

编者按:作者通过对粉末的流动性与对模具型腔充填性的研究,提出了设计预混合铁粉的装置和关于“搅拌型装粉靴”的建议。这些对提高粉末冶金零件生产中的压制速率和改进压坯内部密度分布的均一性都具有实用价值。因此,这项工作荣获日本“粉体与粉末冶金协会”2004 年度技术功绩奖。本文是作者的获奖讲演报告。承蒙作者和 JSPM 授权本刊译为中文刊载,特致以谢意。

## 注重流动性、充填性的粉末冶金用预混合铁粉的开发

関義和\*

(日本,(株)神戸制钢所,〒676-8670 高砂市荒井町新浜 2-3-1)

**摘要:** 压制生产率是粉末冶金生产过程中的一个重要课题。控制压制生产率的生产作业有:(1)粉末从料仓中的排出;(2)将粉末充填于模具型腔中。为了评定粉末的排出特性,设计了简易的粉末排出装置,用来测定铁基预混合粉的临界流出径。已证明临界流出径和料仓中粉末的流动型式密切相关。在将粉末充填于模具型腔内的作业中,发现将空气从模具型腔内排出是一个重要现象。与常规装粉靴相比,可将空气加速从模具型腔中排出的“搅拌式装粉靴”,能够提高装粉速率和减少粉末压坯重量波动。

**关键词:** 流动性;装粉靴;无偏析粉末

### Development of iron based pre-mixed powder improved flowability and filling-ability in PM manufacturing

Yoshikazu Seki

(Kobe Steel, Ltd., 2-3-1 Shinhaman, Araricho, Takasago 676-8670, Japan)

**Abstract:** One of the most important subjects in the PM manufacturing is productivity of compacts. There are two processes that are controlling productivity in PM manufacturing. (1) Discharging of powders from the hopper. (2) Filling of powder into the die cavity. To evaluate the discharging characteristics of powders, the simplified discharging equipment was designed to measure the critical discharging diameter of iron based pre-mixed powder. The critical discharging diameter showed good relation to flow patterns of powders in the hopper. In the die filling process, the air release from the die cavity was found to be important phenomena. “Agitating shoe” which can accelerate the air release from the die cavity was able to increase the filling rate and decrease the weight variation of compacts compared to a conventional feed shoe.

**Key words:** flowability; feeding shoe; segregation-free powder

2002 年度日本铁粉产量约 20 万吨,其中用作烧结机械零件原料粉的铁粉(包括出口)约占 70%,如图 1 所示<sup>[1]</sup>。烧结机械零件的制造过程是,将原料粉铁粉或合金钢粉与辅料,诸如合金添加剂、石墨、润滑剂等进行混合,然后将粉末混合粉充填于模具型腔中,在压机上加压成形,经烧结炉内烧结而制成。

将铁粉与辅料进行混合时,由于石墨粉、润滑剂等粉末和铁粉相比,粒径小、比重轻,在混合中存在扬尘问题。再者,在将混合粉充填于模具型腔的过程中,当混合粉从料仓排出时存在石墨粉等偏聚的问题。为了解决这些课题,使用以粘结剂将石墨等粘附于铁粉颗粒表面的无偏析铁粉<sup>[2]</sup>。图 2 示出了在

