉末压制时《淨》压力与变形的关系	84
§ 20	实际的压制曲线图: 相对体积——单位压力对数	90
§ 21	压制的半对数曲线图的进一步研究	92
§ 22	压制曲线图与金属种类及压制温度的关系	101
§ 23	压制的半对数曲线图与容积特性和结构因素的关系	105
§ 24	混合物的压制	107
§ 25	氧化物的影响	109
§ 26	加工对粉末的压制性的影响	110
§ 27	压力与压缩程度的关系的其他公式	112
§ 28	压制功	115
§ 29	对数曲线图与直线性的偏差	119
§ 30	润滑物质对压制曲线图的影响	121
第五章	粉末物体中压力和密度的分布	123
§ 31	侧压力	123
§ 32	耗于对压模壁摩擦的压力损失和推出压力	127
§ 33	沿压件高度和截面的不均匀密度	130
§ 34	压件尺寸对压制曲线图的影响	133
§ 35	侧压力与未经压缩的粉末中的自然偏坡角的关系	136
第六章	压力消除后发生的现象。弹性后效	141
§ 36	弹性后效	141
§ 37	由于弹性后效而引起的压件导电率的改变	144
§ 38	空气的影响	147
第七章	压件的性能	151
§ 39	压件的导电率	151
§ 40	压件的孔隙度	154
§ 41	关于压件的力学性能的初步说明	157
§ 42	粉末压件的弹性模量	160
§ 43	由弹性模量与压制压力的比例关系得出的某些结果	163
§ 44	压件强度与压制压力及孔隙度的关系	165

§ 45	强度与粉末金属的性能及状态的关系	171
§ 46	杂质与加入剂对压件强度的影响	174
§ 47	容积特性与颗粒结构对压件强度的影响	175
§ 48	压制速度的影响	179
§ 49	废品成因	181
§ 50	压件的硬度	183
§ 51	已压制与未压制的粉末间有无质的差别	185
§ 52	从能量观点来看冷压制过程	187
第八章	燒結理論概論	190
§ 53	原子的活动性及其在加热时的变化	190
§ 54	对原子活动性的进一步說明	196
§ 55	原子活动性所引起的致密金属的变形	203
§ 56	致密金属中的回复与再結晶	204
§ 57	原子沿表面移动所引起的变形	210
§ 58	致密金属退火时的体积变化	211
§ 59	加热时在外力影响下的变形。金属的蠕变	212
第九章	燒結	222
§ 60	术语燒結的定义	222
§ 61	燒結时发生的过程。接触表面的增大与减小。颗粒的移近与远离	224
§ 62	接触表面的增大和由于原子活动性而产生的收缩	226
§ 63	残余应力的消除	230
§ 64	收缩的无序定位	232
§ 65	颗粒的个体变化	237
§ 66	热膨胀与压缩	238
§ 67	杂质的影响	239
§ 68	再結晶	245
第十章	燒結条件的影响	253
§ 69	燒結过程进程的判定	253

§ 70	燒結溫度對接觸、收縮及性能的影響	255
§ 71	溫度對結構變化的影響。結構變化與收縮間的聯系	263
§ 72	燒結時間的影響	271
§ 73	顆粒的大小、形狀及結構的影響	277
§ 74	顆粒的大小與形狀對燒結製品結構的影響	281
§ 75	压制密度的影響	283
§ 76	粉末預加工的影響	291
§ 77	金屬種類和相變的影響	292
§ 78	燒結時顆粒個體變化的研究	294
§ 79	燒結氣氛的影響	297
第十一章	多元系統的燒結	300
§ 80	概論	300
§ 81	組元不相溶解的情況	300
§ 82	組元相互溶解的系統。初步說明	304
§ 83	組元相互溶解的系統。進一步的說明	307
§ 84	多元系統的液相燒結	312
§ 85	無液相形成的激活燒結	319
第十二章	熱压制	322
§ 86	概述	322
第十三章	燒結粉末金屬的性能	326
§ 87	多孔性金屬的性能	326
§ 88	致密燒結金屬與合金的性能	333
第十四章	粉末金屬學的意義	337
§ 89	概論	337
§ 90	粉末金屬學和變形與強度的研究	337
§ 91	致密金屬晶粒間的接觸的變化	340
§ 92	鑄造金屬中的雜質	344
§ 93	粉末金屬學與熔融金屬結晶的問題	346
	參考文獻	350

