

第 15 篇 粉 末 冶 金

tycho24

主编单位:

北京市粉末冶金研究所

上海材料研究所

上海粉末冶金厂

编写单位:

9 0 1 厂

中南矿冶学院

目 录

常用符号表

第1章 概 述

1 粉末冶金的特点	15-1
1.1 可制取多组元材料	15-1
1.2 可制取多孔材料	15-1
1.3 可制取硬质合金和难熔金属材料	15-2
1.4 是一种精密的少切削无切削加工方法	15-2
1.5 选用时需注意的问题	15-2
2 粉末冶金工艺	15-2
2.1 粉料制备	15-2
2.2 成型	15-3
2.3 烧结	15-5
2.4 后处理	15-5
3 粉末冶金材料分类	15-6

第2章 金属粉末

1 金属粉末概要	15-7
2 金属粉末的生产方法	15-8
2.1 生产方法的分类	15-8
2.2 生产方法的机理及特点	15-8
3 金属粉末的性能和用途	15-10
3.1 铁及铁合金粉	15-10
3.2 碳钢及合金钢粉	15-12
3.3 其他黑色金属及其合金粉末	15-13
3.4 铜及铜合金粉	15-13
3.5 铝及铝合金粉	15-14
3.6 镍及镍合金粉	15-14
3.7 其他非铁金属粉	15-15
3.8 钨粉	15-16
3.9 钼粉	15-16
3.10 钽粉和铌粉	15-17
3.11 其他难熔金属粉末	15-17
3.12 难熔金属化合物粉末	15-18
3.13 稀土金属、合金和稀土化合物粉末	15-18
3.14 贵金属及其合金、化合物粉末	15-19
4 金属粉末性能的测试	15-20

第3章 粉末冶金减摩材料

1 粉末冶金减摩材料概要	15-23
2 含油轴承的特点和性能	15-23
2.1 含油轴承的特点	15-23
2.2 自润滑机理	15-24
2.3 含油轴承的性能	15-24
2.4 含油轴承材料选择的参考依据	15-25
3 含油轴承的许用 pv 值	15-26
3.1 pv 值的涵义	15-26
3.2 含油轴承的许用 pv 值	15-26
3.3 许用 pv 值的影响因素	15-26
3.4 含油轴承应用实例	15-27
4 含油轴承的设计	15-27
4.1 结构形状	15-27
4.2 公称尺寸	15-29
4.3 精度与配合	15-29
4.4 推荐的含油轴承尺寸	15-30
4.5 补充浸油装置的结构举例	15-31
5 使用含油轴承的注意事项	15-31
6 粉末冶金铜铅轴瓦	15-32
6.1 特点	15-32
6.2 性能	15-32
7 金属塑料减摩材料	15-32
7.1 特点和分类	15-32
7.2 性能和要求	15-33
7.3 应用举例	15-35
8 其他固体润滑减摩材料	15-35

第4章 粉末冶金铁基结构材料

1 铁基结构材料的特点、分类和标记方法	15-36
1.1 生产工艺流程	15-36
1.2 铁基结构材料的特点	15-36
1.3 铁基结构材料分类和建议标记方法	15-36
2 常用铁基结构材料的性能	15-37
2.1 成分和特征	15-37
2.2 物理机械性能	15-38
3 改善材料性能的方法	15-39

3.1 提高密度	15-39
3.2 合金化	15-40
3.3 热处理	15-41
3.4 表面处理	15-42
4 铁基结构材料的应用	15-42
4.1 材料选择	15-42
4.2 零件形状的确定	15-42
4.3 零件尺寸的限制	15-42
4.4 精度及光洁度	15-44

第5章 粉末冶金过滤材料

1 粉末冶金过滤材料的特点和生产工艺	15-44
1.1 特点	15-44
1.2 生产工艺	15-45
2 粉末冶金过滤元件的性能和测试	15-46
2.1 透过性	15-46
2.2 孔径及孔径分布	15-47
2.3 过滤精度	15-48
2.4 物理机械性能	15-49
2.5 化学性能	15-50
3 粉末冶金过滤元件的选择和应用	15-50
3.1 设计依据及步骤	15-50
3.2 设计举例	15-51
3.3 使用中的若干问题	15-51
3.4 过滤器的再生	15-51

第6章 粉末冶金摩擦材料

1 粉末冶金摩擦材料的组分、特点和分类	15-53
---------------------	-------

2 粉末冶金摩擦材料的性能及测试	15-53
2.1 性能	15-53
2.2 改善性能的途径	15-58
2.3 粉末冶金摩擦材料性能测试	15-59
3 粉末冶金摩擦材料的选择及应用	15-59
3.1 基体材料的选择	15-59
3.2 摩擦对偶材料的选择	15-59
3.3 结构形式的选择	15-59
3.4 湿式离合器沟槽花纹的选择	15-60
3.5 粉末冶金湿式离合器主要参数举例	15-60

第7章 硬质合金

1 硬质合金的特点、分类和生产工艺流程	15-61
2 硬质合金的性能	15-62
2.1 钨钴类硬质合金的性能	15-62
2.2 钨钴钛类硬质合金的性能	15-62
2.3 通用合金类硬质合金的性能	15-63
2.4 碳化钛基类硬质合金的性能	15-63
2.5 钢结硬质合金的性能及加工	15-63
3 硬质合金的应用和合理使用	15-64
3.1 硬质合金的应用范围	15-64
3.2 硬质合金刀具的合理使用	15-66
3.3 硬质合金矿山地质工具牌号的选择	15-67
3.4 硬质合金模具牌号的选择	15-67
3.5 硬质合金量具和耐磨零件牌号的选择	15-67

常用符号表

A ——元件过滤面积	γ ——含油密度 g/cm^3
α_v ——冲击韧性 $\text{kgf}\cdot\text{m/cm}^2$	δ ——延伸率 %
B ——透过性系数 cm^2	η ——流体的动力粘度 $\text{dyn}\cdot\text{s/cm}^2$
E ——弹性模量 kgf/cm^2	η ——含油率
HB——布氏硬度	σ ——液体表面张力系数 dyn/cm
P ——径向压溃负荷 kgf	$\sigma_{0.2}$ ——屈服强度 kgf/mm^2
p_v —— p_v 值(压力与速度积) $\text{kgf}\cdot\text{m}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$	σ_b ——抗拉强度 kgf/mm^2
Q ——透过量	σ_{bc} ——抗弯强度 kgf/mm^2
t ——透过时间	σ_{bc} ——耐压强度 kgf/mm^2
a ——透过率 $1/(\text{cm}^2\cdot\text{min})$	ψ ——断面收缩率 %

