

考虑回弹的高紧实度型砂本构关系

Constitutional Relation on The Nigh Compact Molding Sand With Sprirg-Back

白秉三¹, 闫玉茹¹, 王旭², 谢祖锡²

(1.沈阳工业大学建筑工程学院, 沈阳 110023;

2.沈阳工业大学材料科学与工程学院, 沈阳 110023)

摘要:在砂型紧实度提高的同时,由此所产生的型砂回弹改变了型腔尺寸,引起铸件尺寸的变化,成为制约铸件精度和质量的重要因素。必须对高紧实度造型用湿型粘土砂的回弹机理进行深入的研究。根据大量的实验数据,拟合成高紧实度型砂的本构关系曲线,为进一步认识砂型回弹规律和提高铸件精度提供了力学依据。

关键词:砂型;回弹;本构关系

中图分类号:TG242;**文献标识码:**A;**文章编号:**1006-9658(2005)02-03

Abstract:According to a great deal of experimental data, the curve of constitutional relation on high compact mold sand has been drawn up, hence a mechanical basis for knowing the law of spring-back of the sand mold and heightening the precision of the casting.

Keywords: Sand mold; Spring-back; Constitutional relation

1 前言

回弹是卸除作用在砂型上的外力时,砂型所产生的一种变形。随着铸造生产技术的进步和高紧实度造型方法(包括高压造型、射压造型、气冲造型等)的广泛应用,回弹引起人们的高度注意。高紧实度砂型在运型、合型、浇注过程中,变形小,损坏少,所得铸件尺寸精度高,表面质量好,废品少。然而,高紧实度造型所产生的回弹量无法准确预测成为阻止铸件精度进一步提高的障碍,对于发展净形和净形铸造成型新工艺、发展精确铸造先进制造技术更是如此。

一些学者对高压造型的回弹进行了研究。研究^[1-4]指出:回弹随着压实比压的增加而增大,大的回弹引起铸件型腔尺寸的变化,影响铸件的精度。对于气冲造型的回弹,国内外研究的人尚不多,所见文献甚少。研究^[5,6]表明:气冲造型的回弹比高压造型的回弹相对小些。国内外对砂型回弹问题的研究,基本尚处于静态测量、概略分析的状态:即用千分表测量砂样(或砂型)卸载后的回弹量,然后凭这些静态测量值的大小来分析或说明回弹与紧实方法及某些工艺因素的关系,缺乏对回弹形成过程及

其机理的探讨。可以说砂型回弹成为影响高紧实度造型和铸件精度不可忽视的因素,回弹量的预测是一个急需解决的问题。本文对高紧实度型砂的本构关系作了初步的研究,是将在一定紧实方式与紧实条件下所制作的 $\phi 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的标准试样置于加压机构上,测得回弹变形量。拟合成高紧实度型砂的本构关系曲线,为进一步认识砂型回弹规律和提高铸件精度提供了力学依据。

2 砂型回弹的测定及分析

2.1 试验用型砂的原材料及其配制

试验用的新砂为内蒙古大林标准砂,牌号为NBS55/100(0),规格如表1所示。

表1 大林标准砂粒度规格

筛号	28 以上	55	75	100	150	200 及 200 以上	含泥量
残留量%	<13	18~33	40~46	13~17	<8	<3	<0.5

粘土采用黑山膨润土粉(加入时未经烘干),为钙基膨润土。

混制方法:用实验室小型辗轮式混砂机混制。每次混砂量为6kg新砂。

混辗时间:干混4分钟,加水后湿混8min。

试验所用型砂为含膨润土的粘土砂。粘土砂配方为:新砂:膨润土:水=100:8:2.13。

2.2 试验设备

为了研究砂型在定比压下压实变形及卸载后的回弹变形,并记录下随时间变化的压力和砂样变

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50175075)

