

粉末冶金 手册

美 J. H. H. 豪斯纳 著
北京市粉末冶金研究所 译
冶金工业出版社

粉末冶金手册

〔美〕 H.H. 豪斯纳 著

北京市粉末冶金研究所 译

冶金工业出版社

粉末冶金手册
〔美〕H.H.豪斯纳 著
北京市粉末冶金研究所 译

冶金工业出版社出版
(北京市灯市口74号)
新华书店北京发行所发行
山西新华印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张15 字数397千字
1982年3月第一版 1982年3月第一次印刷
印数00,001~3,900册
统一书号: 15062·3694 定价: 1.90元

译者的话

本书作者H.H.豪斯纳教授是纽约综合技术研究所的顾问工程师，是国际粉末冶金学界知名人士之一。他所编著的书籍很多，而且大多是目前粉末冶金领域重要的科学技术文献。例如，他所编辑的《粉末冶金的新发展》(Modern Development in Powder Metallurgy)和《粉末冶金展望》(Perspectives in Powder Metallurgy)这两套论文集，就反映了不同年代粉末冶金科学技术的发展水平。

豪斯纳编著的《粉末冶金手册》是一本很有价值的书。其内容非常丰富，不仅阐明了粉末冶金的原理和工艺，而且介绍了各种粉末冶金材料和零件。手册采用了独具一格的图表形式，这样，既给人以清晰的概念，又为读者提供了大量有用的资料和数据。本书可供从事粉末冶金生产和科学研究的工作人员参考，也可作为高等院校粉末冶金专业的教学参考书。

为了确保所提供数据的可靠性，我们尽可能查对了书中援引的原始文献。对发现的问题作了更正和必要的说明。另外，由于本书图表是从各个原始文献中节录的，有的不免由于缺少上下文联系而使人不易看懂。对于这些图表，在可能的情况下，我们根据原始文献也作了简单的注释。

本书前言、序言、绪论、第一、二、三章由李祖德译，第四、五、六、十八章由李孔兴译，第七、八、九、十、十九章由孙学广译，第十一、十二章由周华明译，第十三、十四、二十、二十一章和附录由吴彬彬译，第十五、十六、十七章由王学英译。全书由李祖德校对。

由于译校者水平有限，译文中一定有不少错误或不确切之处，敬望读者批评指正。

再 版 前 言

本书第一版在三年内就售完了，这比预料的要快。从出版者那里，我得知如下的情况：在美国国内销售了总册数的72.4%，而27.6%外销于五大洲的二十一个国家。这个数字清楚地表明，全世界对粉末冶金都有着浓厚的兴趣。

作者与本书许多读者进行了讨论后，得到如下的印象：本书的资料是有用的，而且对于粉末冶金各个领域的制造厂家起着促进作用；本书对科学家特别是从事粉末冶金理论研究的固态学家是有价值的，他们需要接触粉末冶金实践的各个方面。有很多冶金学教师对于本书给予好评，因为本书中的大量实例便利了这一科目的教学。

使我非常满意的是，世界各国，包括苏联，对本书作了有益而详尽的评论，我愿趁此再版机会，对所有的评论者表示感谢。

H.H.豪斯纳 (Henry H. Hausner)

序 言

粉末冶金在发展初期是用于制造难熔材料和其它特殊材料，但超出这个范围已经有很长时间了。这种工艺方法已逐渐成为普通加工方法的强大竞争对象。现在，出于经济上的考虑，不仅是钢铁，而且各种各样的有色金属及其合金也越来越多地采用粉末冶金方法制造。在粉末冶金领域中，工程上的观点与科学上的观点彼此直接互相影响，而这种情况在其它工艺中是少见的。

今天，粉末冶金已经发展到如此广泛的领域，以至乍一看来，会以为单靠一个人把它描述完全是不可能的。但是，这个看法很快就被H.H.豪斯纳博士所编著的《粉末冶金手册》一书所打消。本书以各个分支和细目包罗了粉末冶金的整个领域，而篇幅并不太长且清晰易读。豪斯纳博士作到了简明扼要。他避免了不必要的文字叙述，而采取图表形式来解释基本关系和表示各种数据。这说明他是一位专家，他的经验使他能够抓住这个领域的全部要点。

我们深信本手册会取得巨大的成功。并将迅速成为所有冶金学家、科学家以及工艺实践家所必不可少的书籍。我们祝贺豪斯纳博士完成了这部优秀著作，它将使作者获得粉末冶金同行的尊敬与感激。

西德 马克斯·普朗克金属研究所特殊金属研究分所

所长 E.格布哈特(E.Gebhardt)博士,教授

马克斯·普朗克金属研究所特殊金属研究分所粉

末冶金实验室主任 G.佩佐夫(G.Petzow)博士

于 斯图加特市

绪 言

编辑本手册的最初目的，是为粉末冶金课程提供一本教学用书和作为现有教科书的补充材料。书中资料和数据包括了粉末冶金原理和工艺，它们都以图表形式表示。为了说明粉末冶金产品的性能与工艺参数有关，举出了几百个例子。本手册不仅对于教师和学生是有用的，而且对于从事研究和生产的粉末冶金学家，以及金属粉末制品的设计人员，也是有价值的。