\*関義和,主席研究员。E-mail:sekiy@kobelco.co.jp

收稿日期:2006-02-27

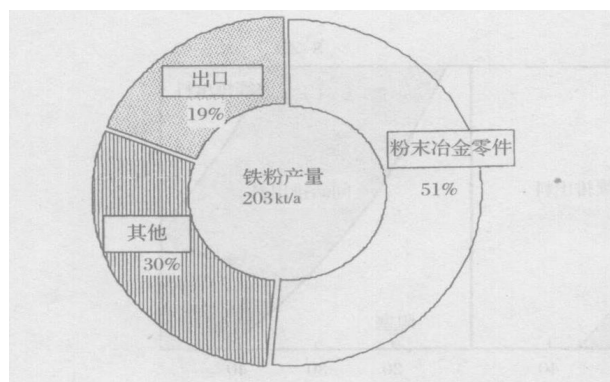


图 1 日本 2002 年铁粉出货量

神户制钢所粉末冶金用铁粉中无偏析铁粉占有的比率。无偏析铁粉的使用比率有逐年增高的趋向,现在约占烧结用原料粉的 60%。

近年来,伴随着烧结机械零件高强度化、形状复杂与薄壁化的进展,原料粉的复合化也提升了对可操作性较高的粉末的要求。

再者,鉴于对烧结零件低成本化的要求,对改善烧结用原料粉特性的要求也在提高。

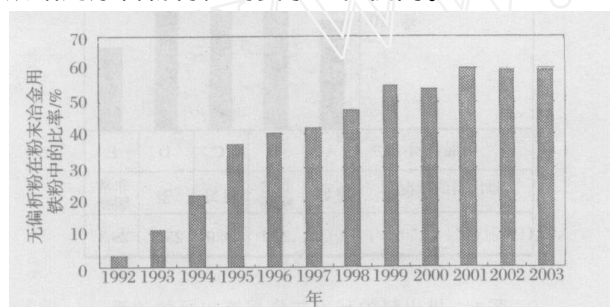


图 2 神户制钢所粉末冶金用铁粉中无偏析粉占有的比率

从原料粉的角度考虑,用于烧结的粉末的课题为:提升压机的生产率;提高制品的质量。关于提升压机生产率,可改进粉末对模具型腔的充填性和对复杂形状、薄壁零件模具型腔的充填性。而关于提高制品质量,可减小成形坯重量偏差和减小零件各部位间的密度差。可是,对于上面要求的这些特性,尚未确定评价粉末的方法,现在是通过现场实际进行评价。

为此,讨论了以原料粉流动性为中心的粉末评价方法。还调查了以粉末充填模具型腔用的机构,提出了改善充填方法的建议。

## 1 对流动性评价方法的研讨

向来是用测定流动度作为评价流动性的代表性评价方法。这是一种最一般的评价方法,是以 50g 粉末从漏斗中流出的时间来表示。可是,现状是流动度良好的粉末不一定和用户的现场实际评价一致。另外,可将用户对流动性的评价分为二种:从料仓的排出性和对模具型腔的充填性。因此,分别从自料仓的排出性和对模具型腔的充填性两方面对粉末的流动性进行了调查。

### 1.1 从料仓的排出性<sup>[3]</sup>

为了调查从料仓的排出性,制作了图 3 所示的二次元 AkuRiRu 制试验料仓。料仓在构造上使底部的角度和排出宽度都可以改变。用这种装置试验了各种粉末,通过流动的可视化来评价粉末的流动。图 4 示出了代表性的可视化试验结果。料仓内粉末的流动由于添加润滑剂而受到很大影响。料仓的角度越大和排出口的宽度越宽,粉末的流动性就越好。表 1 为添加与未添加粘结剂的代表性预混合铁粉和以流动度代表的粉末特性,通过可视化试验得到的流动特性。流动度和流动的特性不一定一致。

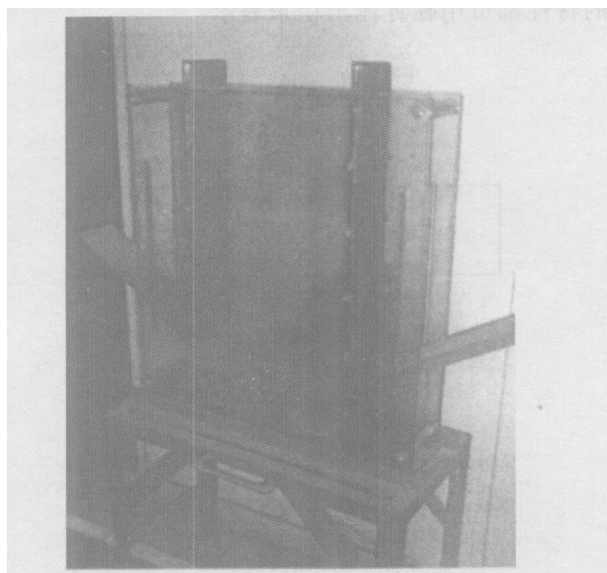


图 3 试验料仓

表 1 预混合粉的特性

润滑剂		粘结剂	松装密度 / (g cm <sup>-3</sup> )	自由流速 / [s ·(50g) <sup>-1</sup> ]	排出料 状况
A	硬质酸锌	未添加	3.30	30.4	良好
B	硬质酸锌	添加	3.50	22.1	非常顺畅
C	石蜡	添加	3.20	26.0	良好
D	石蜡	添加	3.14	25.8	差
E	石蜡	添加	3.66	29.3	非常顺畅