收稿日期:2004-12-16

文章编号:2004-206

作者简介:白秉三(1946-),男,教授,主要从事工程力学方面的教学和研究工作

形曲线,研制了一套气动机械加载试验设备,如图1所示。加压机构采用土工加压仪器——YS-1型高压压缩仪。在动态过程中压力的测定是通过安装在试样筒上的压力传感器(见图1中6)来实现的;砂样变形的测量是通过差动变压器式位移传感器来实现的(见图1中11)。因为型砂的蠕变和回弹数值均较小,一般为 10^{-2}mm 数量级,本试验选用高精度小量程的CWE-03F型位移传感器。

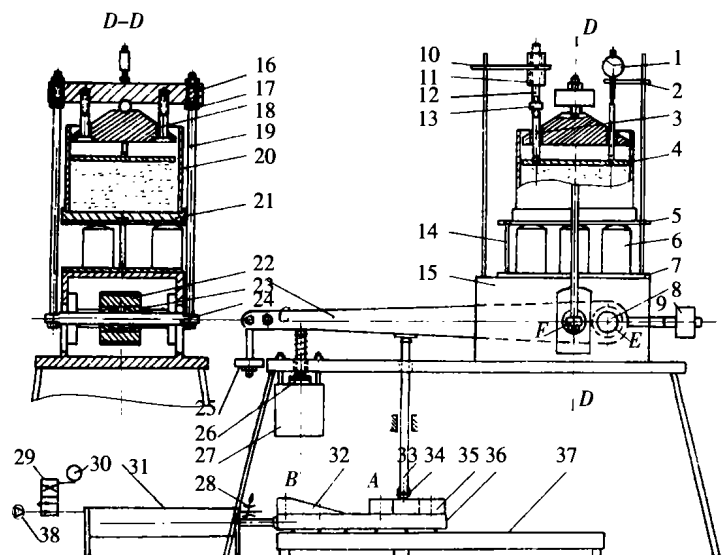


图1 加压机构示意图

- 1.百分表 2.支架 3.测量杆 4.测量板 5.上压板 6.压力传感器 7.下压板 8.称杆转轴 9.平衡锤 10.支架 11.位移传感器外壳 12.位移传感器铁芯 13.连接螺母 14.导向杆 15.压缩仪架体 16.横梁 17.调整套片 18.压头 19.拉杆 20.试样筒 21.底座 22.秤杆 23.调心轴承 24.拉杆转轴 25.砝码 26.调整垫 27.阻尼油缸 28.调速阀 29.换向阀 30.气压表 31.气缸 32.楔形块 33.操纵杆 34.滚轴 35.可调活块 36.上导轨 37.下导轨 38.气管

2.3 试验操作方法及步骤

试样的预压:鉴于位移传感器测量范围仅为0~6mm。而如果用中压或高压把一定量的松态型砂压成标准试样,其型砂的变形量远大于位移传感器的量程范围,而且型砂的变形量越大,杠杆式加载机构的冲击震动就越大。为了使型砂试样在压实时的变形量不超过位移传感器的量程范围,并尽量减少压实时加压系统的冲击、振动,试样需要进行预压紧实。预压紧实比压为 $2 \times 10^5 \text{Pa}$ 。预压改变了保压压实试验中型砂初始紧实度,因而对压实试验中试样的变形是有影响的。但是根据实际试验的结果来看,预压对所研究的保压过程中型砂砂粒之间的接触点粘塑性变形的影响并不大,对砂型的回弹影响也不大。

蠕变的测定:压力加于试样上,试样开始变形。加于试样上的压力很快就趋于一定比压,试样在定比压下继续保压压实。在加压过程中,压力的变化通过压力传感器——电桥盒——应变仪——光线示波器系统在记录仪纸上画出压力——时间曲线

$p-t$;与此同时,试样的变形由位移传感器——变送带——分流箱——光线示波器系统在纪录纸上画出变形——时间曲线 $s-t$ 。记录曲线如图2所示。

回弹的测定:型砂试样压实后卸载,试样就会产生回弹。试样在定比压下经不同保压时间的压实之后卸载,保压时间的长短及卸载之后试样回弹的大小,都是由保压压实设备来测取的。

