

生物质液压成型影响因素分析*

董磊¹ 盖超² 董玉平²

(1. 山东百川同创能源有限公司, 济南 250101; 2. 山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室, 济南 250061)

【摘要】 对影响生物质液压成型的主要因素进行了分析及试验,通过木屑成型试验表明,最佳含水率范围应控制在0.15~0.18。在此基础上运用FEA分析软件ANSYS对成型过程中生物质的流变特性进行有限元模拟,分析了整个成型过程中生物质位移和应变演变特性,得到生物质在材料致密化过程中摩擦力的变化规律,为生物质的成型机理研究提供了依据。

关键词: 生物质 成型 含水率 数值分析

中图分类号: TK6; TH122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)07-0139-05

Numerical Study on Process and Influencing Factors of Biomass Hydraulic Briquetting

Dong Lei¹ Gai Chao² Dong Yuping²

(1. Shandong Baichuan Tongchuang Energy Co., Ltd., Ji'nan 250101, China 2. Key Laboratory of High Efficiency and Clean Mechanical Manufacture, Ministry of Education, Shandong University, Ji'nan 250061, China)

Abstract

The primary factor of influencing the process of biomass hydraulic briquetting was analyzed and studied. The experimental result indicated that the best range of containing water ratio was 0.15~0.18. Based on the results, the simulation of the process of biomass hydraulic briquetting was carried out with the finite software ANSYS at first. Then the displacement and strain in the biomass extrusion process was analyzed, and the rule along with the disciplinarian of friction-changing in the process was obtained. All these provided credible conditions for the study of biomass briquetting mechanism.

Key words Biomass, Formation, Containing water ratio, Numerical analysis

引言

生物质固体成型技术^[1~6]是在一定温度、水分与压力的作用下,将原来分散、没有一定形状的生物质原料压制成为一定形状、密度较大、燃烧值较高的固体燃料的过程。目前研制出的不同类型的成型设备,由于受不同压缩方式和条件的限制,生物质的成型过程具有不同的特点。有些设备存在着耗能高、生产效率低、成型产品质量差等一些技术难题^[7],究其原因,是缺乏对生物质固化成型过程及其影响因素的研究。本文针对木屑的液压成型过程,进行试验对比研究,分析成型影响因素对成型质量的影

响,在此基础上采用ANSYS有限元模拟软件对生物质成型挤压过程进行数值模拟,分析生物质的流变特性,为生物质固体成型燃料的成型工艺优化及成型设备的设计提供技术依据。

1 生物质成型影响因素试验

1.1 试验材料

杉木木屑由于木质素含量较高,黏结性好,成型容易,因此本文选用杉木木屑进行成型试验研究,原料取自山东百川同创能源有限公司。杉木木屑的元素分析和工业分析如表1所示,表2给出了本次试验所用木屑的物性参数。

收稿日期: 2010-11-08 修回日期: 2010-12-07

* 山东省自然科学基金资助项目(2009ZRA01100)

作者简介: 董磊,工程师,主要从事生物质成型及热解气化技术研究,E-mail: sdbctc@126.com

通讯作者: 董玉平,教授,博士生导师,主要从事机械及生物质能开发利用研究,E-mail: dongyp@sdu.edu.cn

表1 杉木屑的工业分析和元素分析

Tab.1 Proximate and ultimate analysis of cedar chips

生物质	工业分析/%				元素分析/%					低位热值 /kJ·kg ⁻¹
	水分	挥发分	固定碳	灰分	C	H	O	N	S	
杉木屑	3.27	81.20	14.79	0.74	51.40	6.00	42.30	0.06	0.03	19194

表2 试验木屑的物性参数

Tab.2 Properties of the tested cedar chips

生物质	密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	平均直径* d_p/mm	含水率 $w/\%$	泊松比 μ	压缩模量 E_s/MPa	黏结力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
杉木屑	161.6	12	7.2	0.38	4200	15.43	0.42

注: * 平均直径 $d_p = \sum X_i d_{pi}$, 式中, d_{pi} 为木屑直径, X_i 为直径长为 d_{pi} 的木屑所占总百分数。

1.2 试验装置及工作过程

在由德国引进的液压成型机上进行成型影响因素试验,成型机结构简图如图1所示。该机采用液压驱动、螺旋进料,PLC控制。由预压缸、主压缸及双保型缸按一定指令循环施加压力。通过压力计,可清晰地观测到各缸压力的瞬态变化情况,并读取最大值。