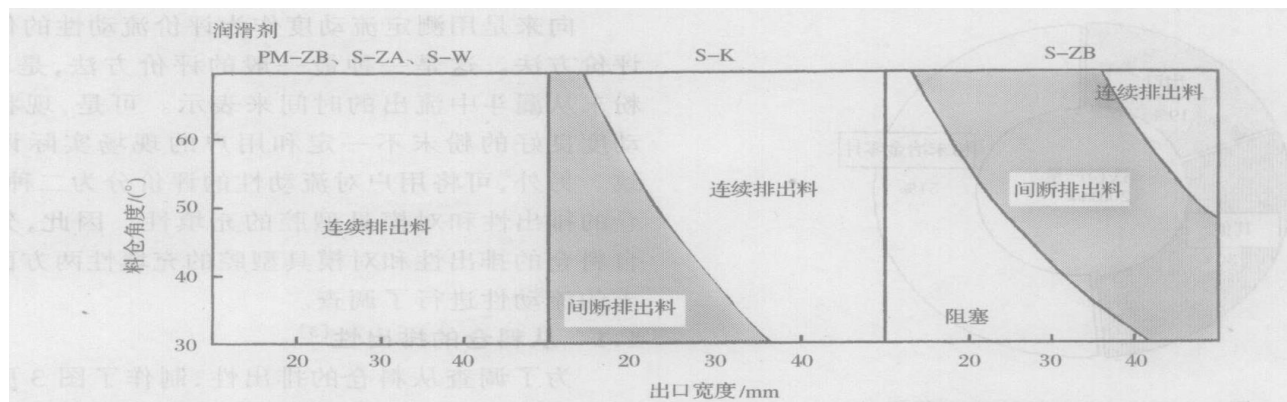


图 4 试验料仓排出料的可视结果

用图 5 所示的排出性评价试验机考察试验料仓的排出口宽度对粉末流动特性的影响。试验机是由装入粉末的容器和位于其下部的有各种排出径的闸门构成。把粉末装入容器内,将粉末流出的最小排出径定义为临界排出径。

对各种粉末的临界流出径测定的结果和粉末的特性示于图 6。流动特性,特别是排出性差的粉末的特性都可用临界流出径来表示。

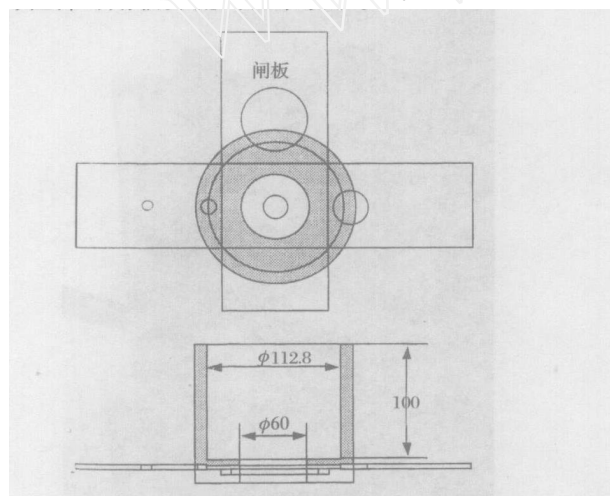


图 5 评价粉末流动性的装置

也可借助测定粉末层的附着力来评价粉末的流动性。可通过测定对粉末层施加的垂直应力和粉末层的剪切应力的关系来测定附着力。用三协 PaIoT Ku (株) 的 PTHN-13BA 型粉末层测试仪可测定粉末附着力。粉末附着力的测定原理和附着力与临界流出径的关系示于图 7。从这个结果可看出临界流出径与附着力间的良好关系,所以,可考虑以临界流出径来代表附着力。因此,可通过测定简易临界流出径来评价粉末从料仓的排出性。现在,神户