第1章 概 述

粉末冶金是一门工业技术,既是制取金属材料的一种冶金方法,又是制造机器零件的一种加工方法。

粉末冶金从制取金属粉末开始,将金属粉末与金属粉末或非金属粉末混合,经过成型、烧结、制成粉末冶金制品——材料或零件。根据需要对不同的粉末冶金制品还可以进行不同的后处理。

粉末冶金作为特殊的冶金工艺,可以制取用普通熔炼方法难以制取的特殊材料;作为少切削无切削工艺之一,可以制造各种精密机器零件。

目前粉末冶金制品的应用,从日用器具到宇航及原子能工业,遍及整个现代工业的各个部门。

1 粉末冶金的特点

制取粉末冶金制品的主要工艺过程是粉料制备、成型和烧结,有它特有的规律和问题。

1.1 可制取多组元材料

多组元的材料,包括合金与假合金。如果充分发挥每种组元各自的特性,能使材料具有良好的综合性能。但是各组元比重或熔点相差悬殊,用熔炼方法制取时,易产生比重偏析和低熔点组元大量挥发等缺陷,甚至难以制成。粉末冶金采用的是混料方法,材料成分均匀,烧结时温度低于熔炼温度,基体金属不熔化,既不致比重偏析,低熔点组元的液相,也由于毛细现象,被均匀地吸附在多孔骨架内,不致大量损失,所以能得到无偏析的多组元材料,例如:

a. **摩擦材料** 将强度高、导热性好、熔点高的金属组元作基体(如铁、铜),加入提高摩擦系数的非金属组元(如氧化铝、二氧化硅、石棉粉)及抗咬合的、提高耐磨性能的润滑组元(如铅、锡、石墨),制成具有良好综合性能的摩擦材料,用于铁基和铜基的离合器片和刹车带。

b. **电工触头材料** 将高熔点的组元作为耐电弧的基体(如钨、石墨),加入电导率高的组元(如铜、银),做成具有良好综合性能的触头材料,用于开关中的触头。

c. **粉末高速钢** 用喷雾的预合金高速钢粉末,经压制烧结(或热压)制成高速钢材料,用于粉末高速钢刀具。

d. **烧结铜铅减摩材料** 用铜铅预合金粉,经烧结(烧压钢背上)、轧制,做成双金属减摩材料,用于双金属铜铅轴瓦及侧板等。

e. **金刚石金属工具** 用金属粉末(如碳化钨、钴、镍、铜)制成强度高韧性好的胎体,粘结金刚石(颗粒或粉末),做成各种金刚石工具。

其它多组元材料还有金属纤维复合材料及磁介质材料等。

1.2 可制取多孔材料

熔炼的材料,应该是致密的,缩孔和气泡都被认为是缺陷。

粉末冶金工艺没有熔化的过程,粉末颗粒之间的孔隙不会消失,而且均匀分布。控制粉末粒度、成型压力和烧结工艺,可控制孔隙的大小及材料的孔隙度得到各种多孔材料,例如:

a. **过滤材料** 利用不同大小并均匀分布的孔隙来过滤各种流体,制成各种过滤元件。

b. **热交换材料** 利用材料孔隙从零件内部连续渗透冷却液体,或事先渗入低熔点金属,在高温工作条件下,渗入的液体或低熔点金属从零件蒸发,带走大量热量,以冷却高熔点的基体材料制成的零件。这类材料已用作燃气轮机叶片、钨浸铜火箭喷管等。

c. **减摩材料** 利用孔隙浸渍润滑油、硫或塑料(如聚四氟乙烯)等润滑剂,做成良好的自润滑材料,用作含油轴承及金属塑料轴承等。

此外,利用孔隙还可制成减震、消音、绝热等材料。

1.3 可制取硬质合金和难熔金属材料

钨、钼、钽、铌、锆、钛及其碳化物、氮化物等材料的熔点在1800℃以上,采用熔炼方法,遇到熔化和炉衬材料的困难。

采用粉末冶金工艺,不经熔化,烧结温度仅为基体金属熔点的2/3到3/4,工艺上问题较少,因此,成为制取难熔金属的最好方法,例如:

a. **硬质合金** 用高熔点、高硬度的钨、钛的碳化物作为基体(有时加入少量的碳化钽、碳化铌)、用钴、镍、铁等作粘结相,做成各种牌号的硬质合金,用作刀具、模具、凿岩工具及耐磨零件等。

b. **难熔金属材料** 利用其高熔点,可做电热元件、电子工业中的极板以及宇航和原子能工业中的耐高温零件。利用钨的高比重,可做自动上弦手表中的摆锤。利用钽的大电容量,可做成体积小、电容量大的电容器,用于电子手表、电视机等电子工业中。铌与其他元素做成的合金,可做成超导材料。

1.4 是一种精密的少切削

无切削加工方法

机械制造业采用粉末冶金工艺,在获得性能合乎要求的材料的同时,已制成形状和尺寸合乎要求的机械零件,无需或只需少量切削加工。与通常的锻、轧、铸件经切削加工相比,有如下的优越性: 1) 生产效率高,一台粉末冶金压机,班产量通常为1000~10000件。2) 材料利用率高,一般在90%以上。3) 节约非铁金属,在用作减摩材料时,利用它的多孔性,可以铁代铜及巴氏合金。