本书共二十一章，第一章至第十一章为粉末特性、粉末冶金过程的原理和特点；第十二章至第二十一章为各种粉末冶金材料及其性能。附录为粉末统计、价格、成本、金属的物理和化学数据，以及粉末冶金术语。

第一章中用图表形式表示了粉末冶金过程的基本参数，试图以此概括粉末冶金原理。以定性图形介绍基本原理的方法有其优点，用这种方式作初步介绍是可行的。

第二章到第四章包括粉末生产、粉末特性、以及机械粉碎和混合的原理。同时，还列出了粉末生产的主要工业方法及每种方法的优缺点。为了说明粉末材料的特性，举出了许多例子。本章还列出了不同类型的研磨和混合设备，并介绍了混合程度的评定方法。

第五章介绍了粉末压制成形、单轴向压制及其它成形方法。第六章介绍了粉末压制成形时的一个重要问题即摩擦问题，还讨论了为减少摩擦而采用的各种润滑剂及其应用。

第七章介绍了烧结原理、烧结理论及烧结工艺等方面的问题。烧结炉、烧结气氛以及气氛的影响在第八章进行了讨论。

粉末冶金的一个突出的优点是可以由几种合金成分在固态形成合金。第九章列出了这方面的数据（包括扩散数据在内）。第十章介绍了热压（即压制成形和烧结相结合）及热压条件对粉末冶金零件性能的影响。粉末冶金零件的锻造是粉末冶金的最新发

展，第十一章提供了这方面的资料。

第十二章到第十九章分别介绍了各种粉末冶金材料或具有特殊性能的粉末冶金产品。

第十二章在本书中篇幅最长，其内容为铁的粉末冶金。共分六个问题：铁粉、铁的烧结、铁镍合金、铁铜合金、其它铁合金和钢、以及粉末冶金铁制品的各种热处理。虽然本章的图表尚不完全，但代表了粉末冶金生产中这个最重要部分的广泛而有价值的研究工作。铜、青铜、黄铜及其它铜合金的资料，列入第十三章，其中主要介绍了预合金粉末。

轻金属即铝、钛及铝钛合金的粉末冶金，代表了粉末冶金的最新发展，而且为未来的生产开辟了一个重要的方面。第十四章介绍了轻金属，并提出了有关轻金属粉末冶金的有价值的新见解。本章的资料还包括铍和镁。

在粉末冶金历史上，钨占有重要的地位。它是第一个由金属粉末制造的商品。第十五章包括了钨、钼和其它难熔金属及其合金的粉末冶金，数据以图表形式提供。粉末冶金发展初期，用这种方法制造出了钨的难熔化合物，例如碳化钨，结果革新了工具工业。

第十六章包括难熔化合物和硬质合金，以及此领域中的最新发展。在最近几年，难熔化合物主要应用于航天工业。

电触头材料在粉末冶金历史上也是一种较老的产品。第十七章介绍了粉末冶金电工材料。第十八章内容为多孔材料，用表格形式表示了粉末冶金过程中孔隙的变化及特殊过滤器材料。摩擦和减摩材料（轴承）在第十九章中进行了讨论。用颗粒或纤维增强的弥散强化材料是第二十章讨论的内容。第二十一章简略介绍了粉末冶金生产中的无损试验方法。

本手册用了大约900个图表，试图用图示形式介绍粉末冶金及其过程，以及某些重要的粉末冶金产品。本手册列出了大量的参考文献，这样便可以使读者根据原始出处获得进一步的情报。

H. H. 豪斯纳

目 录

译者的话

再版前言

序言

绪言

第 一 章	粉末冶金原理	(1)
第 二 章	粉末生产和粉末特性	(17)
第 三 章	粉末的机械粉碎	(56)
第 四 章	粉末的混合	(69)
第 五 章	金属粉末的成形	(83)
第 六 章	粉末压制成形中的摩擦与润滑	(125)
第 七 章	金属粉末的烧结	(148)
第 八 章	烧结炉和烧结气氛	(187)
第 九 章	烧结过程中合金的形成	(200)
第 十 章	金属粉末的热压	(208)
第 十 一 章	粉末冶金零件的锻造	(221)
第 十 二 章	铁和铁合金的粉末冶金	(230)
第 十 三 章	铜和铜合金的粉末冶金	(302)
第 十 四 章	轻金属的粉末冶金	(323)
第 十 五 章	难熔金属的粉末冶金	(353)
第 十 六 章	难熔金属化合物	(392)
第 十 七 章	电触头材料	(415)
第 十 八 章	孔隙与多孔材料	(427)
第 十 九 章	摩擦材料和减摩材料	(435)
第 二 十 章	弥散强化	(443)
第 二 十 一 章	试验	(452)
附 录		(455)

第一章 粉末冶金原理

本章用61幅原理图示出了粉末特性与粉末冶金工艺参数之间的某些重要的基本关系，以及这些参数对金属粉末压坯和烧结坯某些性能的影响。当然，这里所收集的图表是不完全的。作者通过这些图表来给学生介绍粉末冶金原理。之所以选择图表形式，是因为简单的曲线比文字容易记忆。

