

轻烧菱镁矿与含铁物料混合粉体的内摩擦角的研究

刘永杰, 孙杰, 王景, 沈远盛

(济南大学 材料科学与工程学院, 山东 济南 250022)

摘 要:以轻烧菱镁矿粉、氧化铁磷及铁精矿粉作为原料,以杠杆式等应变剪力仪及其它测试仪为测试手段,探讨了该混合粉体的内摩擦角变化对机压制品的成型性能的影响。研究发现:该类混合粉体的内摩擦角随着混合物料第二组分的种类、含量变化而改变,即混合物料的内摩擦角随第二组分原料的内摩擦角增加而增加,也随第二组分的含量增加而增加,而且混合粉体的内摩擦角处于混合物料各原料内摩擦角之间。从坯体的成型性能上来看,混合物料的内摩擦角越大,成型后坯体的体积密度就越小,坯体的烧成收缩也越大。

关键词:粉体;流动性;内摩擦角;坯体性能

中图分类号:TB302 **文献标识码:**A

文章编号:1008-5548(2004)04-0024-04

Research on Internal Friction Angle of Mixed Powder of Light Burned Magnesia and Materials Containing Iron Oxide

LIU Yong-jie, SUN Jie-jing, SHEN Yuan-sheng

(School of Material Science and Engineering, Jinan University, Jinan 250022, China)

Abstract: The lever shear stressometer and other equipments are used to investigate the influence of the internal friction angle on the press-forming performance of mixed powders consisted of light burned magnesia with iron-containing oxides (iron oxide or fine iron mineral powder). The results show that the internal friction angle of the mixed powders will be increased both with the increase of the content and the internal friction angle of the second component. The internal friction angle of a mixed powder is between the values of each component. As far as the forming performance of mixed powders is concerned, the larger the internal friction angle of a mixed powder is, the lower the volume density of a green body is, and the more the green body contracts after the sintering.

Key words: powder; mobility; internal friction angle; performance of green body

轻烧菱镁矿粉是合成尖晶石、高铁镁钙砂、高铁镁砂及白云石的主要原料^[1],它与相关的粉料混合后用压机成型为密度较高的荒坯经高温煅烧制成。

因此,在合成这些原料时要求混合粉体具有较好的流动性,以提高产品的性能。混合粉体的某些特性对生产过程来说具有很重要的意义,特别是流动性、表面物理化学性质等,混合粉体的流动性在这个过程显得尤为重要。混合粉体的流动性是粉体的表面特性的反映,如范德华力、静电力等,还有粒度、粒度分布、颗粒形态、表面摩擦力及湿度等,其中任何一种因素均能引起反映粉体流动性好坏的内摩擦角的变化^[2]。目前,对粉体的流动性的应用研究主要是在医药方面尤其是西药中对分散剂混合工艺作用中较多^[3],但在硅酸盐材料的领域里还没有在定型制品的成型中得到应用,流动性对制品成型性能的影响还未见报道,例如流动性对制品成型后的烧成收缩、体积密度、吸水率、耐压强度等性能的影响等。因此,本文中在这方面进行一些探讨,以期对实际生产起到一定的指导作用。

1 试验部分

1.1 试验内容

1.1.1 试验所用原料的性能

针对轻烧菱镁矿粉与其它粉体原料混合生产所需的制品过程中,粉体磨擦特性对制品的成型性能的影响,试验中以镁-铁质耐火材料生产为例^[4],采用的原料是轻烧菱镁矿粉、氧化铁磷粉和铁精矿粉。各原料的化学成分见表1所示。各原料的物理性能为:所用原料的粒度为180目筛余小于10%,各物料的含水量小于2%,轻烧菱镁矿粉的体积密度为2.9 g/cm³,氧化铁磷粉的体积密度为5.1 g/cm³,铁精矿粉的体积密度为5.6 g/cm³。

1.1.2 混合粉体内摩擦角的试验

为了研究混合粉体及不同混合料配比对混合粉体内摩擦角的影响,以及内摩擦角对制品成型性能的影响,首先分别测得各个原料的内摩擦角,然后,将3种原料分成两个试验组:一是以轻烧菱镁矿和氧化铁磷混合物料用为一个试验组,并将此体系组