4) 节省机床及生产占地面积。

1.5 选用时需注意的问题

a. **技术经济效益** 与相同成分的熔炼金属相比,目前金属粉末成本较高,模具费用较大。

b. **设备因素** 尺寸过大的制品,受压机能力及烧结设备的限制。此外,由于材料的多孔性,易于氧化,烧结时,要有恰当的保护气氛。

c. **形状因素** 需用模压成型的粉末冶金零件,若过于细长、薄壁和沿压制方向横截面多变,由于模壁摩擦大,粉末流动性较差,易造成压坯密度严重不均而难以成型。

2 粉末冶金工艺

2.1 粉料制备

包括金属粉末的制取(表15-1-1),粉料的混合及其它后处理,如掺成型剂、增塑剂,制粒,烘干,过筛等。

表15-1-1 金属粉末的生产方法

生产方法		简要说明	应用范围
机械法	球磨	用滚动或振动的筒的运动使球对物料进行撞击,粉碎成粉末	脆性金属及合金
	研磨	用气流或液流,带动物料颗粒相互碰撞摩擦而成粉末	脆性、韧性金属丝或小块边角余料
	雾化法	用高压气体、高压液体或高速旋转的叶片,将熔融金属打散成雾状液滴,冷却后成粉末	较低熔点的金属
物理化学法	还原法	用还原剂还原金属氧化物或盐类,使其成为粉末	金属氧化物或卤族化合物
	电解法	在溶液或熔盐中,通入直流电,使金属离子重新获得外层电子,变成金属粉末	金属盐类
	热分解法	金属与CO、H ₂ 或Hg作用,生成化合物,加热后分解出CO、H ₂ 或Hg,制得金属粉末	能与CO、H ₂ 或Hg生成化合物的金属
	化学置换法	用活性(负电性)大的金属,置换活性小的金属离子而制得粉末	较贵重的金属

混料是使粉料中各种组元均匀化的过程。粉料混合可分为干式、半干式和湿式。干式用于粉料各组元比重相近和要求混合均匀程度不高的情况下;半干式即在粉料中加少量(约0.1%)的液体(如机油),用于各组元间比重相差较大和混合均匀程度要求较高的情况下;湿式即在粉料中加入大量的易挥发的液体(如酒精),使粉料混合均匀,常用于硬质合金生产中。一般干混和半干混时,混料机只需要有搅拌作用。湿混时,除搅拌外,还伴以球磨或振动球磨,以提高混合均匀程度,并增加组元间的接触面,改善烧结性能。

粉料的其他处理包括:为改善粉末的成型性和可塑性,在粉料中添加汽油橡胶溶液或石蜡等增塑剂;为改善粉料的流动性,对细粉末进行制粒处理;

湿粉的烘干及混合粉的过筛等。

2.2 成 型

成型的目的是使粉料成为具有一定形状、尺寸和密度的型坯。成型的方法分为三大类，见表 15-1-2。

2.3 烧 结

烧结时，粉末颗粒间发生扩散、熔焊、化合、溶解和再结晶等物理化学过程，使粉末坯料获得所需要的各种性能。

影响烧结的主要因素：

表15-1-2 金属粉末成型方法

成型方法和特点	简要说明		应用范围	成型方法和特点	简要说明		应用范围
常温加压成型：粉末颗粒间发生机械啮合，接触面增大，产生机械啮合力和原子间吸附力，使粉料成型；对设备、模具材料无特殊要求，操作简便。粉末颗粒在压力下冷作硬化，需较大压力，型坯密度提高受限制，有较大孔隙度	封闭刚性模冷压	将粉末放入刚性模型腔中，通过模冲对粉末加压，使其成型	压制时，压坯密度较易均匀的零件，如长径比或长壁厚比不太大及垂直于压制方向上横截面变化不多的零件	加温加压成型：高温下粉末颗粒变软，即塑性增大，受压时不至硬化，可用较小压力获得致密的型坯，但在技术上增加了复杂性	热 压	将粉末放入模型中，直接通电或感应加热模具及粉末，用较小压力将粉末压实成型，温度较高时，用石墨模具，温度较低时，可用耐热钢模具；此方法成型与烧结工序合并	硬质合金等压制性较差，但要求致密的材料
	封闭弹性模冷压	将粉末放入弹性模(用塑料或橡胶)型腔中，整个弹性模放入刚性模中，通过模冲对弹性模加压，弹性模将压力均匀施加于粉末，使其成型	成型单位压力不大，形状较难成型的制品，如硬质合金的锥体、整球、多台阶件		热 锻	将粉末预压成坯料，加热后送入锻模中，锻压成所需形状的致密零件	高强度致密的结构零件
	挤 压	将拌以润滑剂的粉末放入筒内，通过压柱对粉末加压，粉末被迫通过筒下部的挤压嘴，压紧成型	各种截面的长条(棒)或麻花钻类的扭曲条棒		热挤压	将粉末装在抽真空的包壳内，包壳与粉末一起加热后，放进挤压模中挤压成材；此方法成型与烧结工序合并	钢结硬质合金及粉末高速钢的型材
	液等静压	将粉末放入弹性(用塑料或橡胶)套内，套放入等静压机的高压容器中，通过高压液体对套壁加压，使套内粉末压紧成型	各种棒材、管材及其它大型制品		热等静压	将粉末装入塑性好并耐高温的金属壳中，壳放入热等静压机的高压容器中，用高温高压气体压实包壳中的粉末，此方法成型与烧结工序合并	粉末高速钢及耐熔金属的大型棒材
	粉末轧制	将粉末送入两个相对转动的轧辊之间，由于摩擦力的作用，粉末被咬入轧缝压实成带(片)	各种带材，如多孔、硬质合金、摩擦、双金属、三金属材料以及致密金属材料		粉末热轧	将尚未冷却的喷雾粉末，直接喷落在轧辊上，或将粉末从新加热，在保护性气氛中，热粉末被连续轧成致密带材	较低熔点的金属致密带材
模型压制(连续压制)	将粉末放入开口(一端或两端)长槽型腔中，利用模冲斜面摩擦自锁，防止粉料加压时后移，每压一次，模腔向前送进一段，多次往复，粉末被连续压实		用小压机压制大型板条或圆环	粉浆浇注	将金属粉末制成粉浆，注入石膏模内，干燥后使粉末成型	高孔隙度零件及尺寸精度要求不高、形状复杂、难以压制的零件；后一类制品提高密度主要靠烧结收缩	

(续)