本章所列出的原理曲线只是表示了参数关系的趋势。这些关系所包含的道理，可由教员予以解释，并且应该根据实验工作补充些有准确数据的例子。

粉 末 粒 度

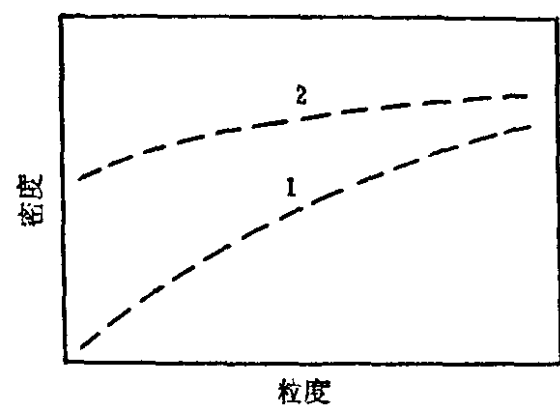


图1—1 粉末粒度对松散粉末密度的影响
1—松装密度；2--摇实密度

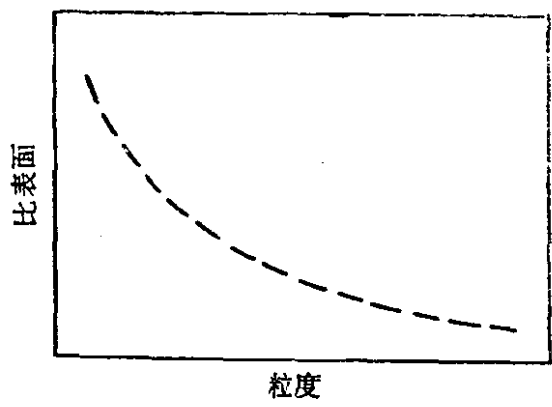


图1—2 粉末物质的比表面与粒度的关系

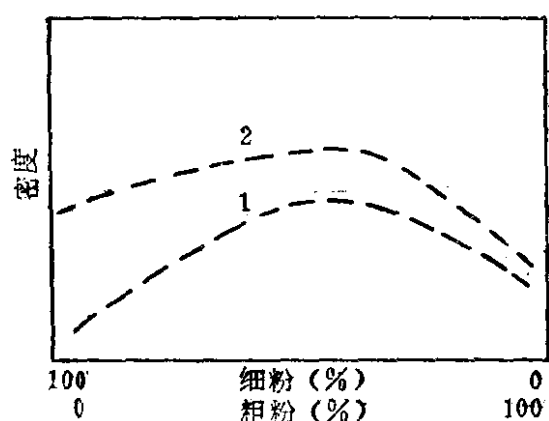


图1—3 粗粉与细粉混合对松散
粉末物质密度的影响

1—松装密度；2—摇实密度

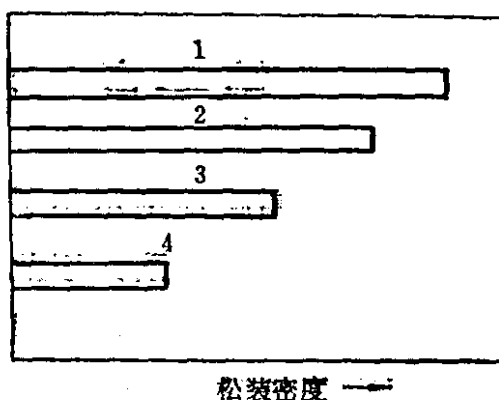


图1—4 颗粒形状对粉末松装密
度的影响

1—球形；2—圆形；3—不规则形状，
4—树枝状

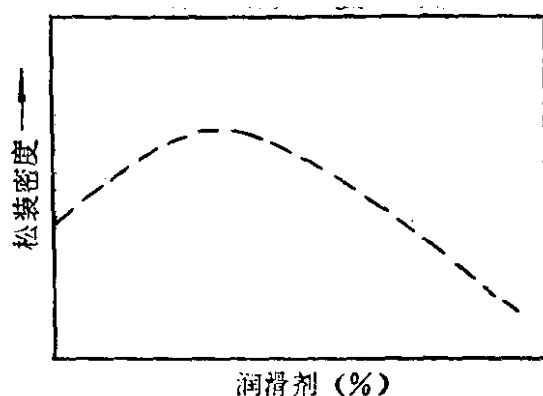


图1—5 润滑剂加入量对粉末松装密度的影响

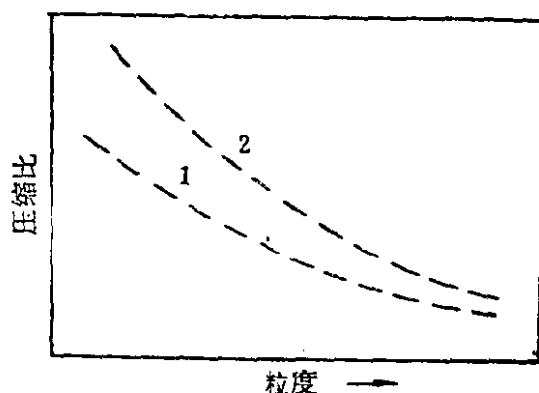


图1—6 粉末粒度和氧化对压缩比的影响

1—金属颗粒表面未氧化；2—颗粒表面发生氧化

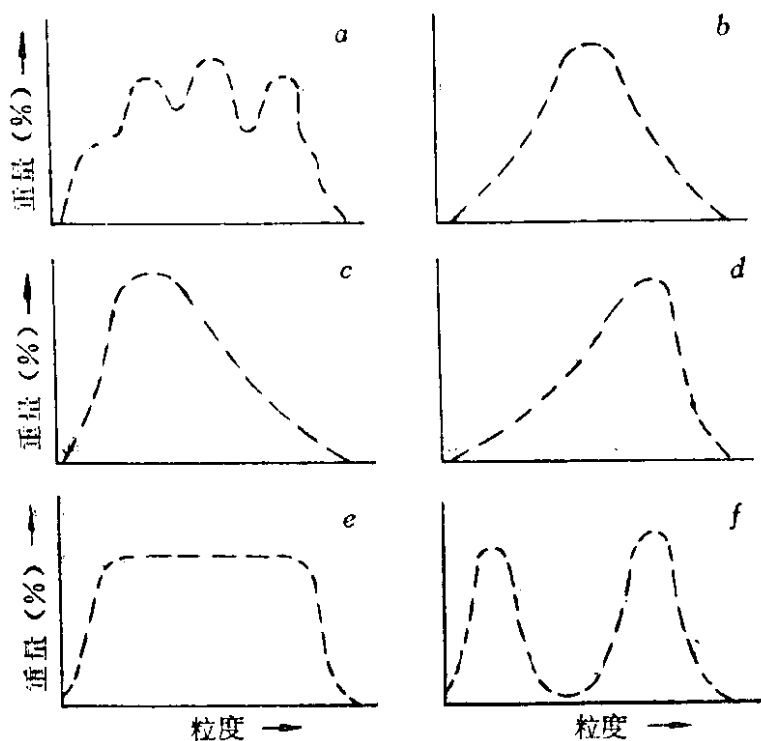


图1—7 粉末粒度分布的各种类型

粉末的流动性