制钢所就是利用这种装置设计预混合铁粉的配制。

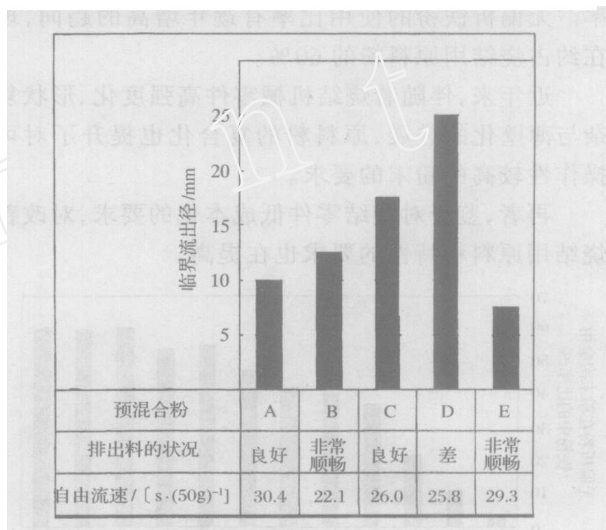


图 6 排出料的状况与临界流出径的关系

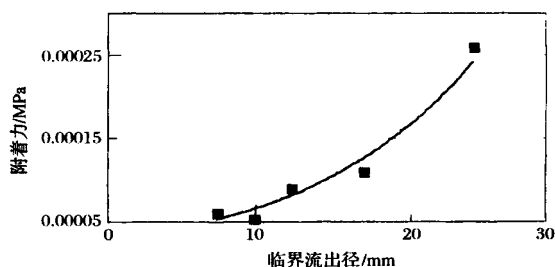


图 7 临界流出径与附着力的关系

## 1.2 对模具型腔充填性的评价<sup>[4-5]</sup>

为了模拟从装粉靴到将粉末充填于模具型腔内的过程,制作了图 8 所示的模具型腔充填性评价试验机。装粉靴由气缸驱动,模拟模具的容器置于其下部。

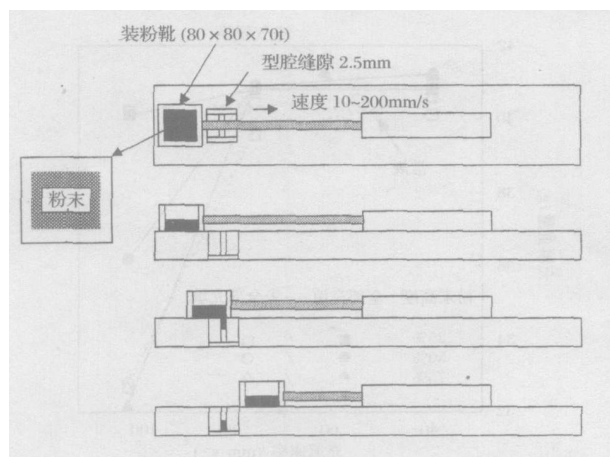


图 8 模具型腔流动性试验装置示意图

在装粉靴速度为 100mm/s 的条件下,测定了用窄缝宽度为 2.5mm 的模具,通过一次行程充填于容器内的粉末量,将每一单位横截面积的重量定义为充填度。图 9 示出了临界流出径与流动度关系的测定结果。用流动度和临界流出径哪一种粉末特性都可评价充填性。特别是通过窄缝宽度可使充填度进行不同的变化。因此,认为充填性不仅仅是粉末的特性,而且受到模具形状与充填方法的影响。所以,为了调查充填机理,通过变更电动机驱动装粉靴的运转,调查了各种运转方法下粉末充填度的变化。