成型方法和特点	简要说明	应用范围	成型方法和特点	简要说明	应用范围
无压成型：将粉末装在模具中使具有一定的形状，粉末颗粒间的连接，靠外加的粘结物或烧结和熔焊	冷冻浇 粉末中拌以水，注入模中，冷冻成型，埋入细填料中，经干燥后烧结	高孔隙度零件及尺寸精度要求不高、形状复杂、难以压制的零件；后一类制品提高密度主要靠烧结收缩	无压成型：将粉末装在模具中使具有一定的形状，粉末颗粒间的连接，靠外加的粘结物或烧结和熔焊	无压浸 将基体粉末装入石墨模中，注入可浸润或可形成化合物、固熔体的熔融金属，利用毛细现象浸入孔隙，使粉末成型	金属陶瓷材料
	松装烧结 粉末放入模腔中，连同模具一起放入炉内烧结，使粉末成型；此方法成型与烧结工序合并	多孔过滤元件及多孔浸渍材料			

a. 坯料原始状态 指粉末性能及坯料的密度。颗粒细，比表面大的颗粒形状（如树枝状、海绵状等），采取活化措施（如铁基的预氧化处理）及提高坯料密度等都能加快烧结过程。

b. 烧结规范 指以下几个因素：

（1）烧结温度：一般约为基体金属熔点的 $2/3 \sim 3/4$ ，提高烧结温度，可加快烧结过程，但同时要考虑制品的变形、晶粒粗大及炉子寿命等不利因素。

（2）保温时间：由坯料的大小及完成物理化

学反应所需时间来决定。过长的保温时间，影响生产率。提高烧结温度，可缩短保温时间。

（3）保护气氛：粉末比表面大，易氧化。为防止氧化，一般均需要还原性或中性的保护气氛。有时对保护气氛中的露点（水汽含量）及碳势需进行控制，或在真空条件下进行烧结。

（4）冷却方式：冷却速度的快慢，对烧结件的金相组织有影响，根据需要应加以控制。常用的烧结方式见表 15-1-3。

表15-1-3 常用的烧结方式

按防氧化条件分			按烧结炉结构分				
烧 结 方 式	简要说明	应用范围	烧 结 方 式	简要说明	应用范围		
按防氧化条件分	填料保护烧结	用碳（石墨、木炭、焦炭）、氧化铝、石英砂等作填料，工件埋入其中进行烧结	无保护气体时，烧结铁、铜基制品	按烧结炉结构	间歇烧结	工件随炉升温、保温和降温，炉子只能成批、间歇地进行烧结	用于升、降温要求缓慢的情况下，采用气体或填料保护
	气体保护烧结	用还原性的氢、煤气、分解氨以及中性的氮等惰性气体保护工件	烧结铁、铜、铝基制品及硬质合金	特殊烧结方式	加压烧结	烧结时，对工件施加压力，以提高制品的密度，防止变形，并使工件与钢背粘结牢固	摩擦片
	真空烧结	用真空条件，防止工件氧化	烧结硬质合金、铝、钛等易氧化的制品		浸渗烧结	工件的端部（上或下）放置低熔点的金属，烧结时，低熔点金属熔化后渗入多孔骨架中	铜钨、铁铜等致密合金
按烧结炉结构分	连续烧结	工件顺序连续通过炉子的预热带、保温带及冷却带，完成烧结过程，热利用率高	用于大批生产，通常需要气体保护	电阻烧结	工件本身作为电热体，利用其电阻，自身加热，使粉末烧结	难熔金属制品，如钨、钼制品	

(续)

烧 结 方 式		简要说明	应用范围	烧 结 方 式		简要说明	应用范围
特 殊 烧 结 方 式	活化烧结	用物理方法(如附加振动、循环温度)或化学方法(如加卤族化合物、预氧化、加低熔点化合物、用氢化钛作填料)加快烧结过程,改善烧结质量	软磁材料及高密度材料	特 殊 烧 结 方 式	电火花烧结	粉末体通入直流电及脉冲电,使粉末间产生电弧进行烧结,同时逐渐施加压力,此方法成型与烧结工序合并	双金属(带钢背)摩擦片、金刚石金属工具,以及钛合金等

2.4 后处理 (见表15.1-4)

粉末冶金制品还可以进行切削加工、锻造(如

钢结硬质合金)、焊接(如量具、刀具)、轧制以及离子氮化、磷化、化学煮黑(高密度件)、渗铝、涂漆处理等。

表15.1-4 后 处 理

处 理 方 法		简要说明	应用范围	处 理 方 法		简要说明	应用范围
压 力 加 工	整 形	将工件放入整形模中加压,以校正烧结时的微小变形,并提高工件的尺寸精度和光洁度	径向尺寸精度4级以上的轴套及结构零件	浸 渗 (浸 渍)	浸塑料(聚四氟乙烯)	将高孔隙度的工件放在聚四氟乙烯的分散液中,在真空条件下,聚四氟乙烯浸入孔隙中,经过热固化后,获得金属塑料无油润滑材料	金属塑料减摩材料
	复 压	将工件放入复压模中再次加压,以提高工件的密度	软磁零件及中强度结构零件		浸 硫	工件放在120~130℃熔硫中,硫浸入孔隙,改善材料的减摩性能,并起到封闭孔隙的作用	铁基硫化减摩材料及部分结构零件
	精 压	将工件放入精压模中再次加压,以较小的变形程度与锻造比,改变工件的形状,如平板成弧板、平端面或带齿面	制品所要求的形状在初压时不易得到的结构零件		浸熔金属	将烧结后的工件放在熔融金属液中,在真空或常压下,使熔融金属浸入孔隙中,以提高工件的强度及耐磨性	铁基零件浸铜或铝(真空中)
	冷 挤	用滚轮或标准齿轮与工件对滚挤压,提高工件的密度、光洁度和尺寸精度	齿轮、球面轴承及钨铜管材等		整体淬火	同致密钢材的热处理	不受冲击而要求硬度高的铁基零件
	冷 拔	同一般冷拔工艺	钨、钼丝	热 处 理	表面淬火	同致密钢材的热处理	表面要求耐磨,又要兼顾韧性的铁基零件
	浸 油	将工件放在油中,抽真空或加热,使润滑油浸入毛细孔中,改善工件自润滑性能,并利于防锈	铁、钢基含油轴承及部分结构零件		表面渗碳淬火	同致密钢材的热处理	要求高密度或孔隙经硫化后被封闭的低碳铁基零件

(续)

处 理 方 法			简要说明	应用范围	处 理 方 法			简要说明	应用范围
热 处 理	碳氮共渗	用一氧化碳与分解氨为介质,在850℃左右情况下进行碳氮共渗,与渗碳相比,硬度高,速度快	要求高密度或孔隙经硫化后被封闭的低碳铁基零件	表 面 保 护	蒸汽处理	铁基零件在550~600℃下,通入过热蒸汽,使表面生成坚固的氧化膜	表面防锈要求不高的铁基零件,同时可提高耐磨性及封闭孔隙		
	渗 硼	将脱水硼砂,氯化钠加热到900~920℃(呈熔融状),将铁基件浸入2~2.5小时,渗层达0.8~1mm,工件浸毕于10% NaOH水溶液中洗净	提高表面硬度、耐磨,堵塞孔隙并防锈要求的铁基零件		电 镀	用硬脂酸锌或高软化点(120℃)石蜡先封闭零件的孔隙,然后电镀	电影机械、仪表、机床零件		
	硫化处理	经浸硫的工件,在氢气保护下,于720℃保温0.5~1小时,使生成硫化铁	铁基减摩材料		渗 锌	用锌和氧化铝的粉末混合料为填料,将零件埋入其中,在400~420℃下渗1~2小时,若零件与填料在滚筒中转动渗锌,零件表面质量尤好	仪表、锁芯等零件		