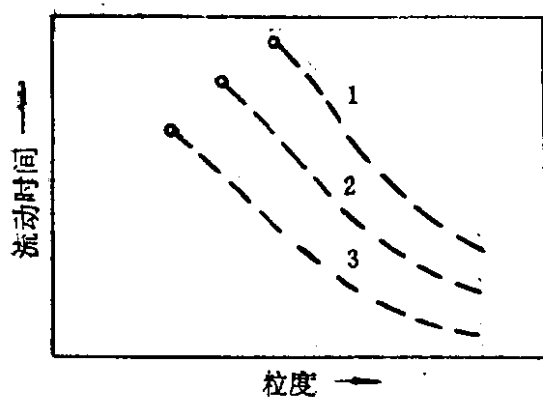


图1—8 粒度和粉末流动仪开口直径对粉末流动时间的影响

1—开口直径小，2—开口直径中等，
3—开口直径大

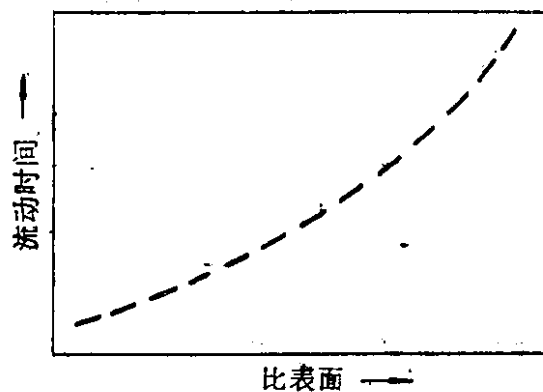


图1—9 粉末比表面对流动时间的影响

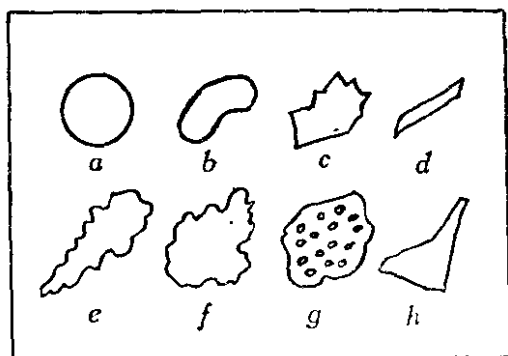


图1—10 金属粉末的各种形状

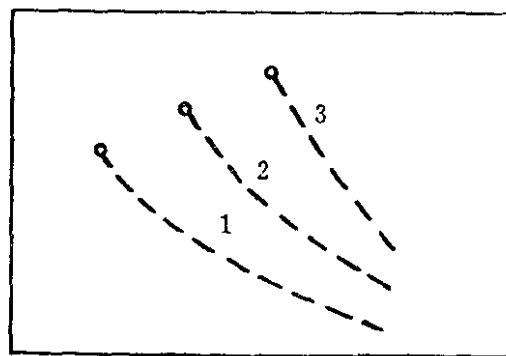


图1—11 粉末颗粒形状对流动时间的影响

a—球形；b—圆形；c—角状；d—针状；
e—树枝状；f—不规则形状；g—多孔状；
h—碎片状

1—球形；2—不规则形状；3—树枝状

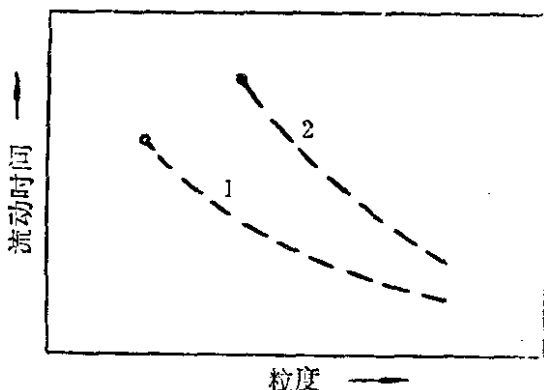


图1—12 粒度和氧化对金属粉末流动性的影响

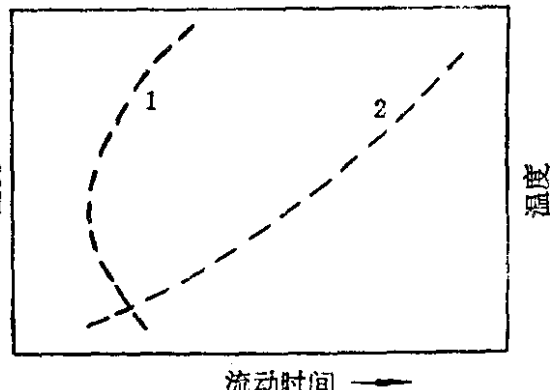


图1—13 湿度和温度对金属粉末流动时间的影响

1—颗粒表面发生氧化；2—金属颗粒表面未氧化

1—湿度；2—温度

粉末的混合

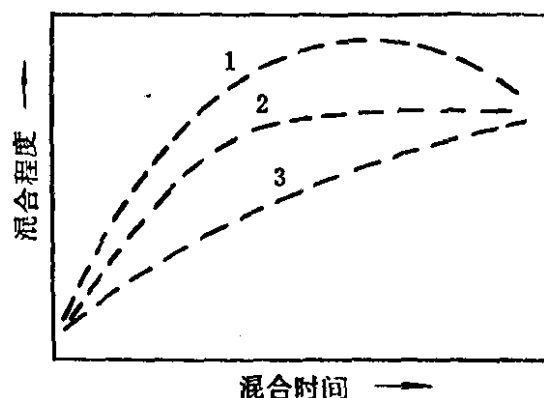


图1—14 混合时间对混合程度的影响
(1、2、3表示三种不同类型的混料机)