图 10 示出了使用圆筒状(外形 30mm,内径 20mm)模拟模具型腔运转的方法,调查了使模具进行振动与否、在模具上停止等对充填度的影响。

现将 1 例测定结果示于图 11。从图 11 可看出,装粉靴在模具上滞留的时间长时,粉末的充填量

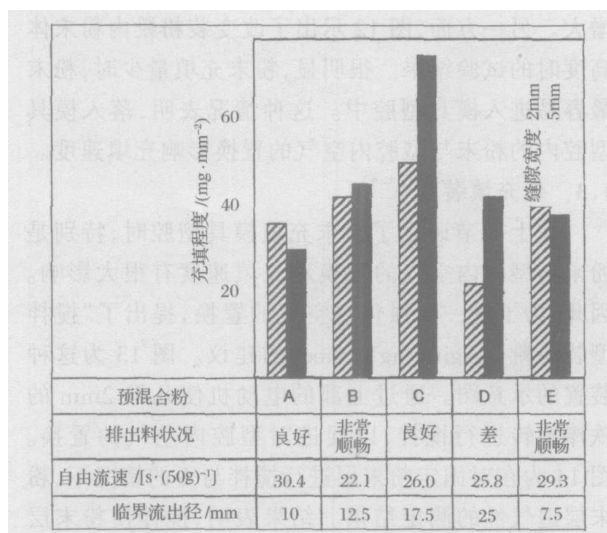


图 9 充填程度与粉末特性的关系

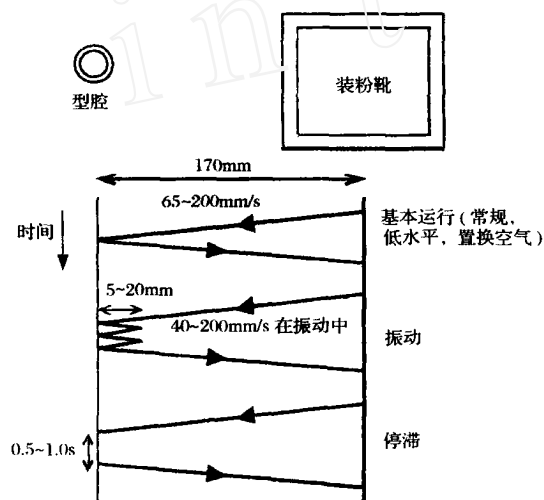


图 10 装粉靴的运行

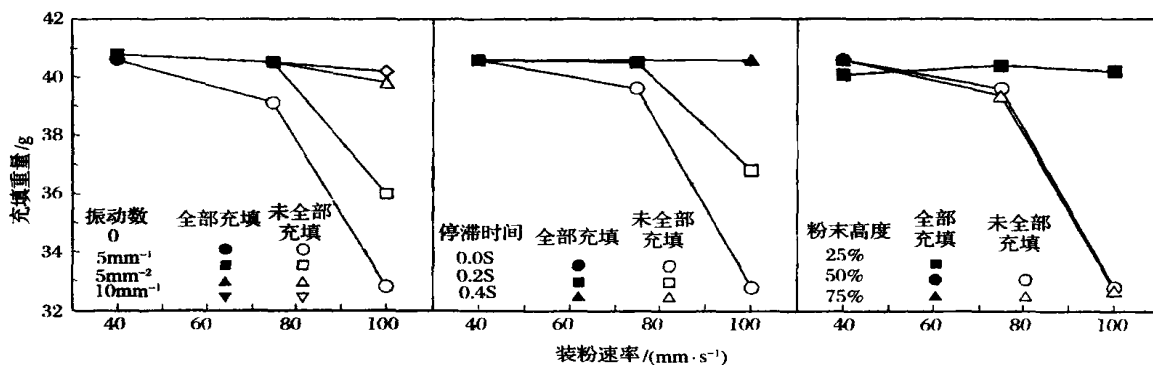


图 11 充填条件对粉末充填模具型腔的影响

增大。另一方面,图 12 示出了改变装粉靴内粉末体高度时的试验结果。很明显,粉末充填量少时,粉末最容易进入模具型腔中。这种情况表明,落入模具型腔内的粉末与型腔内空气的置换影响充填速度。

### 1.3 新充填装置<sup>[6-7]</sup>

在上一节确定了粉末充填模具型腔时,特别是粉末与型腔内空气的置换对充填速度有很大影响。因此,为了进一步强化对空气的置换,提出了“搅拌型装粉靴”(Agitating-shoe)的建议。图 13 为这种装置的示意图。通过上部的电动机使几根 2mm 的铁棒旋转进行搅拌,以促进对型腔内空气的置换。图 14 为在对固定粉末层进行搅拌与否的情况下,粉末层透气性的测定结果。结果表明,搅拌使粉末层的透气性减小。