3 粉末冶金材料分类

粉末冶金材料包括钢铁、非铁、稀有和贵重等各类金属及合金,还包括只有用粉末冶金工艺才能制成的金属陶瓷、金属塑料及金属纤维复合材料

等。材料的性能有硬质和软质,发热和致冷,减摩和摩擦,多孔和致密,高电阻和低电阻(超导),软磁和硬磁,易熔和难熔,低密度和高密度等多种多样。材料按用途分类见表15·1-5。

表15·1-5 粉末冶金材料分类

类 别	主要性能要求	应 用 范 围	类 别	主要性能要求	应 用 范 围	
机 械 零 件 材 料	减摩材料	自润滑性好, 承载能力(pv 值)高, 摩擦系数低, 耐磨且不伤对偶	机 械 零 件 材 料	过滤材料	透过性, 过滤精度, 有时要兼顾耐腐蚀性、耐热性及导电性	铁、青 铜、 黄 铜、 镍、 蒙 乃 尔、 不 锈 钢、 碳化钨、 银、 钛、 钨等 多孔过滤元件及带材
	结构材料	硬度、强度及韧性等机械性能, 有时要兼顾耐磨性、耐腐蚀性、磁导性		热交换材料	孔隙度, 基体的高温强度及耐腐蚀性	镍、镍铬、不 锈 钢、 钨、 钼 等 为 基 体, 浸 低 熔点金属, 或利用孔隙 渗出冷却液的高温工作 零件
	摩擦材料	摩擦系数高且稳定, 能承受短时高温, 良好导热性、耐磨且不伤对偶		密封材料	质软, 使用时易变形而贴紧, 本身致密, 有时要兼顾耐磨性及耐腐蚀性	多孔铁浸沥青的管道 密封垫, 多孔青铜浸塑料的长管道中热胀冷缩 补偿器中的密封件

(续)

类 别	主要性能要求		应 用 范 围	类 别	主要性能要求		应 用 范 围
电 工 材 料	触头材料	电导性, 耐电弧性	难熔材料(钨、钼、石墨)与电导材料(铜、银)形成假合金的开关触头	工 具 材 料	刀具材料	硬度、红硬性、强度、韧性及耐磨性	含钴小于15%的硬质合金及钢结硬质合金做成的刀具, 粉末高速钢刀具及陶瓷刀具
	集电材料	电导性、减摩性及一定程度的耐电弧性	电机中集电用的银石墨、铜石墨电刷, 电车用的铁、铜基集电滑板(块)		模具、磨岩及耐磨材料	硬度、强度及耐磨性	含钴15~25%的硬质合金及钢结硬质合金
	电热材料	耐高温性及电阻率	钨、钼、钽、铌及其化合物, 以及弥散强化材料做成的发热元件、灯丝、电子管板板及其它电真空材料		金刚石——金属工具材料	胎体(金属)的硬度、强度及与金刚石粘结强度	金刚石地质钻头、研磨工具、修正砂轮工具
磁 性 材 料	软磁材料	起始及最大磁导率高, 磁感应强度高, 矫顽力小	坡莫合金、铁铝及铁铝硅合金、纯铁、铜磷钼铁合金、高硅(含硅5~7%)合金制成的铁芯	高 温 材 料	非金属难熔化合物基合金材料	硬度、耐磨性、热强性及抗氧化性	碳化硅、碳化硼、氮化硅、氮化硼基的高温零件及磨具
	硬磁材料	磁感应强度大及矫顽力大, 即要求磁能积高	铝镍钴、钴稀土(钐、钆)合金做成的永久磁铁		难熔金属及其化合物基合金材料	热强性、抗冲击韧性及硬度	钨、钼、钽、铌、钛及其碳化物、硼化物、氮化物基的高温零件
	磁介质材料	高的电阻率, 有一定的磁导率	高频用的磁性物质(如高纯铁粉、铁铝钼合金粉)与绝缘介质(树脂、陶土)做成的铁芯		弥散强化材料	热强性、抗蠕变能力	铝、铜、银、镍、铬、铁与氧化铝、氧化锆做成的高温下阻碍晶粒长大的材料和零件

此外, 用粉末冶金工艺还可制成各种超合金、金属材料和控制材料等。
 属纤维复合材料及核燃料、反应堆结构材料、防护

第2章 金属粉末

1 金属粉末概要

粉末冶金用的金属、合金和金属化合物的粉末, 习惯上称金属粉末。

金属粉末的生产方法见表 15-2-1。应用最广泛的是还原法、雾化法、电解法和机械粉碎法。金属粉末的成分、性能和结构取决于金属本身的性质和生产方法, 对粉末的成型、烧结工艺以及产品质量的影响很大。

金属粉末的用途很广, 是粉末冶金制品的原料, 也是空间飞行器中的动力燃料, 骨架定位焊料, 耐高温、耐腐蚀、耐摩擦的表面涂层材料, 还用于电子、医药制品、和电子、烟火、化学工业等许多方面。

金属粉末颗粒细, 表面粗糙, 比表面积大, 表面能高, 表面活性大, 易与氧发生作用生成氧化膜, 易吸附气体和水分, 甚至自燃或引火爆炸。因此金属粉末要注意包装, 有些要密封保存。

2 金属粉末的生产方法

同一种金属，用不同的生产方法，可以制得不同成分、物理性能和工艺性能的金属粉末，应用范围也不同。在选用金属粉末时，一定要考虑金属粉末的生产方法。

2.1 生产方法的分类

制取金属粉末的方法分为机械法和物理化学法两大类。

机械法是利用机械外力，将原材料粉碎成粉末，在此过程中成分基本不发生变化。物理化学法是借助物理的或化学的作用，改变原材料的成分或聚集状态而获得金属粉末。有时为改善金属粉末性能或生产上的需要，将两种方法结合起来应用，如用电解法制得某些脆性金属沉积物，或用氢化法处理获得的金属（或合金）氢化物，然后再用机械粉碎法将其粉碎。