76.13
139
C2

粉末金属学

[苏] M. H. 巴利新著

韩凤麟译



机械工业出版社

书中論述了粉末冶金理論基础——粉末金屬在变形和热处理时所发生的过程，以及与此有关的接触表面、结构及性能的变化。

本书供从事粉末冶金生产的工程技术人员閱讀，亦可供有关专业的科研人员，及高等冶金学校的高年級学生閱讀。

本书这次重印，删去第3~4頁。

М. Ю. Бальшин

ПОРОШКОВОЕ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Металлургиздат 1948

(根据苏联国立黑色与有色金属科技书籍出版社一九四八年版重印)

* * *

粉末金属学

[苏]М·Ю·巴利新著

韓凤麟译

(根据中国工业出版社重印)

*

机械工业出版社出版 (北京翠明庄路 141 号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ，印張 11，字数 241 千字
1965 年 8 月北京新一版，1965 年 8 月北京第一次印刷
印数 0,001—2,000，定价(科六) 1.40 元
(1962 年 12 月北京第一版)

*

統一书号: 15033·3550

目 录

第一章 緒論	9
§1 粉末金屬学, 它在其他科学部門中的地位及其任务	9
§2 接触表面	12
第二章 实体物体中的接触現象的研究	13
§3 致密金屬的表面的状态	13
§4 接触表面的研究	18
§5 原子間力。表面的粘聚力。外力与原子間力間的平衡	21
§6 接触表面的变形。接触面积与压力間的关系	25
§7 接触表面形成的机理。进一步說明	32
§8 接触表面的形成功	35
§9 卸荷时接触表面大小的变化。彈性后效	36
§10 接触强度	42
§11 滑动时接触表面的位移	47
第三章 金屬粉末	51
§12 关于金屬粉末結構单元的基本概念	51
§13 散粒体在本身重量作用下的状态	61
§14 多孔性物体容积特性的各种表示方法	68
第四章 金屬粉末的冷变形	71
§15 概論	71
§16 粉末物体中的最大应力与最小截面。接触表面与压力之間的关系	74
§17 压制所引起的粉末的結構与状态的改变	76
§18 压制压力	83

08130

§ 19	粉末压制时《淨》压力与变形的关系	84
§ 20	实际的压制曲线图: 相对体积——单位压力对数	90
§ 21	压制的半对数曲线图的进一步研究	92
§ 22	压制曲线图与金属种类及压制温度的关系	101
§ 23	压制的半对数曲线图与容积特性和结构因素的关系	105
§ 24	混合物的压制	107
§ 25	氧化物的影响	109
§ 26	加工对粉末的压制性的影响	110
§ 27	压力与压缩程度的关系的其他公式	112
§ 28	压制功	115
§ 29	对数曲线图与直线性的偏差	119
§ 30	润滑物质对压制曲线图的影响	121
第五章	粉末物体中压力和密度的分布	123
§ 31	侧压力	123
§ 32	耗于对压模壁摩擦的压力损失和推出压力	127
§ 33	沿压件高度和截面的不均匀密度	130
§ 34	压件尺寸对压制曲线图的影响	133
§ 35	侧压力与未经压缩的粉末中的自然偏坡角的关系	136
第六章	压力消除后发生的现象。弹性后效	141
§ 36	弹性后效	141
§ 37	由于弹性后效而引起的压件导电率的改变	144
§ 38	空气的影响	147
第七章	压件的性能	151
§ 39	压件的导电率	151
§ 40	压件的孔隙度	154
§ 41	关于压件的力学性能的初步说明	157
§ 42	粉末压件的弹性模量	160
§ 43	由弹性模量与压制压力的比例关系得出的某些结果	163
§ 44	压件强度与压制压力及孔隙度的关系	165

