

真空熔炼高压气体雾化制粉技术及设备

The technology and Equipments for Manufacturing Metal Powders
Using Vacuum Melting - high Pressure Gas Atomization

李清泉 韩延良

(中国科学院力学研究所 北京 100080)

Li Qingquan Han Yanliang

(Institute of Mechanics Chinese Academy of Science, Beijing 100080)

摘要 介绍了气体雾化粉的品种、用途及工业化生产。还介绍了真空熔炼-高压气体雾化制粉所需的设备。

关键词 气体雾化 金属粉末设备

Abstract The assortment use and industrial production of gas - atomization metal powders and the equipments used in vacuum melting and high pressure gas - atomization have been introduced in this paper.

Key Words Gas - atomization Metal powders equipment

雾化是将金属液体破碎成细小的液滴,其尺寸一般小于 $160\mu\text{m}$ 。借助高速气流冲击并破碎液流的方法叫气体雾化法。用水作雾化介质的称水雾化法。被雾化的液滴在环境气氛中飞行、冷却、固化,便成为雾化粉。

气体雾化是一种经济、有效的制粉技术,它适用于工业化生产。与粉末冶金中常规的制粉方法相比,可节省人力、资金和能源。在一些发达国家,水、气雾化粉已占金属粉总量的50%至70%。

真空熔炼高压气体雾化制粉技术综合了高真空技术,高温熔炼技术,气体的高压和高速技术,是为了适应粉末冶金最新发展的需要而产生的,特别适用于生产高质量的含活性元素的合金粉末。

气体雾化制粉技术又是一种快速凝固新技术。用这种方法生产的金属粉末的冷却速

率可达到每秒一千度至一百万度。由于冷速高,粉末具有晶粒细化、成分均匀和固溶度高等特点。用真空熔炼高压气体雾化法生产的金属粉末,除了具有上述的优点外,还具有如下三方面的特点:(1)粉末纯,含氧量低;(2)细粉收得率高;(3)外貌球形度高。

使用这种粉末制成的结构材料或者功能材料,在物理和化学性质方面有许多常规材料不具有的优点。因此,得到各国特别是发达国家的工业和技术部门的高度重视。

1 气体雾化粉的品种及其用途

气体雾化金属粉末的品种繁多,用途亦十分广泛。下面仅介绍几个例子,余下的列于表1中。

1.1 铜及铜基合金

纯铜粉可用雾化法生产,而几乎所有的铜合金粉都是用雾化法生产的。

粉末冶金纯铜零件主要用于电子和电工行业,要求铜粉的纯度高于99.95%。粉末冶金青铜粉大量用于轴承,其次用于过滤器和结构零件。大多数有色金属过滤器的生产厂家均采用严格控制粒度的雾化球形粉,便于达到所要求的过滤孔径。粉末冶金黄铜和铍铜零件都是由雾化的预合金粉制造的,用量仅次于青铜轴承。

1.2 不锈钢

不锈钢几乎都是用雾化法生产的。

水雾化不锈钢粉,形状不规则,松装密度低(约为 $2.5\sim 3.2\text{g}/\text{cm}^3$),压坯强度高。

用氮或氩气雾化的不锈钢粉,形状呈球形,松装密度高(约为 $5.0\text{g}/\text{cm}^3$),流动性好,含氧量低。采用特殊的固结方法,如热等静压或热挤压工艺可得到全致密制品。亦适用于注射成形和热喷涂工艺。

注射成形使用的不锈钢粉很细,粒度在 $0.5\sim 20\mu\text{m}$ 之间,而常规的粉末冶金用粉为 $100\mu\text{m}$ 左右。

美国市场上可以买到的不锈钢粉牌号有:410, 440C, 446, 304L, 304, 316L, 316 和 317。其中316L粉约占全部不锈钢粉的1/3。

1.3 弥散强化铜

将熔炼的铜铝固溶合金熔体,用高压气体雾化制成粉末,将这种粉末与氧化剂混合,加热到适当的温度,待合金中的铝全部氧化, Al_2O_3 便弥散于铜中,再经过适当的后处理就得到弥散强化铜。