金属粉末生产方法的分类见图 15·2-1。

2.2 生产方法的机理及特点

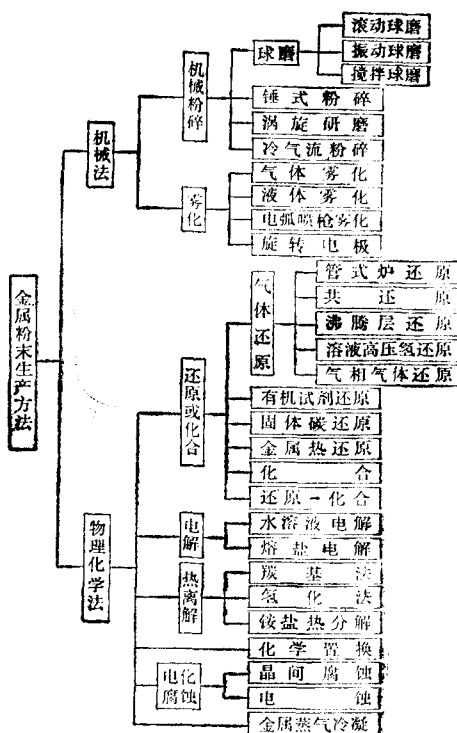


图15·2-1 金属粉末生产方法分类

表15·2-1 金属粉末生产方法的机理及特点

名称	机理	特点	产品举例	名称	机理	特点	产品举例
滚动球磨法	以低于临界速度旋转的筒体（截面为圆或多角形），将研磨体（球或棒）和物料一起旋转，球或棒升到一定高度滚落下来，对物料产生冲击和研磨作用，将物料粉碎	粉末成分基本同原金属（机械法均如此，下略）颗粒呈不规则状或片状，设备简单并易维护，生产效率低	硅、铁、锰、锡、铍及铁合金	锤式破碎机研磨	固定在轴的铰链上的杆锤，作高速旋转，冲击物料，以带动颗粒相互碰撞，或冲击静止的圆形筒体内壁，将物料粉碎	粉末颗粒呈多角形或不规则状，加工硬化轻微，压制性好，生产效率高	铁、锰、铬、铁合金
振动球磨法	通过弹性联轴节带动装有偏心锤的轴高速转动，使装置在弹簧基座上的筒体振动，物料受研磨体的高频冲击和研磨将物料粉碎	粉末颗粒呈不规则状或片状，粒度细，生产效率比滚动球磨高		涡旋研磨	高速旋转的螺旋叶片，冲击物料，并造成旋流，带动物料相互撞击，摩擦或撞击筒底衬板，将物料粉碎	可研磨脆性或塑性金属，粉末颗粒呈盘状，松装密度高，流动性好，生产效率比滚动球磨高	铁、铝、镍、青铜、黄铜、碳钢以及合金
搅拌球磨法	固定在轴上的多层交叉搅棒，作高速旋转，带动研磨体沿筒体高速转动，将物料粉碎	粉末粒度细，生产效率较高		冷气流粉碎法	高压气流带动较粗颗粒，通过喷嘴高速冲击碎室中的靶子；由于气体压力突然降低，产生绝热膨胀，使温度降到零度以下，被冷却的颗粒相互撞击摩擦并与靶子激烈碰撞而被粉碎	可粉碎韧性或塑性金属，粉末颗粒呈不规则状，氧化轻微	不锈钢、高速钢、超合金

(续)

名 称	机 理	特 点	产品举例	名 称	机 理	特 点	产品举例
气体雾化法	高压气体或液体(通常用水), 通过喷嘴, 高速冲击熔化的金属液流, 将其雾化分散, 冷凝成粉末	可制取成分均匀的合金粉末, 粉末颗粒呈球形或不规则状, 流动性好, 松装密度高, 成型性差, 生产效率高	锡、铜、铝、铅、铁、镍、黄铜、青铜、碳钢、合金钢、不锈钢、高速钢、超合金	溶液高压氢还原法	用高压氢气通入高压釜内的金属盐溶液中, 金属盐蒸气被高温高压氢气还原析出金属粉末	粉末纯度高, 颗粒呈球形或不规则状, 成本较低回收率高, 可制取包覆粉末	铜、钴、镍、金、钨以及包覆粉
液体雾化法				气相还原法	用氢气将气态的卤化物还原成金属, 合金成金属化合物等粉末	是制取高纯、超纯的球形金属粉末或包覆粉末的有效方法	钨、钼等难熔金属及化合物
电弧喷枪雾化法	用两根相同的金属丝, 通入直流电, 短路引弧, 产生高温使之熔化, 再由通过喷嘴(或喷枪)的高压气体(空气或惰性气体)吹碎成粉末	工艺简单, 适用于生产纯的难熔金属或合金的球状粉末, 但生产效率低, 成本高	难熔金属及其合金等	有机试剂还原法	用有机化学试剂(如甲醛、甲酸、水合肼等)把负电性较小的贵金属, 从它们的盐溶液中还原析出金属粉末	可制取超细贵金属粉末, 颗粒呈球状、树枝状、不规则状等	银、金、铂、钯、铑等
旋转电极法	在保护气氛中, 用原料棒, 作高速旋转的自耗电极, 与固定的钨电极发生电弧, 将原料棒熔化, 借助高速旋转的离心力, 熔流向四周飞散成细小液滴, 急速冷凝成粉末	粉末成分稳定, 纯度高, 粒度均匀, 颗粒呈球形, 粒度较粗, 金属回收率高, 生产效率低, 成本高	难熔金属、钛合金及超合金	固体碳还原法	用木炭、焦炭、煤等作还原剂, 将金属氧化物还原成金属粉末	是生产海绵铁粉应用最广泛的方法, 产量大, 成本低, 适于大量生产, 粉末颗粒呈不规则状或海绵状, 压制性及流动性较好	铁
管式炉还原法	粉状金属氧化物或盐类, 在炉内与气体还原剂(如氢分解氨或煤气)发生还原反应, 而获得金属粉末	粉末纯度高, 成分均匀, 粒度易控制, 颗粒呈不规则状或海绵状, 压制和烧结性能良好, 生产效率高, 成本较低	钨、钼、镍、钴、铁、铜、钴、铁-镍、铁-钼、铁-钴等合金	金属热还原法	用金属及金属氢化物(如Mg、Na、CaH ₂)作还原剂, 还原固体的、熔融的金属氧化物或盐类, 制得金属粉末	主要用来制取活性大的稀有金属粉末, 但制粉的后处理工艺复杂, 粉末的颗粒呈不规则状	钛、锆、钽、铌、钼、钨、铍
共还原法	用气体或固体还原剂, 将两种或两种以上的金属氧化物(或盐类), 同时还原成复合金属粉末(不同程度地预合金化)	可制取高熔点金属为基体的复合粉末, 颗粒呈不规则状或海绵状, 生产量大, 烧结性能好, 合金化效果好	铁-铝、铁-镍-铝、铁-钨-镍	化合法	在一定条件下, 用碳、氮、硼、硅与金属直接化合成碳化物、氮化物、硼化物和硅化物粉末	是生产难熔金属化合物的主要方法	难熔金属的碳化物、氮化物、硼化物、硅化物
沸腾层还原法	用预热的高压氢气, 由下部通入立式反应器, 使上部加入的粉料(金属氧化物)呈沸腾状态, 将其强化还原成金属粉末	还原温度低, 生产效率高, 粉末颗粒细, 松装密度小, 颗粒呈不规则状	铁	还原—金属法	用碳氮(在渗碳的条件下)、碳化硼、硅与难熔金属氧化物发生还原化合作用, 制取碳化物、氮化物、硼化物和硅化物粉末	在生产难熔化合物仅次于化合法, 成本稍低	

