

玉米秆粉粒体压制成型模型的研究

赵 东¹ 黄文彬¹ 郭康权²

(1 中国农业大学东区, 北京 100083) (2 西北农业大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 通过密闭型圆筒准静态压缩试验, 推导并建立了玉米秆粉粒体压制成型的本构方程, 并用有限元模型进行了模拟。对压制成形的网格变形图、应变分布以及载荷位移曲线的分析表明, 理论结果与试验结果一致。

关键词 玉米秆, 粉粒体, 压制成型, 塑性变形, 有限元
分类号 S216.2

玉米秆粉粒体压制成型包括粉碎、压制、成型等生产过程。由于玉米秆粉粒体材料来源广泛, 成本低, 开发利用的社会效益和经济效益都比较显著, 使得玉米秆粉粒体产品的开发生产有着广阔的市场和应用前景^[1]。

但是, 玉米秆粉粒体内含有一定的空隙, 在变形状态下, 粉粒体的变形和致密是同时进行的, 而且在压缩成型过程中, 粉粒体均受到颗粒与模壁、颗粒与颗粒之间不均匀摩擦力的影响, 粉粒体内部的运动和变形不一致。同时, 静水压力对塑性变形也有着明显影响^[2]。为了优化模具结构和设计参数, 优化工艺过程, 加快压制成型产品的开发研究进程, 对玉米秆粉粒体压制成型进行了研究。

1 多孔体成形的塑性理论

玉米秆粉粒体是可压缩的多孔体材料, 在压制过程中, 由于粒子间空隙的存在, 颗粒塑性变形时, 除形状变化外, 还发生体积变化。塑性变形不仅与应力偏张量有关, 还与静水应力有关。而且, 应力的分布会导致密度分布的不均匀性。因此, 玉米秆粉粒体的变形可以用多孔体塑性理论来描述。

考虑到静水应力分量对多孔体可压缩材料的影响, 在众多对多孔体可压缩材料成型的研究^[3~7]中, 提出以式 (1)~(4) 表示的多孔体塑性理论为基础^[3], 通过试验进行修正, 然后推导出描述玉米秆粉粒体压制阶段的数学模型 (本构方程), 并采用有限元方法来模拟粉粒体压制成型过程。多孔体塑性基本方程^[3]是:

$$d\epsilon_{eq}^2 = \frac{3}{2} (\epsilon_{ij} - \epsilon_m W_j) (\epsilon_{ij} - \epsilon_m W_j) + \left[\frac{\epsilon_m}{f} \right]^2 \quad (1)$$

$$dX_j^2 = \frac{2}{3} (dX_j - dX_m W_j) (dX_j - dX_m W_j) + (3f dX_m)^2 \quad (2)$$

$$dX_j = \frac{3}{2} \frac{dX_j}{d\epsilon_{eq}} \left\{ \epsilon_{ij} - \left[1 - \frac{2}{9f^2} \right] \epsilon_m W_j \right\} \quad (3)$$

收稿日期 1997-11-03

课题来源 陕西省自然科学基金项目, 94C13

作者简介 赵东, 男, 1968年生, 博士, 现在北京林业大学工作 (北京, 100083)。

$$dX = \frac{3}{2} \frac{dX_i}{d\epsilon_{eq}} \frac{2}{3f^2} \epsilon_m$$

(4)

式中: ϵ_i 和 X_i 分别是应力张量和应变张量,其中 $i, j= 1, 2, 3$ 或 x, y, z ; W_{ij} 是 Kronecker 符号,当 $i= j$ 时, $W_{ij}= 1$,当 $i \neq j$ 时, $W_{ij}= 0$ ^[8]; d 是相对密度, dX 是体积应变增量, ϵ_{eq} 和 X_{eq} 分别为等效应力和等效应变; f 是 d 的函数, $f= 1/a [(1- d)^m]^{1/3}$; $\epsilon_m = \frac{\epsilon_{ij}}{3}$ 表示静水压力, $dX \approx dX_{ij} / 3$.

2 本构方程

由于粉体颗粒之间的移动,粉体的变形比致密体的变形容易. 尽管玉米秆粉体压制成型应用多孔体塑性方程 (1)~ (4),但等效应力和等效应变的关系 (本构方程)及密度的函数,都要由密闭压缩试验确定. 为此,笔者进行了密闭型圆筒准静态压缩试验. 试验装置如图 1.试材粒度为 0. 1~ 0. 4 mm, 0. 4~ 1. 0 mm, 1. 0~ 2. 0 mm;含水率为 12%和 13%的玉米秆粉料. 压制模具圆筒内径为 60. 0 mm,筒高 240. 0 mm,测量侧压力的孔径为 5. 5 mm.