§ 45	强度与粉末金属的性能及状态的关系	171
§ 46	杂质与加入剂对压件强度的影响	174
§ 47	容积特性与颗粒结构对压件强度的影响	175
§ 48	压制速度的影响	179
§ 49	废品成因	181
§ 50	压件的硬度	183
§ 51	已压制与未压制的粉末间有无质的差别	185
§ 52	从能量观点来看冷压制过程	187
第八章	燒結理論概論	190
§ 53	原子的活动性及其在加热时的变化	190
§ 54	对原子活动性的进一步說明	196
§ 55	原子活动性所引起的致密金属的变形	203
§ 56	致密金属中的回复与再結晶	204
§ 57	原子沿表面移动所引起的变形	210
§ 58	致密金属退火时的体积变化	211
§ 59	加热时在外力影响下的变形。金属的蠕变	212
第九章	燒結	222
§ 60	术语燒結的定义	222
§ 61	燒結时发生的过程。接触表面的增大与减小。颗粒的移近与远离	224
§ 62	接触表面的增大和由于原子活动性而产生的收缩	226
§ 63	残余应力的消除	230
§ 64	收缩的无序定位	232
§ 65	颗粒的个体变化	237
§ 66	热膨胀与压缩	238
§ 67	杂质的影响	239
§ 68	再結晶	245
第十章	燒結条件的影响	253
§ 69	燒結过程进程的判定	253

§ 70	燒結溫度對接觸、收縮及性能的影響	255
§ 71	溫度對結構變化的影響。結構變化與收縮間的聯系	263
§ 72	燒結時間的影響	271
§ 73	顆粒的大小、形狀及結構的影響	277
§ 74	顆粒的大小與形狀對燒結製品結構的影響	281
§ 75	压制密度的影響	283
§ 76	粉末預加工的影響	291
§ 77	金屬種類和相變的影響	292
§ 78	燒結時顆粒個體變化的研究	294
§ 79	燒結氣氛的影響	297
第十一章	多元系統的燒結	300
§ 80	概論	300
§ 81	組元不相溶解的情況	300
§ 82	組元相互溶解的系統。初步說明	304
§ 83	組元相互溶解的系統。進一步的說明	307
§ 84	多元系統的液相燒結	312
§ 85	無液相形成的激活燒結	319
第十二章	熱压制	322
§ 86	概述	322
第十三章	燒結粉末金屬的性能	326
§ 87	多孔性金屬的性能	326
§ 88	緻密燒結金屬與合金的性能	333
第十四章	粉末金屬學的意義	337
§ 89	概論	337
§ 90	粉末金屬學和變形與強度的研究	337
§ 91	緻密金屬晶粒間的接觸的變化	340
§ 92	鑄造金屬中的雜質	346
§ 93	粉末金屬學與熔融金屬結晶的問題	346
	參考文獻	350

第一章 緒 論

§1 粉末金屬学，它在其他科学部門中的地位及其任务

通常，我們均按照物质的状态，而将其分为固态、液态和气态、結晶形态和无定形态、金屬状态和非金屬状态的物质。物质不仅可根据这些状态分类，而且也可根据其粉化度（подразделенность）与結合性（связность）分类。

根据粉化度，由大小从 0.1 微米至数毫米的顆粒所組成的散粒体与粉末，居于顆粒大于数毫米的实体物体和顆粒为 0.001 至 0.1 微米的胶体之間的中間位置。

单单由一个粉化度还不足以表明这类物体的特性——它們的結構单元的結合性还会不相同。例如，致密金屬通常可粉碎成与金屬粉末粒度相同的晶粒，但这些粉碎的晶粒的結合性不同。按照結合性，粉末与散粒物体也居于胶体和实体物体之間的中間位置。

胶体溶液中的胶体顆粒是彼此隔离的。而粉末顆粒和胶体不同，它們总是彼此接触的——直接或通过表面的杂质薄层接触。根据接触特性，散粒物体的顆粒也和致密金屬的晶粒有所不同。在未压制的粉末中，顆粒的实际接触表面只占顆粒总表面的极小部分（通常小于十万分之一）。而在致密金屬中，在大多数情况下，晶粒几乎是沿着整个表面相接触的。如我們以后将看到的，粉末顆粒的接触表面随所加之压力成比例地增大，而致密金屬晶粒的接触面积則几乎与压力无关。