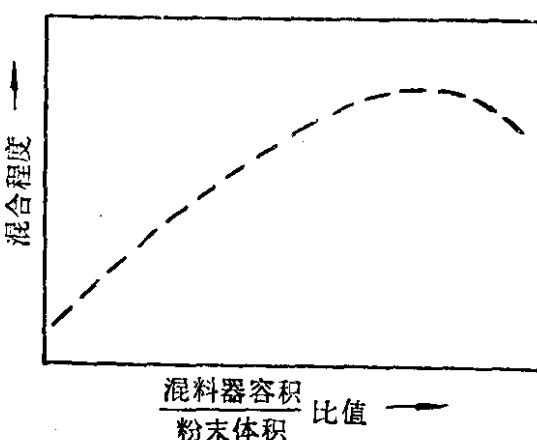


图1—15 混料器容积与粉末体积之比对粉末混合程度的影响

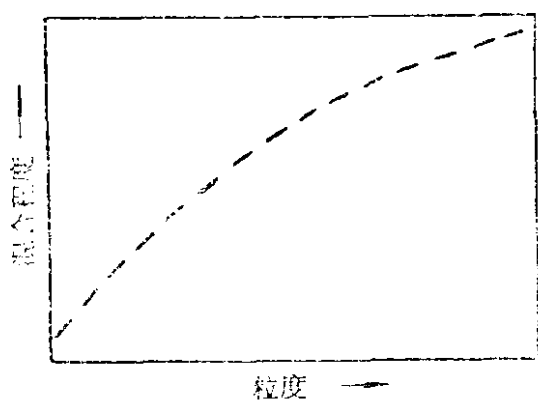


图1—16 粉末粒度对混合程度的影响

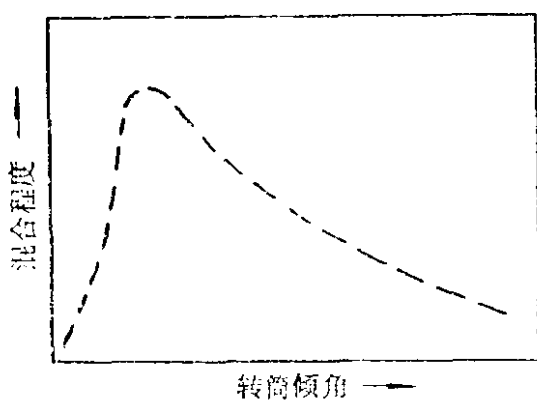


图1—17 圆筒形混料机倾角对混合程度的影响

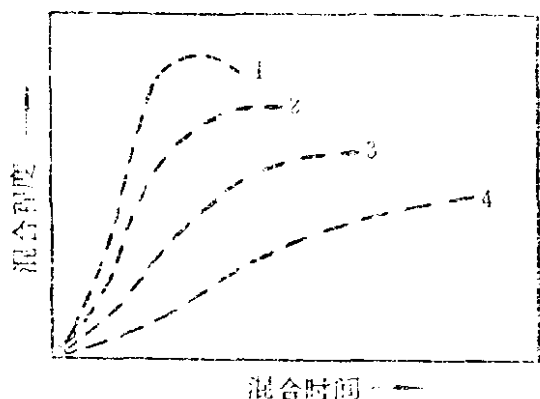


图1—18 混合时间和混料机转速对混合程度的影响

1—高转速；2—中等转速；3—中等转速；4—低转速

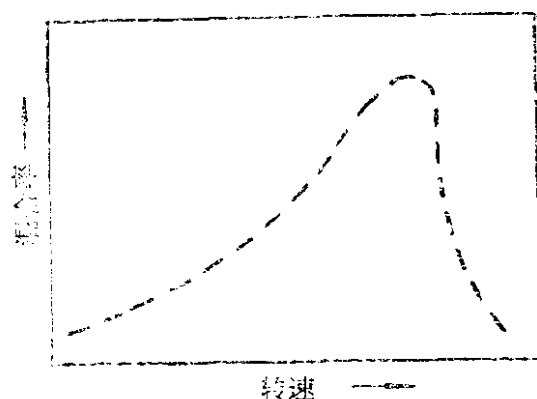


图1—19 混料机转速对混合程度的影响

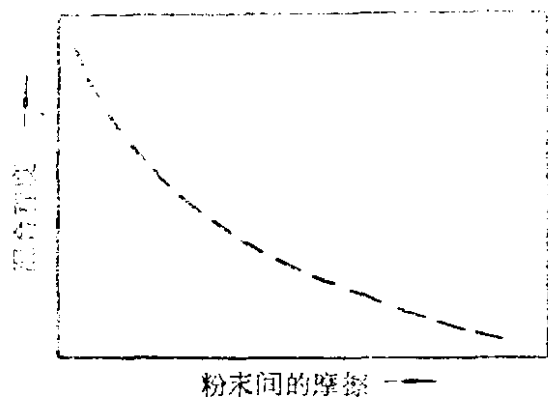