在图 1中,三个压缩方向分别与迪卡尔坐标轴 1,2,3一致. 主应力为 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$,且有 $\epsilon_2= \epsilon_3$,塑性主应变增量 $|dX_1| \gg |dX_2|= |dX_3|$. 笔者通过图 1所示的试验装置,测量了密闭圆筒内粉体压缩成形时的 ϵ_1, ϵ_2 和 dX 及 d 值. 然后利用上面的关系式来确定 f, K 和 $\epsilon_{eq} \sim X_{eq}$ 随压缩进行的变化曲线. 对于玉米秆粉粒体在相对密度范围 (0. 3~ 0. 5)的结果如图 2所示.

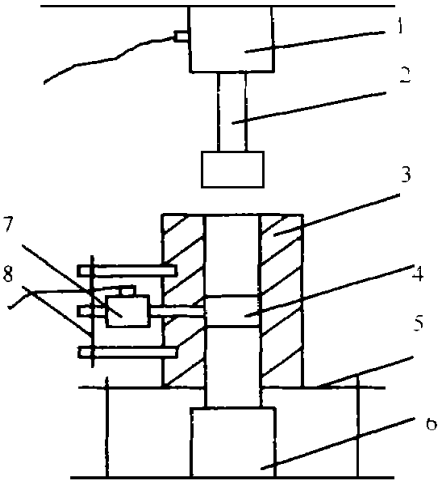


图 1 密闭容器压缩试验装置图
1. 上压力传感器; 2. 凸模; 3. 凹模; 4. 粉料;
5. 支架 1; 6. 柱塞; 7. 侧压力传感器; 8. 支架 2

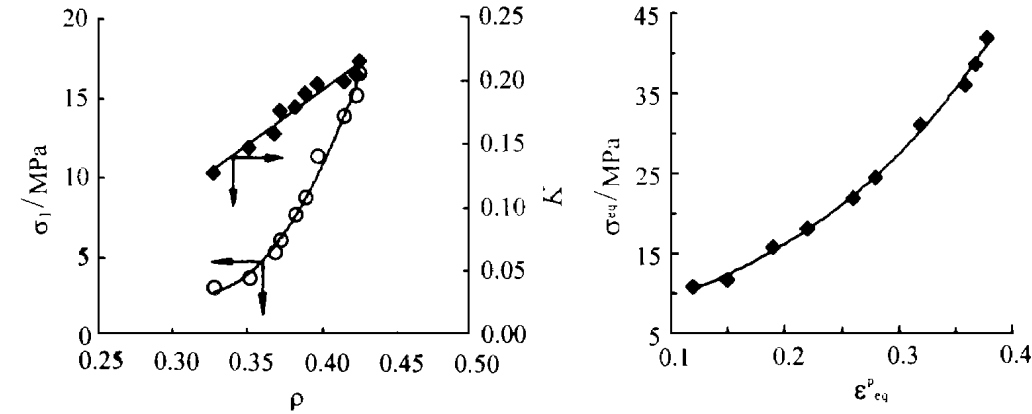


图 2 玉米秆粉体静态压缩试验结果 ($d= 0. 3\sim 0. 5$)

利用数学回归方法得到下列近似关系:

$$K= 0. 846d - 0. 146$$

(5)

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

$$f = \frac{\overline{2}}{3} \cdot \frac{0.708 + \frac{1.692d}{1.146 - 0.846d}}{1.146 - 0.846d} \quad (6)$$

$$\epsilon_{eq} = 104.7 \left(\frac{\sigma_{eq}}{K} + 0.36 \right)^{3.18} \text{ (MPa)} \quad (7)$$

这里 K 是侧压力系数,它是 d 的函数。压缩时泊松比和杨矢模量的表达式分别是:

$$\nu = \frac{1 - 2/9f^2}{1 + 1/9f^2} \cdot \frac{1}{2} \quad (8)$$

$$\log E = 4.98d - 0.466 \text{ (MPa)} \quad (9)$$

3 理论分析与讨论

为了验证本构方程的正确性,利用有限元方法进行理论计算,并与实际结果进行比较。有限元计算时,粉粒体压坯被看作均匀体和各向同性连续体。笔者编制了幂次强化全量弹塑性小变形模型来模拟粉粒体压制成型过程。根据玉米秆粉粒体的本构方程和已编制的有限元程序,得到压下率为 36% 时的网格畸变图,如图 3 所示。从图 3 可以看出,在轴线处的网格变形间距明显大于材料与筒壁接触处的间距,而且由于筒壁与材料之间存在摩擦,接近筒壁处的网格变形是曲线。

在有限元分析中考虑了壁面摩擦的影响,玉米秸秆压缩成形假设是非线性变形问题。对于每一步增量变形,都把壁面摩擦问题看作准线性的,节点摩擦力是材料与壁面之间的摩擦系数和法向力的乘积,其中摩擦力与压缩方向相反,并且在计算的每一步把与壁面接触的所有节点都加以考虑。当任一步的节点摩擦力小于平行于壁面的节点力时,此摩擦力被当作下一步平行于壁面的节点力加载,当前者大于后者时,下一步的节点力不变。