(续)

名称	机 理	特 点	产品举例	名称	机 理	特 点	产品举例
水溶液 电解法	在金属盐溶液或熔盐中, 通入直流电, 在电场的作用下, 金属离子向阴极迁移, 并在阴极上沉积析出疏松的金属粉末或硬而脆的海绵状及树枝状的沉积物	可制取超细、高纯的树枝状的金属或合金粉末粒度可以控制, 具有良好的压制及烧结性能	铜、镍、银、铁、铬及铁-镍、镍-钴合金	铵盐热 离解法	在空气或保护气氛中, 以一定的温度加热铂族金属的铵盐, 使之分解而得到金属粉末的方法	粉末颗粒呈不规则状或海绵状	铂、钨、铌、钽等
熔盐电 能法		可制取不能进行水溶液电解的活性大的稀有金属	锆、钛、钽、铌、钼及碳化物	化学置 换法	用负电性较大的金属, 把负电性较小的金属, 从金属盐溶液中置换出金属粉末	常用来回收废液中的金属, 粉末纯度低, 颗粒呈不规则状	银、金、铂、钨、钼、铜
碳基法	在一定温度和压力下, 某些金属与氧化碳作用, 生成挥发性大的碳基化合物, 而后使碳基化合物热离解, 在保护气氛或真空中沉积出金属粉末	制取纯而超细的球形金属、合金或包覆粉末	铁、钴、镍、铁-镍、铁-钴及包覆粉末	晶间腐 蚀法	用酸腐蚀锻造合金或轧制合金, 使其晶界溶解, 松散成粉末	可用来制取不规则状的不锈钢或镍铬钢粉, 但生产率低, 成本高	不锈钢、镍铬钢
氢化法	在一定温度和压力下, 某些金属或合金与氢作用, 生成脆性的氢化物, 经研磨粉碎后, 热解脱氢, 获得粉末	可制取纯度高, 粒度细的难熔金属及其合金粉末。氢化物粉末也可以直接经过成型, 真空烧结制得零件和材料	锆、钛、铌、钽、铈、钨及其合金等	电蚀法	将两块同种金属或合金, 置于溶液中放电, 电极间形成电弧, 发生强烈挥发, 形成分散的金属粉末	生产率低, 成本高	部分金属及合金
				金属蒸 汽冷凝法	加热一些具有较大蒸汽压的低熔点金属, 并使其蒸汽在真空(或一定气氛)中冷却凝聚形成粉末	颗粒度细, 呈球形, 但此方法生产的粉末易氧化, 甚至自燃	锌、镁、钙、铍

3 金属粉末的性能和用途

3.1 铁及铁合金粉末 (表15.2-2)

表15.2-2 铁及铁合金粉末性能

金属粉末名称	生 产 方 法	牌 号	金 属 粉 末 性 能										用 途			
			成 分 %								粒度组成 目 或 μ	颗 粒 形 状		流动性① s /50 g (不大于)	松装密度 g/cm ³ (不小于)	压缩性② g/cm ³ (不小于)
			总 Fe	O	C	Si	Mn	S	P	盐 酸 不 溶 物						
			不 大 于													
固体炭还原铁粉	固 体 还 原 法	HF0-22									+100目 <1%	不 规 则 状	40	2.2~2.4	6.20	强度及磁导率等性能要求高的高密度粉末冶金件
		HF0-24	98.5	0.3	0.05	0.1	0.4	0.03	0.03	0.15	-200目 占40~60%			2.4~2.6		
		HF0-26												2.6~2.8		

(续)