收稿日期:2004-02-23

第一作者简介:刘永杰(1957-),男,副教授。

表 1 试验所用原料的化学组成

组成	w(MgO)	w(SiO ₂)	w(Fe ₂ O ₃)	w(CaO)	w(Al ₂ O ₃)	w(K ₂ O)	w(Na ₂ O)	合计
菱镁矿粉	87.48	8.53	2.62	1.37				100
铁精矿粉	4.54	7.39	82.03	2.80	1.66	0.14	1.44	100
氧化铁鳞粉	1.08	1.03	94.55	1.88	3.72			100

分成了 4 个配方 (见表 2); 二是以轻烧菱镁矿和铁精矿混合物料作为一个试验组, 也将该组分 4 个配方, 各种配方的百分含量见表 3。最后再分别对不同的混合物的不同配比的内磨擦角进行测试。

1.2 试验过程

1.2.1 试验仪器、设备

混合粉体的摩擦角采用杠杆式等应变剪力仪; 制品成型采用万能试验机, 混合粉体的粒度采用试

表 2 轻烧菱镁矿和氧化铁鳞混合物料

配比	w(MgO)	w(SiO ₂)	w(Fe ₂ O ₃)	w(CaO)	w(Al ₂ O ₃)	w(K ₂ O)	w(Na ₂ O)	合计
1-1(87% MgO)	76.70	7.62	12.94	1.56	0.22	0.018	0.19	100
1-2(89% MgO)	78.36	7.09	10.75	1.53	0.18	0.015	0.16	100
1-3(91% MgO)	80.02	8.74	8.64	1.51	0.15	0.013	0.13	100
1-4(93% MgO)	81.67	9.56	6.97	1.48	0.12	0.010	0.10	100

表 3 轻烧菱镁矿和铁精矿混合物料

配比	w(MgO)	w(SiO ₂)	w(Fe ₂ O ₃)	w(CaO)	w(Al ₂ O ₃)	w(K ₂ O)	w(Na ₂ O)	合计
2-1(87% MgO)	76.32	12.08	9.01	1.44	0.48	0.23	0.44	100
2-2(89% MgO)	78.04	11.34	8.22	1.43	0.41	0.19	0.37	100
2-3(91% MgO)	79.83	10.77	7.20	1.41	0.33	0.16	0.30	100
2-4(93% MgO)	81.48	10.29	6.19	1.42	0.26	0.12	0.24	100

验用套筛。

1.2.2 摩擦角的测定

利用粉体层内部的应力-应变关系, 在杠杆式等应变剪力仪上按照试验方法对各粉体的内摩擦角进行了测定。

试验所用的质量按下式计算

$$m = V \cdot \rho (1 - \varepsilon) = \pi / 4 D^2 H \rho (1 - \varepsilon)$$

式中, m 为试样质量, g ; D 为剪切盒内径, mm ; H 为剪切盒有效高度, mm ; ρ 为试样密度, g/cm^3 ; ε 为空隙率, %; V 为剪切盒有效体积, cm^3 。每种物料所测得的试验结果按加的质量与水平剪应力的对应关系, 见图 1(图中为轻烧菱镁矿粉与氧化铁鳞的混合物料)。

试验所测得各原料及混合物摩擦角换算公式为^[5]

$$\theta = \arctg (F / 10 W)$$

式中, F 为试验所施加的水平剪切力, MPa ; W 为砝码重力, N 。

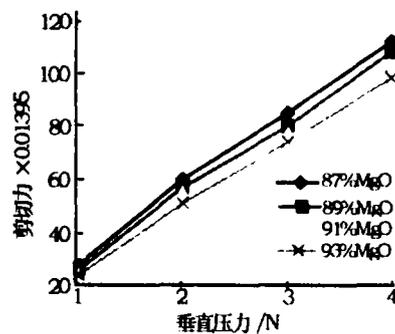


图 1 混合粉体在垂直力与水平应力作用下的关系

2 结果与讨论

2.1 各物料的内摩擦角

为了探讨不同配比混合粉体的内摩擦角对成型性能的影响, 试验中首先对各原料的内磨擦角进行了测定, 结果是: 轻烧菱镁矿粉的内磨擦角为 16.6°, 氧化铁鳞的内磨擦角为 50.7°, 铁精矿粉内磨擦角为 52.4°。很明显, 轻烧菱镁矿粉的内磨擦角远远小于铁精矿粉和氧化铁鳞的内磨擦角。由此可以