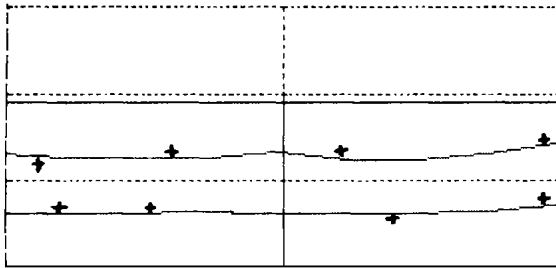


图 3 网格畸变图

— 变形前的网格; - - - 变形后的网格; + 实测点

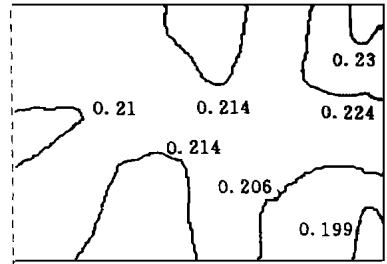


图 4 等效应变图

图 4 是等效应变分布图,图中表明最大轴向应变在成形块与凹模壁接触处的上部,沿筒壁向下应变逐渐减小。这是由于成形块在压缩过程中沿筒壁向下移动,筒壁与块体之间的摩擦力向上,此摩擦力与压模作用力在块体与模具壁接触的上部产生最大变形。

图 5 是载荷位移曲线。此图不考虑压缩初期粒子相互充填时的变形部分,主要研究粒子塑性变形阶段。由图中可以看出,塑性变形阶段总载荷增加很快,而且较小的变形就需要施加较大的载荷。为了对比,图中也示出了试验结果。

上述有限元计算结果与试验结果的分析比较表明,建立的本构方程能够正确反映玉

米秆粉体的压制成形

4 结 论

1)将多孔体塑性理论应用于玉米秆粉粒体,由密闭型圆筒准静态压缩试验和数学回归方法建立了玉米秆粉粒体的本构方程

2)用 FORTRAN 语言编制了幂次强化弹塑性有限元程序,模拟了玉米秆粉粒体的压制成形,理论计算结果与试验结果一致

3)用数值分析法解释了由于筒壁摩擦造成筒壁附近的网格变形成为曲线的原因

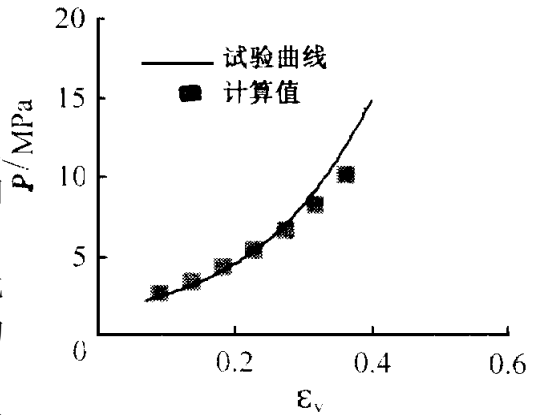


图 5 载荷位移试验曲线与计算值

参 考 文 献

- 1 赵 东.玉米秸秆模压成形的流变特性的试验研究 [学位论文].陕西杨凌:西北农业大学机电学院,1994
- 2 郭康权.粉粒体技术基础.西安:西北大学出版社,1995
- 3 大矢根守哉.粉末烧结体的加工に関する力学とその应用.粉体および粉末冶金,1973,20(5): 142
- 4 王祖唐,关延栋,肖景容.金属塑性成型理论.北京:机械工业出版社,1989
- 5 Morimoto Y, Hayashi T, Takei T. Mechanical behavior of powders during compaction in a mold with variable cross section. International Journal of Powder Metallurgy & Powder Technology, 1982, 18(2): 129
- 6 Doraivelu S M. A new yield function for compressible P/M materials. Int J Mech Sci, 1984, 26(9/10): 527
- 7 Kuhn H A. Deformation characteristics and plasticity theory of sintered powder materials. Int J Powder Met, 1971, (7): 15
- 8 王 仁,黄文彬.塑性力学引论(修订版).北京:北京大学出版社,1989

Research on the Compaction Modelling of Corn Stalk Powder

Zhao Dong¹ Huang Wenbin¹ Guo Kangquan²

(1 East Campus, China Agriculture University, Beijing, 100083)

(2 College of Mechanics and Electronics Engineering, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract This paper describes the constitutive equations and mechanical behavior of corn stalk powder in compaction process by using the quasi-static compression in a cylindrical closed die, and analyses the distribution of stress and strain. The constitutive equations are established, and the simulation for compaction process of corn stalk powder is studied with FEM also. The theoretical results agree with the experimental ones.

Key words corn stalk, powder, compaction, plastic deformation, FEM