图1—20 粉末间的摩擦对混合程度的影响

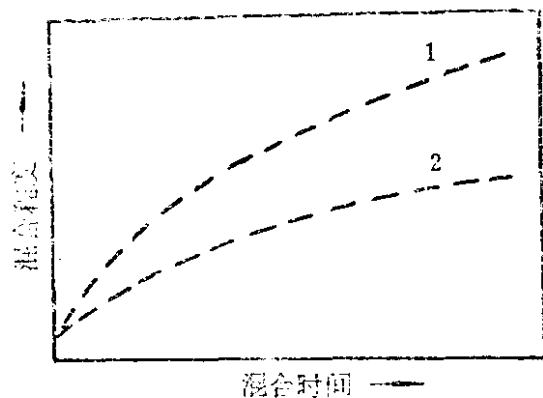


图1—21 金属粉末的氧化膜对混合程度的影响

1—氧化表面；2—清洁表面

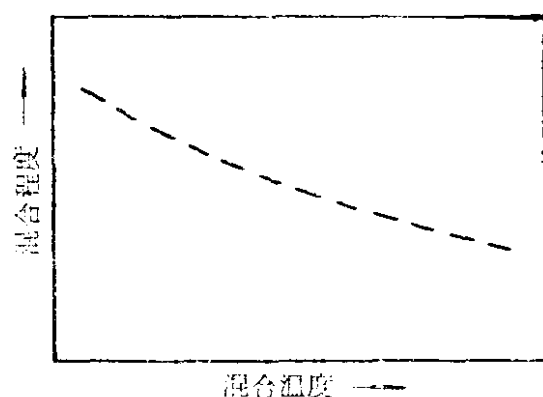


图1—22 混合温度对混合程度的影响

压制成形

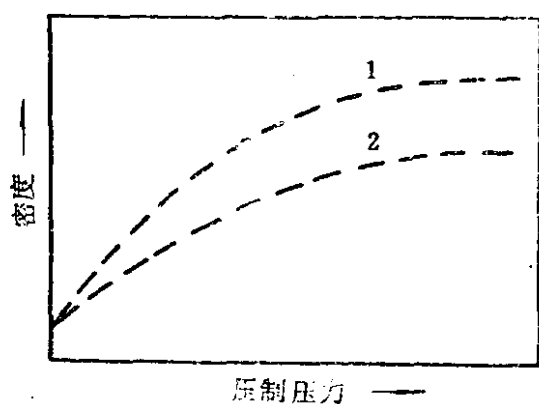


图1—23 压制压力对粉末压坯密度的影响

1—软粉末；2—硬粉末

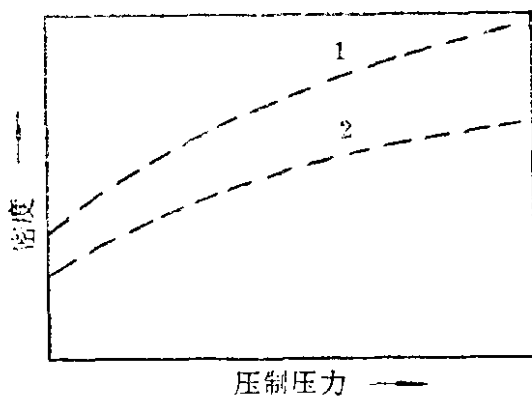


图1—24 压制压力对粉末压坯密度的影响

1—粗粉颗粒；2—细粉颗粒

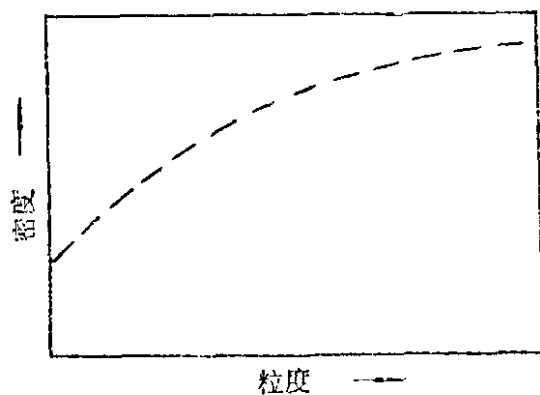


图1—25 粉末粒度对压坯密度的影响（压力一定）

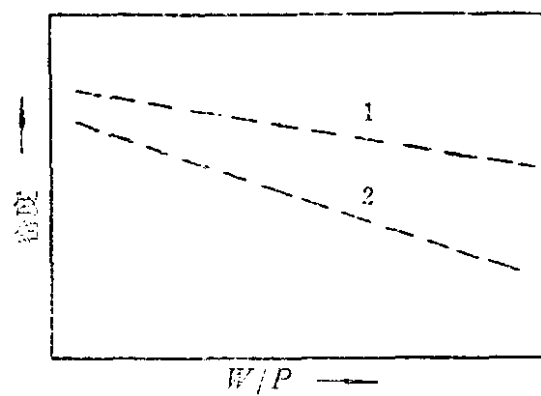