认为：在所选择的粉体中轻烧菱镁矿粉是一种软性粉体材料，它本身在力的作用下产生的剪应力较小。因此，这种粉体材料在模具中成型受压后压力的传递性较好，容易使其颗粒发生位移。与之相比，两种含铁的粉体原料的内摩擦角都较高，具有较强的抵抗剪应力的能力。所以，它们均是机压成型过程中的高阻压性粉体材料，如果这种材料单独用来成型时必然需要较大的成形压力来保证坯体性能的要求。这种现象在实际生产中也表现的很明显，当只用轻烧菱镁矿粉来做制品时，可在小压力机上成型，且模具的磨损也比较轻，反之亦然。

2.2 混合物的配方不同对其摩擦角的影响

对各原料的内摩擦角研究是研究混合粉体受力流动的前提，为了进一步的研究不同配比的混合粉体的内摩擦角变化，在试验过程中，进行了4种不同配比情况下的内摩擦角测定，其配比(表中是轻烧菱镁砂质量分数)及结果如表4、5所示。

表4 轻烧菱镁矿和氧化铁磷体系的内摩擦角

w(MgO)/%	87	89	91	93
摩擦角/(°)	21.22°	20.33°	19.84°	18.76°

表5 轻烧菱镁矿和铁精矿体系的内摩擦角

w(MgO)/%	87	89	91	93
摩擦角/(°)	24.56	23.23	22.68	20.93

从表中可以看出：随着轻烧菱镁矿粉的质量分数的增加，两种含铁不同的混合物的内摩擦角从21.42°减小到18.76°及从24.20°减小到20.93°，其内摩擦的减小程度分别为14.17%和15.62%。相反，不管是那种含铁原料，其量的增加混合物的内摩擦角均在增加。另外，从这组数据还可以看出：尽管含铁原料对以轻烧菱镁矿粉为主要原料的混合物的内摩擦角有很大的影响，但其增加值不尽相同。这主要表现在：虽然两种混合物的配比相同，但第二组分不同时混合物的内摩擦角也不同。例如：同是轻烧菱镁矿粉为87%和含铁物为13%的混合粉体，由于含铁物料不同其内摩擦角也不同。含氧化铁磷的混合物其内摩擦角为21.42°，含铁精矿的混合物的内摩擦角为24.20°。也就是说：对于两种内摩擦角不同的混合粉体来说，当混合粉体中的第一主原料一定时，第二组分原料(没有其它第三组分情况下)的内摩擦角对混合体的内摩擦角影响

较大(如图2所示)，并且混合粉体的内摩擦角介于所用两种原料之间；混合粉体的内摩擦角的增减随第二相物料粉体的质量分数增减而增减。

另外，对该类混合粉体来说，虽然两种含铁粉体原料的内摩擦角只相差13%，但它们与轻烧菱镁矿粉的混合粉体的内摩擦角变化也相差约13%。这是一个十分有意义的数据，也就是说，在选取原料时除了注意选择保障制品的化学性能外还要比较其原料的流动性，选择流动性较好的原料，以保证制品的成型性能。

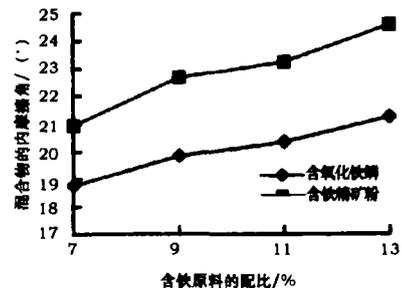


图2 混合粉体的内摩擦角随第二物相含量的变化

2.3 混合粉体的内摩擦角对制品坯体性能的影响

图3是两种内摩擦角不同的混合粉体在同一个成型压力(250kN)下，坯体的成型体积密度随内摩擦角大的第二相粉体原料的质量分数变化的试验结果。内摩擦角为(18.76~21.42°)的一组混合粉体，成型后的体积密度为(2.293~2.261g/cm³)，而内摩擦角大(20.93~24.20°)的一组混合粉体成型后的体积密度为(1.776~1.808g/cm³)，两者的体积密度相差0.485g/cm³，相距为27.3%。这个试验结果明确表明了混合粉体的内摩擦角大小对成型坯体密度的影响趋势。而这个差距对体积密度要求较高的镁铁质耐火材料生产来说是一个相当可观的数据，它也反映出成型时坯体的压缩量与内摩擦角的关系。也就是说，对镁-铁质耐火材料的生产来说，