做较短时间的保压压实试验后,卸载是由气动

操作装置中上导轨体的楔形块来控制的。

做较长时间的保压压实后,卸载是由人工抬起压缩仪的秤杆实现的。有气动装置卸载时,保压时间的长短可通过调速阀调节气缸的速度和调整活动滑块的位置两个途径进行控制。卸载时,压头迅速离开测量板,试样回弹,使测量板同可动铁芯一起向上运动。因测量板分配在试样单位面积上的载荷值很小,可以忽略不计。所以,试样的回弹就等于测量板向上移动的距离。可动铁芯随同测量板的向上运动使位移传感器产生与反向位移(回弹)相对应的感应电动势。试样在压实保压及卸载过程中的变形情况,通过位移传感器、变送系统,在光线示波器系统在纪录纸上记录下来,为 $s-t$ 曲线。与此同时,其压力变化情况也在纪录纸上画出为 $p-t$ 曲线来。

2.4 型砂蠕变和回弹的分析

型砂的蠕变分析:砂型在压实过程中存在着蠕变。型砂的蠕变就是型砂在定比压下压实时,随着保压时间的增长,发生缓慢变形的现象。蠕变随着保压时间的延长逐渐减小,最后趋于零。型砂的蠕变是由于砂粒表面的粘土膜在保压压实过程中的粘塑性变形而引起的,蠕变的量值和速度与粘土膜的厚度、稠度和粘性有关。

型砂的回弹分析:观察型砂变形曲线(图2中的CDEF及C'D'E'F'段),可看出以下二点:

①撤压时,砂样的回弹是在应力撤到E点才明显出现,E点之前回弹并不显著,微量的回弹有时甚至被型砂砂粒之间继续发生的接触点粘塑性变形所抵消;E点之后,变形曲线E'D'明显弯曲,回弹迅速发生。

②压应力至D点完全撤除,但是砂样并没有停止回弹,而是一直延续到F'。这种压力完全撤除后仍有回弹的现象称作弹性后效。回弹的弹性后效现象是粘土膜粘弹性的特点。砂型的回弹主要是由于砂粒外面的粘土膜的回弹所引起,砂粒回弹所引起的作用相对的并不大。

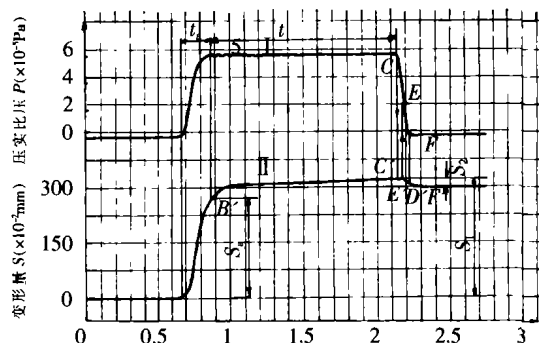


图2 试验记录曲线

I 曲线——压力-时间曲线 II 曲线——试样变形-时间曲线
 t_a ——升压时间 t ——保压时间 S_a ——升压过程变形
 S_1 ——加压保压过程中的总变形 S_2 ——试样的变形

3 型砂本构关系

型砂是一种固相、液相、气相三项共存复杂介质,兼有粘性、弹性和塑性^[7]。型砂在紧实过程中既有宏观的塑性变形,又有蠕变、松弛、回弹等微变形,这决定了型砂总体的性能表现极为复杂,而且型砂性能受混砂设备、造型材料、紧实方法、紧实时间等多种因素的影响。对于型砂的粘弹性研究,有研究者采用容积式水静压实研究了型砂压实后逐渐卸载过程中的回弹变形,得出了型砂的体积弹性模量 E_0 不是一个定值,而是压力和位移的导数;还有的研究者对砂样进行了低于塑性破坏载荷作用下的砂样弹形变形试验,认为砂样不仅发生弹形变形,而且发生塑性变形,其弹性模量是非线性的。国内也有工作者用型砂微变形理论对标准砂样的粘弹性进行了研究^[7],并推导出型砂弹性模量的近似数学表达式。