图1—26 模壁面积与受压面积之比 (W/P) 对粉末压坯密度的影响

1—有润滑剂；2—无润滑剂

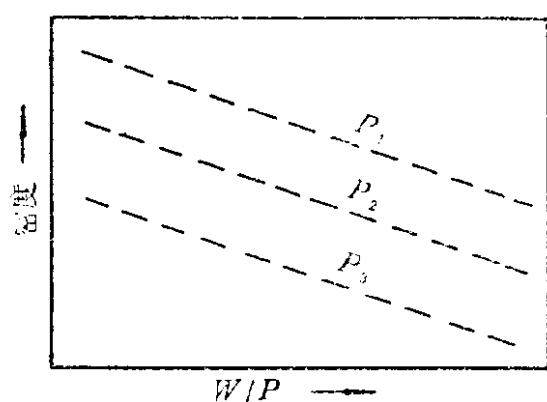


图1—27 模壁面积与受压面积之比 (W/P) 对粉末压坯密度的影响

压制压力 $P_1 > P_2 > P_3$

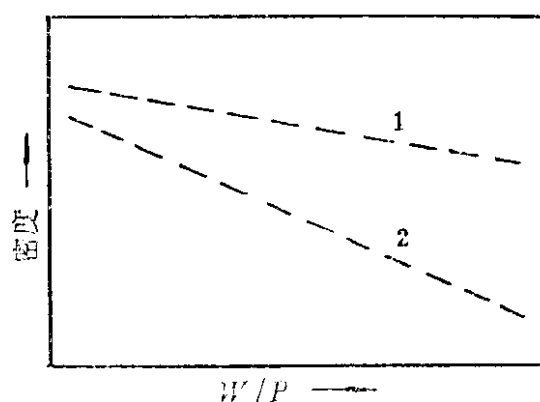


图1—28 模壁面积与受压面积之比对粉末压坯密度的影响

1—双向压制^①；2—单向压制^①

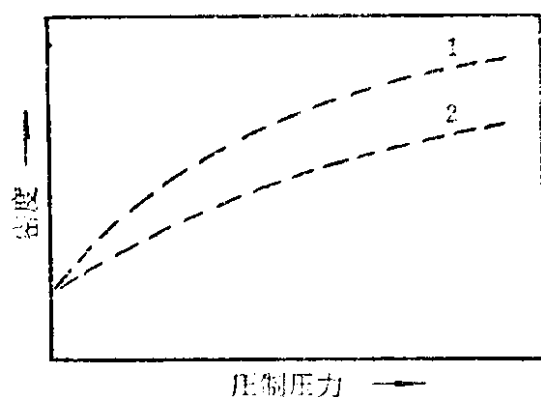


图1—29 压制方法对粉末压坯密度的影响

1—等静压制；2—单轴向模压^①

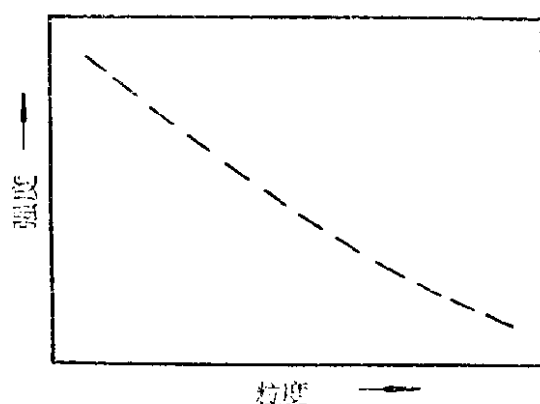


图1—30 粒度对粉末压坯强度的影响 (压力一定)