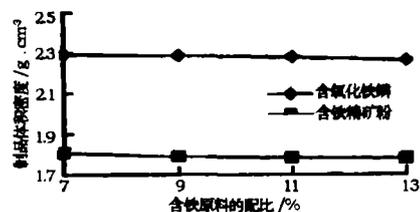


图3 不同内摩擦角粉体成型后体积密度变化

如果在所选原料范围允许的情况下,从提高制品的体积密度来提高产品的性能的角度出发,那么所选用的第二相原料的内摩擦角应该越小越好。这样混合粉体在机械压力的作用下,在其混合界面上就可获得较小的剪切应力而有利于压应力的传递,使粉体颗粒加速移动,从而提高坯体的成型密度。

另外,烧成后的制品线收缩结果如图4所示。这个结果是在烧成温度为1550℃的同一温度、同一个烧成时间下烧后所测得的不同配比的收缩。这个结果表明,内摩擦角大小反映了混合粉体在成型过程中受压而产生流动的效应,即是内摩擦角大的混合粉体烧后线收缩大于内摩擦角小的混合粉体的烧后线收缩,也进一步的表明了内摩擦角大小对坯体成型性能影响。这对制品烧成过程中保持体积稳定和制品成型时的缩放尺具有指导意义。

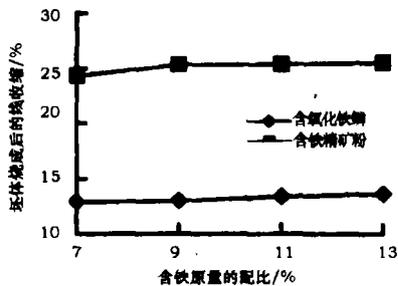


图4 不同内摩擦角的混合粉体成型后的烧成收缩

3 结论

通过本次试验,我们可以得出如下结论:

(1) 影响混合粉体的内摩擦角的因素与混合粉体内各原料粉体的内摩擦角有关,原料的内摩擦角越大,则混合后的粉体的内摩擦角也越大,混合物料的流动性也就越差。原料的内摩擦角越小,则混合后的粉体内摩擦角也就越小,混合后的物料的流动性也就越好。

(2) 混合粉体的内摩擦角处在两种粉体的内摩擦角之间,并随混合粉体中第二相粉体的含量增减而增减。

(3) 混合粉体的内摩擦角对成型过程以及成型以后坯体的性能影响是:内摩擦角数值低的混合粉体其流动性较好,在机械压力的作用下,在其混合界面上就可获得较小的剪切应力而有利于压应力的传递,使粉体颗粒加速移动,从而提高坯体的成型密度。反之,机压成型所得的坯体密度较小。

参考文献:

- [1] 王维邦. 耐火材料工艺学[M]. 北京:冶金工业出版社,1984. 6.
- [2] 陆厚根. 粉体技术导论[M]. 上海:同济大学出版社,1998.
- [3] 袁劲松,汤翠娥,王奇成. 粉体休止角 α 对散剂混合工艺指导作用的探讨[J]. 中国药房,1994,(6):18-19.
- [4] 刘永杰,孙杰,王景,王英姿,等. 高铁镁砖的研究[J]. 耐火材料,2003,37(4):200-202,207.
- [5] 田野. 应用摩擦角分析物体临界平衡问题[J]. 青海大学学报(自然科学版),2001,19(1):85-88.

书刊邮购信息

《超细粉体技术》由南京理工大学超细粉体与表面科学技术研究所李凤生教授(博士生导师)等编著,由国防工业出版社出版,获国防出版一等奖。

定价:38.00元,包装邮寄费7.00元(挂号)共计45.00元。

《中国粉体技术》(双月刊)1999、2000、2001、2002、2003年合订本,每套45.00元(免邮费)。另有1997、1998年过刊,每套20.00元(内部资料,季刊),1999、2000、2001、2002、2003年过刊,每套30.00元,均免收邮费。

邮购地址:山东省济南市济微路106号中国粉体技术杂志社

电话:0531-7154935, 2765659 传真:0531-7154935 邮政编码:250022