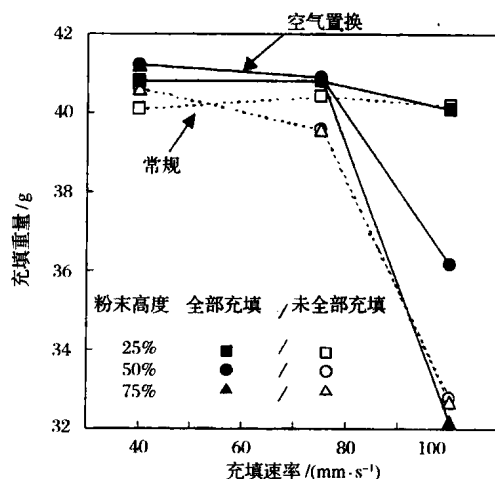


图 12 装粉靴内粉末高度对粉末充填模具型腔的影响

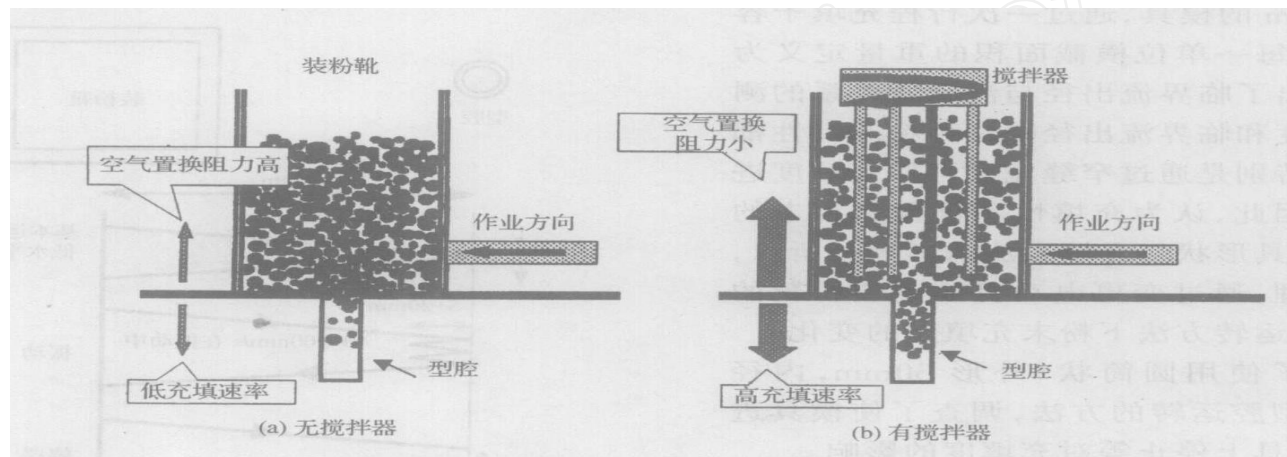


图 13 “搅拌型装粉靴”示意图

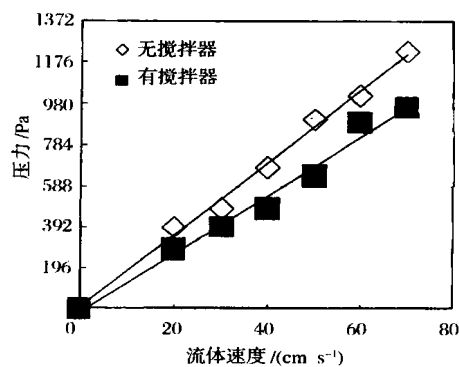


图 14 粉末层透气性的比较

将“搅拌型装粉靴”装在实际使用的压机上,用无偏析铁粉进行了压制成形试验。在压制速率快的情况下,可将粉末全部充填于型腔中。将可充填的

最大速率定义为最大装粉量 (MSPM: Maximum shot per minute)。图 15 为装有和未装“搅拌型装粉靴”场合的 MSPM。通过搅拌可增高 MSPM。特别是对于充填性差的粉末 C,改善效果明显。在 1 min

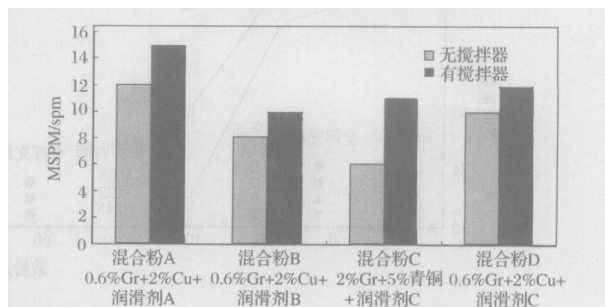


图 15 有与无“搅拌型装粉靴”的 MSPM (maximum shot per minute) 的比较

装粉 10 次的一定条件下连续进行压制成形时,成形坯重量的变化示于图 16。与搅拌的场合相比,不搅拌的成形坯重量较低。再者,旋转速度大于 150r/min 时,成形坯重量减低。图 17 示出了成形坯重量的变化率。在旋转速度为 20r/min 的场合,得到的成形坯重量偏差最小。图 18 为 1 件成形坯上不同部位的密度分布。在不搅拌的场合,在装粉靴行进的方向密度高,而两个侧面的密度低。可是,通过进行搅拌,可改善这种状况,即可减小各部位间的密度差,获得均质化效果。显然,这不仅可增高装粉速率,而且可使零件各部位的密度均质化。