对于型砂粘弹性的研究,H.Sindermann^[8]提出过塑性检测的简单原理,并且认为塑性变形阻力与抗压强度存在着一定的线性关系。但是此种检测塑性的装置仅能检测塑性变形阻力,为能体现出型砂的粘塑性的本质特征,文献[8、9]也对型砂的粘塑性进行了研究,提出了型砂塑变临界值是受载成型的砂样或砂型受力发生粘弹性变形而不发生塑性变形的最高强度值。

虽然有不少的研究者对型砂的弹性模量进行过研究,但尚没有对考虑回弹时型砂的本构关系进行过详细的描述。根据图2中的 $p-t$ 曲线和 $s-t$ 曲线拟合成应力—应变关系曲线,取点值如表2所示。

图3所示型砂的本构关系是较为特殊的一类应力应变关系,曲线前部分呈上凸状,而后面突然下降,在尾部又有微小折回。其应力对应变的一阶导数即弹性模量在变形过程中随着应变的变化而变化;AB 加压阶段,应力和应变都迅速增大,这一

表2 本构关系数据

点数	时间 t/s	应力 σ $/10^3 \times \text{Pa}$	应变 ε $/\times 10^{-2}$
1	0.00	0.0	0.00
2	0.70	0.5	0.24
3	0.75	3.0	2.15
4	0.80	5.5	3.84
5	0.85	5.9	4.55
6	0.90	6.0	5.80
7	1.00	6.0	6.00
8	1.10	6.0	6.18
9	1.50	6.0	6.22
10	2.00	6.0	6.38
11	2.10	6.0	6.42
12	2.14	6.0	6.46
13	2.18	0.2	6.48
14	2.23	0.0	6.18
15	2.30	0.0	6.00
16	2.50	0.0	6.00

阶段包括大空隙的填没和砂粒滑移重新排列阶段,这都属于不可恢复的塑性变形,AM 段增长较迅速,MB 增长较缓;BC 为保压阶段,因取压应力为平均值,其值不变,但应变逐渐增大,这期间发生了蠕变,弹性模量近似为一定值;CD 卸载阶段,应力突然减小,应变还有微小的增加;DE 阶段应力几乎接近零,但变形还在继续,体现了型砂的回弹。从图3中也可以看出,随着压应力的增加和保压时间的增长,回弹量将较大。

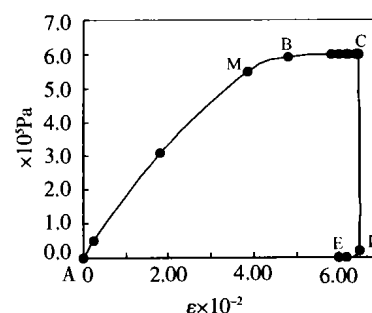


图3 型砂本构关系曲线

4 结论

通过对高紧实度型砂标准试件的测试,得到了考虑回弹时高紧实度型砂的本构关系曲线。相关结论如下:

(1)型砂在卸载后,有明显的回弹,随着压应力的增加和保压时间的增长,回弹量较大。在正常紧实条件下,回弹量大约为 0.7%。

(2)从得到的本构关系曲线可以看出,型砂的应力—应变关系为非线性关系。以往给出的实验本构关系以及本构关系的近似数学表达式,均没有考虑回弹因素,而回弹量的确定对精密铸造的影响是

以硅溶胶为粘结剂的浇注成型陶瓷型芯

Silicon Sol Agglutinated Ceramic Core by Pouring Forming

曹 科, 闵小俊, 邱桂斌, 张 平

(四川大学, 四川 成都 610065)

摘要: 为了满足熔模铸造中成型内腔铸件的需要, 研究了以硅溶胶为粘结剂的浇注成型的陶瓷型芯的各种性能。实验表明, 在以硅溶胶为粘结剂的陶瓷材料中, 锆英粉+ NH_4Cl 溶液+硅溶胶的陶瓷型芯浇注后溃散性好, 易于清理, 烧成收缩率低, 使用价值高, 能够在实际生产中广泛应用。