金属粉末名称	生产方法	牌 号	金 属 粉 末 性 能										用 途			
			成 分 %							粒度组成 目 或 μ	颗粒形状	流动性① s /50 g (不大于)		松装密度 g/cm ³ (不小于)	压缩性② g/cm ³ (不小于)	
			总Fe	O	C	Si	Mn	S	P							盐酸不溶物
固体炭还原铁粉	固 体 还 原 法	HF I-22									+80目 <1% -200目 占40~60%	不 规 则 状	40	2.2~2.4	6.05	强度及磁导率等性能要求较高或一般的粉末冶金制品如: 含油轴承、衬套、烧结阀零件、电工磁性零件
		HF I-24	98	0.6	0.1	0.15	0.5	0.05	0.05	0.3				2.4~2.6		
		HF I-26												2.6~2.8		
		HF II-22									40	2.2~2.4	5.95			
		HF II-24	97	0.9	0.25	0.2	0.6	0.08	0.05	0.7		2.4~2.6				
		HF II-26										2.6~2.8				
		HF III-22									40	2.2~2.4	5.85	性能要求不高的粉末冶金制品		
		HF III-24	96	1.2	0.35	0.25	0.7	0.15	0.05	1.0		2.4~2.6				
		HF III-26										2.6~2.8				
盐铁粉冶	气 体 还 原 法		总Fe≥99 考核杂质: C、Si、Mn、Cr、S、P、 氢中失重								多角形			6.35	高强度零件、电工磁性材料精密合金及轧制带材等	
铁粉	铁 还 原 法		活性Fe≥93 考核杂质: N、C、Si、Mn、S、P 水溶物, 硫酸不溶物								不规则状				化学试剂、磁性材料等	
雾化铁粉	雾 化 法		总Fe≥98.0 考核杂质: C、Si、Mn、S、P、							-80目	球形不规则状	26	3.4~3.6		减磨及结构零件, 过滤元件	
羰基铁粉	羰 基 法		总Fe≥97.5~99.5 考核杂质: C、Ni、N等							<4.0 μ	层状球形		摇实密度 ≥4.4		电子工业、磁粉离合器、试剂、磁性材料	
涡旋铁粉	涡 旋 法		总Fe≥98.3 考核杂质: O、C、Si、Mn、S、P、							-100目	片 状		2.0~2.1	较差	磁性材料, 结构零件	
铁铝共还	还 原 法		总Fe≥98.5 Mo: 0.36~0.40③ 考核杂质: O、C、Si、Mn、S、P 盐酸、不溶物							+100目 <1% -200目 占50~60%	不 规 则 状	42	2.2~2.4	6.3	粉末冶金热复压锻造的高强度结构零件	
铁镍铝共还原粉	还 原 法		总铁: 余量 Ni: 1.8~2.0③ Mo: 0.4~0.5③ 考核杂质: O、C、Si、Mn、盐酸不溶物, 五种杂质总和≤1.0							+100目 <1% -200目 占50~60%	不 规 则 状	<40	2.2~2.4	≥6.2	粉末冶金热复压锻造的高强度结构零件	

① 在孔径为2.54mm的标准漏斗中测定。

② 单位压力为4tf/cm²时的密度值。

③ 铝及镍的含量可按用户要求进行调整。

15-12 第15篇 粉末冶金

3.2 碳钢及合金钢粉末 (表15-2-3)

表15-2-3 碳钢及合金钢粉末的性能和用途

金属粉末 名称	生产方法	牌 号	金 属 粉 末 性 能						用 途
			成 分 %	粒度组成 目 或 μ	颗粒形状	流动性 s/50g (不大于)	松装密度 g/cm ³	压缩性① g/cm ³ (不小于)	
碳素结 构钢粉	涡旋研 磨	08*	总Fe 98.0~99.6, C 0.11~0.06, O<1.0 考核杂质: Si, Mn, S, P	-100目	不规则 状、盘状	40~45	2.4~2.6	5.8①	粉末冶 金零件
低合金 钢粉	雾化法	Ni2Mo	Fe余量, C 0.15, O 0.15 ~0.2, Ni 2.00 Mo 0.5	-60目	不规则 状	29	3~3.5		中高强 度粉末冶 金制品
		NiMnMo	Fe余量, Mn 0.35~0.45, Ni 0.5, Mo 0.5, O 0.15 ~0.2	-60目	不规则 状	26~32	3~3.5		
不锈钢 粉	雾化法	1Cr18Ni9	Cr 17~19, Ni 8~11, C≤0.14 考核杂质: Si, Mn, S, P	-80目	球形	17~26	3.4~4.2		粉末冶 金多孔材 料
		0Cr13	Cr 12.0~14.0, Ni≤0.5, 考核杂质: Si, Mn, S, P						
高速钢 粉	雾化法	W18Cr4V	Fe余量, Cr 5.25~5.5, W 17.4~18.0, V 1.15~ 1.50, C: 1.05~1.10 考核杂质: S, P	-100目	液滴状, 球状	3.5~6.4	3.9~5.0		粉末冶 金高速工 具
		W10Mo5Cr4 VCo12	Fe余量, Co 12.0~12.5, Cr 3.75~4.5, W 9.0~ 10.0, Mo 4.1~5.5, V 1.3 ~1.5, C 0.9~1.10		球状液 滴状				
硅钢粉	雾化法		Fe余量, Si 3.0~3.4, Mn≤0.15 考核杂质: S, P	-100目	球状液 滴状				磁性材 料

① 单位压力为4t/cm²时的密度值。

3.3 其他黑色金属及其合金粉末 (表15·2-4)

表15·2-4 其他黑色金属及其合金粉末性能和用途

金属粉末名称	生产方法	金属粉末性能				用途
		成分 %	粒度组成目或 μ	颗粒形状	磁性能	
锰粉		Mn99.9~99.99, 杂质总量0.1~0.01, 考核杂质: Si、Fe、Ni、Pb、S、P、(C、Cu、Hg、Cr、Sb、Bi、As)	-250目			用于电子工业电子管、晶体管材料
			-150目			
磁粉	雾化法	Fe68 $\pm$ 1, Ni9 $\pm$ 1, Co23 $\pm$ 1	-200目	球状	Hc: 2500~3000奥斯特, B: 13000~20000高斯	磁性材料
硅铬铁粉	球磨法	Si60 $\pm$ 1, Fe20 $\pm$ 1, Cr20 $\pm$ 1, 常见杂质总含量 $\leq$ 0.5	-300目			耐温、耐磨、耐腐蚀的金属材料

3.4 铜及铜合金粉末 (表15·2-5)

表15·2-5 铜及铜合金粉末的性能和用途

金属粉末名称	生产方法	金属粉末性能						用途
		成分 %	粒度组成目或 μ	颗粒形状	流动性s/50g	松装密度g/cm ³	压缩性g/cm ³	
铜粉	电解法	Cu 99.5~99.99, 杂质含量0.5~0.01 考核杂质: Fe、Pb、As、Sb、Bi、Sn、Ni、Zn、(Si、SO ₄ ²⁻ 、Cl ⁻ 、H ₂ O、硝酸处理后灼烧残渣等)	-200目	树枝状		1.4~1.9		电工材料及其它金属陶瓷材料, 摩擦材料, 弥散强化无氧铜, 金刚石金属工具胎体, 催化剂等
青铜粉	雾化法	Sn5~7, Zn5~7, Pb2~4, Cu余量, 杂质总含量 $<$ 1.3	-80目	球形、不规则状	$<$ 40	2.8~3.2	压制压力(3.5tf/cm ²) 不小于6.3	含油轴承, 金属塑料轴承, 结构零件, 多孔材料等
		Sn9~11, Zn $\leq$ 0.5, 杂质总量 $<$ 1.0, Cu余量	-80目		13~15			