在粉末顆粒接触表面的每一部分（或几乎每一部分）中

都聚集有极大的应力；而在未加工硬化的致密金屬中，晶粒相互接触的地方通常是沒有应力的。实体物体中孔隙度极小；而在粉末物体中，孔隙却占据着体积的极大部分。致密金屬晶粒間的結合力很强，破断往往不是沿晶粒的表面，而是通过晶粒的内部发生。粉末顆粒彼此間結合微弱^①，顆粒間的破裂几乎只能沿着它們的表面进行。致密金屬中，每一单个晶粒的变形，几乎絲毫不差地重复着其邻接晶粒的，或整群晶粒的形状的变化。例如，将致密金屬体压缩二分之一时，晶粒的相应截面也减小二分之一。散粒物体变形时，顆粒变形不是发生在其整个体积內，也不是沿其整个表面，而主要是在与相接触表面直接毗連的一小部分中。所以，粉末物体的顆粒在很大程度上是单独孤立的，其变形在一定程度上或多或少和与其直接接触的其他顆粒无关。顆粒的变形不是絲毫不差地重复着散粒物体的变形，在頗大程度上散粒物体的变形是由于孔隙大小的改变。例如，将散粒物体压缩到几分之一时，顆粒的相应截面可能根本不改变。

金屬粉末（在一定程度上也包括由其制成的粉末金屬）属于結构单元間不完全（部分）接触的一类物体^②。非金屬粉末、散粒体、土壤、大部分岩石、陶瓷和紡織材料

① 粉末顆粒間結合微弱是由于接触表面小，存在有表面杂质薄膜，以及在接触处聚集有相当大的应力。

② 在本书的《金屬粉末》这一术语中，也包括指具有粗大顆粒的散粒金屬材料（如象切屑、鑄屑等等）。

《粉末金屬》这一术语，我們表示的不是金屬粉末，而是由这些粉末用变形、热处理或这两个工序所制得的金屬——或多或少地粘結着的金屬。

与此相似，我們用《粉末材料》这术语来表示由非金屬粉末制成的結合体。

等^①也都属于这一类。

虽然，这些材料对于工程技术都非常重要，而且其中大部分使用年代已很悠久，但它们的理论研究却还没有达到应有的高度。

现在，将B. 奥斯特瓦里德的术语——《虚假量的世界》——用于颗粒间不完全接触类物体，比用于胶体的根据更充分得多。到现在为止，这类物体的研究（不同于胶体）尚未成为一独立的科学部门。

粉末金属学是普通金属学的一个特殊学科，同时，也是不完全接触体科学的一部分。

金属学的很多问题，例如，合金的结晶，金属变形时的应力分布等，都是用非金属材料来研究的。在研究粉末金属学的问题时，也必需注意非金属粉末材料的研究。

粉末金属学研究金属粉末和由其制成的粉末金属的结构和性能，以及由粉末制取金属时结构与性能的变化。粉末金属学是粉末冶金学（金属陶制学）——从事用粉末制取金属制品的技术学科^[注]——的理论基础。就科学观点来看，由粉末制取金属陶制品的工序，可归结为增大颗粒间的接触面。增大接触面可以用两个方法来达到：1）用外力使颗粒变形（压制，整形），2）高温下，由于原子活动性的增加而使金属原子往接触部分移动。在粉末冶金实践中，就是用这两种

① 颗粒间不完全（部分）接触体，按结构单元个体变形的特征也可称为个体粉化体，或按孔隙度的特征称为多孔性体或不致密体，或根据接触的可变性而称为可变接触体。

[注] 粉末冶金学——从事金属粉末及其制品制造的技术学科。此定义是苏联机械科学技术工程学会莫斯科分会于1950年拟定的，1951~1952年全苏航空材料研究所、中央重型机械科学研究院及其他单位讨论后推荐采用。——译者