①单轴向压制(unidirectional pressing)指的是在三维空间中只在一个方向施加压力，一般模压属这种情况。双向压制(double action pressing)和单向压制(Single action pressing)是单轴向压制的两种情况，前者是指在加压过程中上、下模冲均对阴模有相对运动，而后者只有一个模冲对阴模有相对运动。——译者注

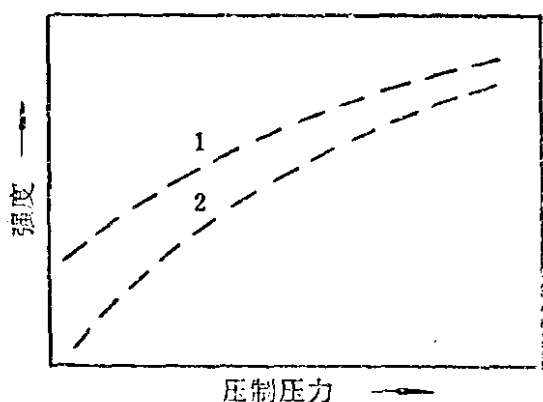


图1—31 压制压力对粉末压坯强度的影响

1—细粉；2—粗粉

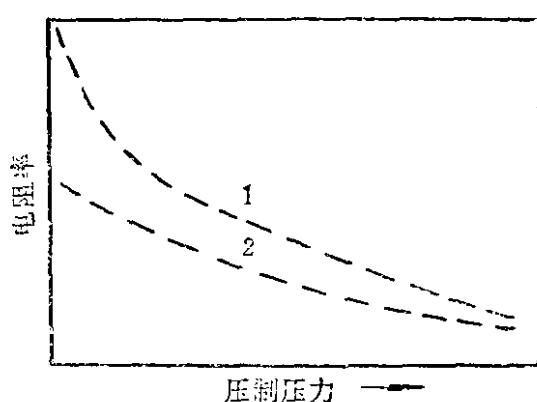


图1—32 压制压力对粉末压坯电阻率的影响

1—细粉；2—粗粉

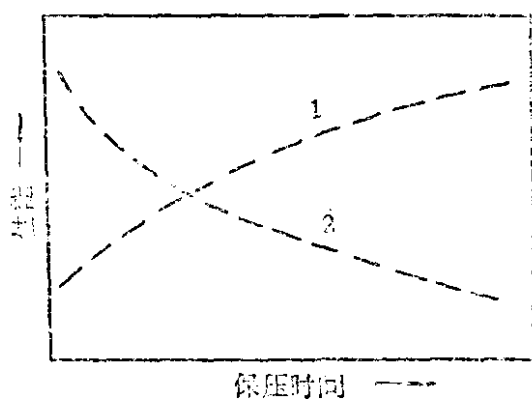


图1—33 保压时间对粉末压坯强度和电阻率的影响

1—强度；2—电阻率

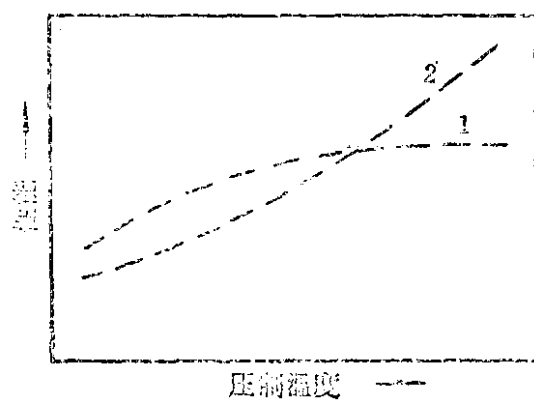


图1—34 压制温度对粉末压坯密度和强度的影响

1—密度；2—强度

润 滑

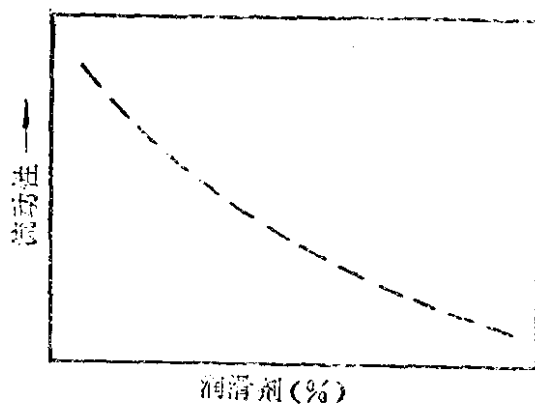


图1—35 粉末中润滑剂加量对粉末流动性的影响

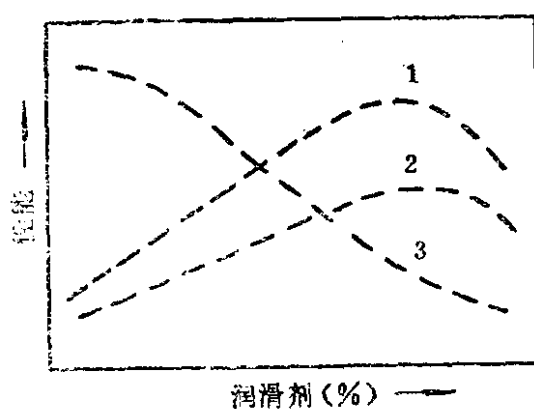


图1—36 润滑剂加量对压坯密度和强度的影响

1—密度；2—抗压强度；3—抗弯强度