弥散强化铜不但强度高,而且导电率和导热率也高。更重要的是它暴露于高温或在高温停留之后,比任何其它铜合金所保有的强度、导电率和导热率都高。

弥散强化铜已在一些工业部门中应用。如在汽车工业中用作电阻焊的电极;在电子电器工业中代替昂贵的钼丝作引线,用于整流子、继电器铜片和触头支座等。

1.4 钎料

钎焊是联接金属的一种方法。钎焊技术广泛地用于机械制造、电子工业、仪表制造、国防及尖端技术领域。

在硬钎焊和软钎焊工业中广泛使用金属粉末作为填充金属,即钎料。在发达国家,这种粉末大都是用气体雾化法生产的。软钎料很容易用空气雾化,而大部分硬钎料都是用高压氮气或氩气进行雾化的。

软钎料包括锡铅合金、铅基合金、锡基合金、铜基合金和锌基合金等,其熔点在 $180\sim 350^\circ\text{C}$ 。

硬钎料包括铜合金、银合金、金合金、钎合金、锰基合金和镍基合金等,其熔点在 $700\sim 1100^\circ\text{C}$ 。

1.5 中磁饱和和中导磁材料

$50\text{Fe}-50\text{Ni}$ 合金属于中磁饱和和中导磁的软磁材料之一。这种粉末在国外是用气体雾化法生产的。

将 $50\text{Fe}-50\text{Ni}$ 粉末在 690MPa 下压制,高于 1200°C 下真空烧结,要求密度达到 $7.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。用这种工艺制成的软磁材料,最大的磁导率可达 $50\text{mH}/\text{m}$ ($4000\text{G}/\text{Oe}$),矫顽力达 $16\text{A}/\text{m}$ (0.2Oe)。这种材料主要用于中弱磁范围,由于它的电阻率高,因而适用于较高的频率。

用它做成的器件有:小功率变压器,微电机,继电器,扼流圈和电磁离合器的铁心,以及磁屏蔽罩,话筒振动膜,力矩电动机衔铁和导磁体等。这种合金生产工艺稳定,磁性好,磁性对应力敏感性小,价格较低,是用量很大的铁镍合金。

1.6 医用和牙科用的植入物

医用植入物可采用粉末冶金件,用于更换人体内有严重病变的部位,如关节,牙齿和心脏起搏器等。

全致密的矫形植入物都是由预合金粉用热等静压制成的。所用的粉末都是用惰性气体雾化法生产的,因涉及到人身安全,所有粉末供应者都应遵守和用于航空、航天的粉末

相同的预防措施,并要有与之相同的储运方法。

对生产植入物使用粉末的要求是控制成分,振实密度要稳定,纯度要高。材料的化学成分有:钴-铬-钼合金,钛-铝-钒合金和 316L 不锈钢等。

牙科用的汞齐合金是由液态汞与银基合金粉末反应生成的。粉末生产采用车削加工

或雾化法。粒度为 -325 目,平均粒度约为 $30\mu\text{m}$ 。球形粉末对形成汞齐有某些优点,如用汞量少,压缩温度高,塑性好等。

1.7 Rene'95 合金

氩气雾化 Rene'95 合金粉采用热等静压或热挤压锻造等固结工艺生产的成形件和坯件,已成功地用于 T-700 发动机、F101 发动机和 F404 涡轮风扇发动机中的部件。

表 1 气体雾化粉的品种及其用途

粉末品种	雾化气氛	性能要求	用 途
Pb	空气	$<50\mu\text{m}$, 球形 $\sim 10\mu\text{m}$	摩擦、减摩材料,密封材料,颜料 石油钻探泥浆
Sn	空气	$<50\mu\text{m}$, 球形	化工添加剂,多孔材料,轴承
Pb-Sn	空气,惰性气体	$10\sim 70\mu\text{m}$	焊料糊膏
Zn	空气,水	$30\sim 200\mu\text{m}$ $5\sim 50\mu\text{m}$	电解提炼厂用 化学上使用
Al	空气(大量),氮气	$1\sim 200\mu\text{m}$	火箭燃料,炸药,烟花,塑料,涂料,冶金
Al 合金	氮气,惰性气体	$10\sim 500\mu\text{m}$	航空,航天用结构材料
Al-Pb	空气		双金属轴承
Mg	He, Ar, CH_4	$20\sim 200\mu\text{m}$, 球形	特殊军用
Ag, Au	惰性气体	$20\sim 200\mu\text{m}$, 球形	钎料,涂料
Cu	空气,氮气,水		过滤器,含油轴承,导电印色, 金刚石工具,钎焊
黄铜	空气,氮气	$20\sim 200\mu\text{m}$	过滤器,机械零件,涂料, 铁的熔渗剂
青铜	空气,氮气	$20\sim 200\mu\text{m}$	含油轴承,金属塑料轴承, 结构零件,多孔材料
Ni, Co	真空熔炼, N_2 , Ar		化学,粉末冶金,电焊条,多孔 材料,磁性材料,硬质合金
Ni-Co 合金		$50\sim 120\mu\text{m}$	表面硬化,钎焊,粉末冶金
Ni-Cr 合金	惰性气体	$\text{O}_2 < 100\text{ppm}$ $100\sim 700\mu\text{m}$, 球形	钎焊,等离子喷涂
高速钢	惰性气体	$\text{O}_2 < 300\text{ppm}$	工具,模具,喷涂