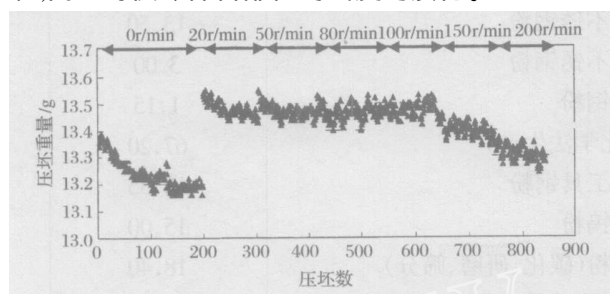


图 16 旋转速度对压坯重量的影响

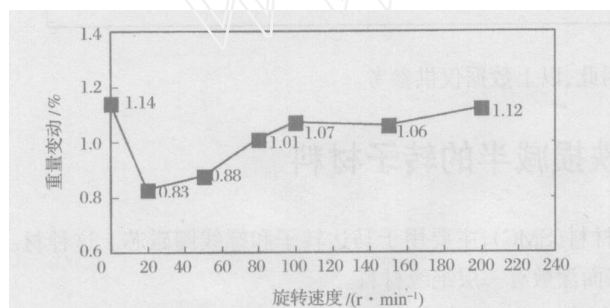


图 17 旋转速度与重量变动的关系

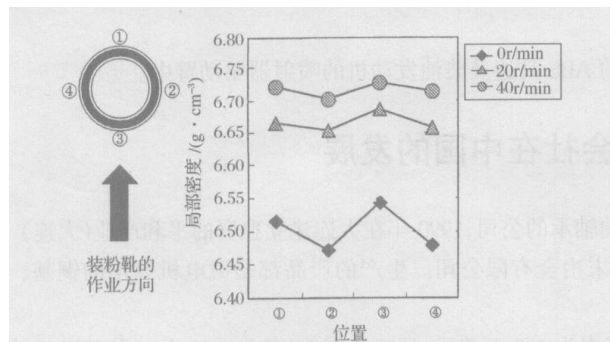


图 18 压坯的局部密度

## 2 结束语

在粉末冶金零件生产中,粉末的流动性不仅对生产效率,而且对制品品质来说也是一个重要因素。在本报告中,依据从料仓的排出性和对模具型腔的充填性,对粉体的流动性分别进行了评价。

粉末从料仓的排出性受其附着力的影响,关于这项评价,可用简易的排出性评价试验机进行。

对模具型腔的充填性因粉末的充填方式而异,特别是,确定了模具型腔内空气和粉末的置换影响充填的速率。

另外,提出了促使模具型腔空气置换的“搅拌型装粉靴”的建议。通过实机试验不仅提高了生产效率,而且实现了压坯各部位密度均质化。

## 致谢

最后,在这次获奖之际,对本协会诸位先生的推荐,和对协助这些技术开发的本公司的各位参与者的协助深表感谢。

## 参考文献

- [1] J.P.M.A. Annual Report, 2004, 3
- [2] Takai D, Yoshioka K, Kagawa A, et al. Development of technology for mixed powder free from segregation and dusting. Kobe Steel Engineering Reports, 1994, 44: 10 - 13
- [3] Sawayama T, Seki Y. The evaluating method of powder flowability. Abstracts of Spring Meeting of Japan Society of Powder Metallurgy, 1996, 29
- [4] Sawayama T, Seki Y. The effect of filling conditions on die filling. Abstracts of Autumn Meeting of Japan Society of Powder Metallurgy, 1997, 103
- [5] Sawayama T, Seki Y. The effect of filling conditions on die filling. Advances in Powder Metallurgy & Particles Materials, 1999, 2 - 6
- [6] Hashimoto Y, Murakami M, Seki Y. Improvement of die filling by “Agitating - shoe”. Proc. of 2002 Word Congress, 2002, 247 - 252
- [7] Hashimoto Y, Murakami M, Seki Y. Improvement of die filling by “Agitating - shoe”. Abstracts of Autumn Meeting of Japan Society of Powder Metallurgy, 2002, 26

韩凤麟译自日本“粉体 および粉末冶金”, 2005, 52(7): 503 - 510