关键词: 熔模铸造; 陶瓷型芯; 浇注成型; 硅溶胶

中图分类号: TG249.5; **文献标识码:** A; **文章编号:** 1006-9658(2005)02-03

Abstract: For the need of ceramic core forming investment castings with cavity, the study about the performances of silicon sol agglutinated ceramic core by pouring forming has been done. It has attested that in the silicon sol agglutinated ceramic cores by pouring forming, the collapsibility of poured ceramic core based on $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ with NH_4Cl and silicon sol was good, and it could be easily cleared. The baked core's reduction ratio was small and the value high. It can be used in actual production extensively.

Keywords: Investment casting; Ceramic core; Pouring forming; Silicon sol

1 前言

陶瓷型芯, 是根据零件所需的孔或腔制造型芯模, 生产型芯, 制蜡模时将型芯一同压入蜡模内, 直至铸件浇注成型后再去除^[1]。由于陶瓷型芯的工作条件恶劣, 同时陶瓷型芯又不同于一般耐火材料制品, 它既要有密度要求以保证一定的强度, 又必须具有一定的孔隙度以利于脱芯。因此, 研究不同陶瓷型芯配方及制作工艺对陶瓷型芯性能的影响有非常重要的意义, 对工业应用是非常必要的。本文根据工业需要, 研究了以硅溶胶为粘结剂的浇注成型陶瓷型芯的各种性能。实验表明, 在以硅溶胶为

粘结剂的陶瓷材料中, 锆英粉+ NH_4Cl 溶液+硅溶胶的陶瓷型芯经高温焙烧后溃散性好, 易于清理, 烧成收缩率低, 使用价值高, 能够在实际生产中广泛应用。

2 试验方法

以硅溶胶为粘结剂的浇注成型陶瓷型芯是以硅溶胶、锆英粉以及少量固化剂所组成。选用试样的高温焙烧强化后抗压强度、低温以及高温焙烧强化后抗弯强度、收缩率、烧成收缩率为考核指标, 同时兼顾型浆料芯固化时间。为了测试型芯的各种性能, 我们制作了相应的模具, 采用真空搅拌, 然后浇注成型的方法获得试样。

2.1 试验用原材料

收稿日期: 2004-10-29

文章编号: 2004-182

显而易见的。

(3) 应用这里得到的本构关系实验曲线, 可以模拟砂型的成型过程, 为高紧实度砂型的成型和精密铸造的数学模拟提供依据。

(4) 在此基础上, 建立考虑回弹的高紧实度型砂的本构模型将另文专述。

参 考 文 献

- 1 R.W.Heine. Spring back in great sand mold [J]. AFS Transactions, 1963, vol.71:508~514
- 2 T.Rangaswami. Influence of squeeze pressure on spring back of synthetic molding sand [J]. Foundry Trade Journal, 1977, No.6:1563~1567

- 3 X Zuxi, X Qingchun and L Rongde. Recent development in sand testing [J]. Foundry Trade Journal, 2001, 3(3):16~17
- 4 中国二汽. 高压造型用型砂试验小结[J]. 铸造机械, 1995(5):38~42
- 5 D.Boenisch, 吴国蔚, 江 涛. 气冲造型紧实过程的研究[J]. 铸造, 1991(1):17~21
- 6 陈士梁, 谢祖锡. 砂型的紧实工艺对砂型成型性能的影响[J]. 沈阳工业大学学报, 1995(5):19~23
- 7 王 其. 湿型砂紧实过程计算机模拟与分析[J]. 铸造设备研究, 1993(2):50~60
- 8 H.Sindermann. Green sand compaction by impulse and dynamic molding [J]. AFS Transactions, 1994, vol.102:321~327
- 9 E.Brunner. 近年来粘土型砂检验法的发展及其展望[J]. 造型材料, 1989(4):60~63