2 气体雾化制粉技术在工业生产中的应用

用气体雾化法制取铝粉,在工业上早有成熟的工艺,有的厂家年产量可达数万吨。

用气体雾化法制取铜和铜合金粉,在工业上亦有成熟的工艺。国内已有多套自制和

引进的生产设备(表 2)。

用气体雾化生产高温合金和铁合金粉是近 20 年才发展起来的,如美国 Worl-Tech 金属和复合材料公司有四座快速凝固合金粉末厂,产品有镍基合金、钎焊合金及工具钢粉,1985 年产量 250t,有先进的程控惰性气体雾化系统。美国气体雾化法生产高温合金和铁基合金粉的部分厂家见表 3。

表2 国内气体雾化生产铜及其合金粉的单位

单位名称	生产情况
冶金部钢铁研究总院	用 N ₂ 气生产铜合金粉
北京有色金属粉末厂	用空气和氮气生产 6-6-3, 7-7-3, 8-3 球形粉, 设计年产量 1000t, 1994 年产量 215t, 产值 726.7 万元。
上海中纺机粉末冶金制品公司	用雾化法生产锡青铜球形粉, 青铜粉
上海九凌冶炼厂粉末分厂 (原上海第二冶炼厂粉末厂)	空气雾化铜基合金粉, 每炉 30kg, 拟引进日本生产线。
重庆冶炼厂	空气雾化铅、锡及青铜粉
厦门粉末冶金制品厂	空气、氮气雾化铜及青铜粉, 引进德国设备, 设计年产 500t
武进铜粉冶金厂	气体雾化 6-6-3 青铜粉, 年产 280t, 设计年产 1200t
衡水有色金属粉末厂	气雾化铜基合金粉, 年产量 259t, 产值 768 万元

表3 美国气体雾化法生产高温合金和铁基合金粉的部分厂家

工厂或公司名称	雾化气氛	每炉(次)容量, kg	年产量, t
Alloy Metals	Ar 或 N ₂	9 × 10 ²	2.7 × 10 ³
Cameron 粉末系统	Ar	4.5 × 10 ²	2.7 × 10 ²
Carpenter Technology	Ar 或 N ₂	3.6 × 10 ²	2.3 × 10 ²
	水	9 × 10 ²	
宾夕法尼亚 Oakdale Crucible	Ar 或 N ₂	2.3 × 10 ³	5.4 × 10 ²
纽约 Syracuse Crucible	N ₂	1.8 × 10 ³	1.4 × 10 ³
Special Metals	Ar	9 × 10 ²	9 × 10 ² ~ 1.8 × 10 ³
Universal Cyclops	Ar 或 N ₂	90 或 270 或 900	1.8 × 10 ³

瑞典 Anval 公司拥有世界上最大的气体雾化制粉装置, 生产不锈钢粉达 9000t; Söderfors 厂生产氮气雾化高速钢粉达 4000t。

日本于 1979 年开始建立高温合金粉末生产线。原苏联早在 70 年代就已开展这方面的工作, 1974 年正式报导已制造和应用镍基粉末。德国早已有转让设备的能力。

在国内, 冶金部钢铁研究总院早在 60 年代就开始研制 N₂ 气雾化不锈钢粉及其制品。随后在高速钢、高温合金等方面做了大量的研究工作。1980 年从德国海拉斯公司引进真空熔炼氩气雾化制粉的全套装置。最近中美上海司太立有限公司从英国引进一条 Osprey 气体雾化生产线用于生产钴基合金粉。

中国科学院力学研究所从 1984 年开始气体雾化制粉机理和工艺的研究, 以及相应

的设备研制。近年来在真空熔炼高压气体雾化制粉技术及设备的研究方面取得了重大进展, 可用于工业化的批量生产, 且细粉收得率高, 粉末纯, 含氧量低。

3 真空熔炼高压气体雾化制粉设备

我所研制的此种设备具有投资省, 运行费用低等特点, 适合我国的国情。

3.1 主要设备

(1) 雾化塔。包括: 熔炼室, 保温室, 雾化室, 防爆装置, 气动插板阀和工作平台。

(2) 熔炼炉及电源。

(3) 保温炉及电源。

(4) 雾化器。

(5) 粉末收集系统。包括: 粗粉收集器,

细粉收集器,除尘器和风机。

(6)气源系统。包括:气体稳压调节器,高压气瓶或压力罐,高压管道及阀门。

(7)真空机组。包括:机械泵,罗茨泵或增压泵,扩散泵,真空阀及管道。

(8)冷却水供给设备。包括:供水分配器,水流显示器或报警器,水阀及管路。

(9)测量仪表及仪器。包括:微氧报警器,正、负压力表,真空测量仪,温度测量与控制仪。

(10)水、电、气操作台。

3.2 相关设备

(1)粉末的稀相输送与分级系统。包括:热交换器,选粉机及储料仓,旋风分级器及储料仓,除尘器,风机,中压罐,小真空机组,小真空罐。

(2)粉末的密相输送与包装系统。包括:密相输送机,料仓,包装机。

(3)气体的循环与回收系统。包括:气压平衡罐,高压压缩机及水冷系统,高压储气罐,气量调节器,过滤器,干燥器,高压管路及阀门。

(4)循环供水系统。包括:水泵,水箱,冷

却塔。

(5)辅助真空机组。包括:机械泵,罗茨泵。

(6)防停电、停水用的高位水箱。

该装置是一整套包括高真空熔炼,高压惰性气体雾化制粉设备的系统。用它可生产高质量的产品,若增加某些辅助设备,还可节省能源及提高效率。

本套装备既可生产一般金属(如铜)粉末产品,亦可生产含高活性元素(如稀土元素)的合金粉末。

用户可依据产品的性能要求和经济实力,对设备的运行方式做如下选择:(1)大气熔炼空气雾化;(2)大气熔炼,在保护气氛中用氮气或氩气雾化;(3)真空熔炼,在保护气氛中用氮气或氩气雾化。

当确定产品的产量之后,对设备的规模可做如下选择:(1)实验设备;(2)中型生产线;(3)大规模生产线。

当产品的品种和产量确定之后,对设备的自动化程度要求不同,则投资的规模将会有很大的差别。

XF125 摩托车离合器从动齿轮通过批产鉴定

XF125 摩托车离合器从动齿轮,系上海易初摩托车有限公司引进日本本田公司产品,属国际粉末冶金先进水平的代表产品。上海粉末冶金厂从 1992 年开始为 XF125 摩托车国产化配套。该零件具有截面积大,多孔,厚度薄,易产生变形等特点,同时齿轮精度、物理学性能要求高,齿面需高频热处理,给研制带来较高的难度。上海粉末冶金厂研制出的从动齿轮样品及随后提供的三小批共 2000 件从动齿轮顺利通过了上海易初摩托车有限公司 200h 强负荷耐久台架试验,性能达到了日本本田从动齿轮内控指标。产品经上易公司在生产线上试装车,装配质量及噪音等性能也都达到规定指标。

1995 年 12 月 26 日在上海粉末冶金厂召开了 XF125 摩托车离合器从动齿轮批产鉴定会。参加会议的有:上海汽车有限公司、上海易初摩托车有限公司、上海离合器总厂、上海材料研究所、上海冶金研究所、上海大学、上海内燃机研究所、上海合众汽车零部件公司及粉末冶金厂等单位共 40 名代表。与会代表认为:上海粉末冶金厂研制的 XF125 摩托车离合器从动齿轮各项技术指标达到日本本田公司同类产品的水平,工艺、工装能保证产品质量,可以代替进口零件,生产能力可以满足 35 万/年的纲领要求,该粉末冶金工艺在国内处于领先地位。鉴定委员会一致同意 XF125 摩托车离合器从动齿轮的批产鉴定。

(张立人)