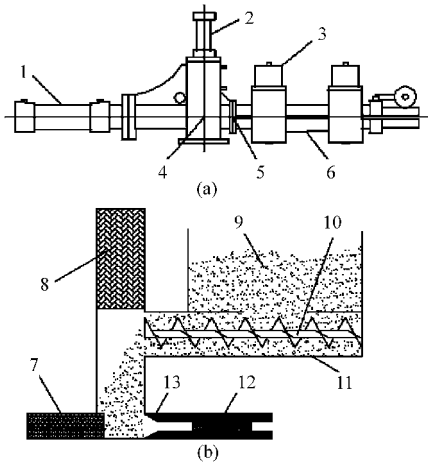


图1 液压成型机结构简图

Fig.1 Sketch of hydraulic briquetting machine

(a) 外部结构 (b) 内部结构

1. 主压缸 2. 预压缸 3. 保型缸 4. 保型筒 5. 成型区 6. 预压区 7. 主压缸活塞 8. 预压缸活塞 9. 原料 10. 成型螺杆
11. 螺旋进料装置 12. 成型块 13. 成型模具

在生物质液压成型机上,原料成型经历预压缩、主压缩以及成型压块挤出3个阶段。成型过程如图1b所示,原料通过螺旋进料装置被搅拌、混合均匀后输送至预压区,然后预压缸活塞对原料进行预压缩,使疏松的原料缩小体积,密度有所增加,同时排除部分空气。当预压缸活塞运动到下止位点时,液压电磁阀换向,预压缸返回。上位传感器检测到预压缸到位后,主压缸活塞前行进行压块,成型过程进入主压缩阶段。原料在主压缸活塞的作用下,向

前移动,进入成型区挤压成型,剩余空气被全部排出。当前检测开关检测到主压缸活塞前行到位,同时主压缸内压力达到设定压力时,液压钳开启,成型块进入保型筒内,同时把保型筒内上一次的压块挤出。在完成主压缩过程后,主压缸活塞退回到初始位置,完成一次成型过程。随着下一循环的到来,成型块逐渐被挤出保型筒,进而完成整个成型过程。

1.3 试验方法

对生物质成型过程及产品性能产生影响的主要因素有:生物质种类、粒度和粒度分布、原料含水率、成型压力及加热温度^[8-11]。其中,原料的含水率在成型过程中是十分重要的因素,含水率过高,水分不能及时排出,将影响正常成型,使压块表面粗糙,密度降低;含水率过低,原料颗粒间摩擦增大,黏结力减小,成型也很困难。因此合理确定压块成型的含水率对于提高成型品质具有重要作用,需要严格控制。

由于试验条件的限制,将木屑在自然干燥条件下加水调湿,然后用LC湿度计测量其含水率。选取了5组含水率,在液压成型机上进行闭式压缩试验,每组试验原料除含水率不同外,种类、粒度、原料质量完全相同,每组试验选取的液压成型设备结构参数亦完全相同,并保证每次试验均加压至预先设定好的相同最大压力值。在此基础上测定木屑在不同含水率下的成型密度及成型效果,从而得出木屑的最佳成型条件范围,为木屑成型过程的有限元数值模拟奠定基础。

1.4 试验结果及分析

成型试验结果如表3所示。试验数据表明,在仅考虑含水率单一因素条件下,当含水率小于13%时,成型压块松散,密度较低且表面不光滑,成型效果较差;当含水率大于20%时,原料颗粒不能很好地粘结,成型压块表面质量下降,有裂纹;含水率在15%~18%范围内,成型效果较好。图2为含水率

分别为 15.8% 和 21.5% 的成型块外形对比图, 图中可看出前者成型效果更好。因此可得到木屑含水率的合理范围应为 15% ~ 18%。

表 3 不同含水率下木屑成型数据及效果

Tab.3 Data results and quality of sawdust forming at different water ratios

原料含水率/%	成型块密度 /g·cm ⁻³	压缩比	成型效果(光洁度)
10.3	0.895	5.59	成型松散, 表面粗糙
13.1	1.032	6.45	成型效果一般, 表面较粗糙
15.4	1.176	7.35	成型效果好, 表面光滑
18.2	1.063	6.64	成型效果较好, 表面有小裂纹
22.5	0.958	5.98	成型效果一般, 密度低, 表面开裂

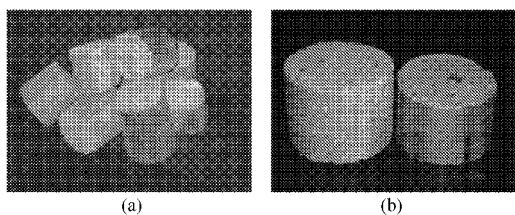


图 2 不同含水率木屑成型燃料外形对比图

Fig.2 Comparison of different briquettes shapes

(a) 含水率 15.8% (b) 含水率 21.5%

2 生物质成型过程数值模拟

本文主要研究生物质在进入锥形腔时压缩过程的变化, 根据木屑含水率液压成型的试验结果, 选取在最佳含水率 15% ~ 18% 范围内和恒定温度成型状态下的木屑进行分析。木屑在进入主压缩锥形腔时, 密度已经大大增加, 近乎粘连在一起, 宏观上可将其视为连续体介质; 根据生物质成型的有限元方法推导, 将材料视为弹塑性模型。

2.1 前处理

(1) 定义材料属性: 需要定义木屑、模具和接触对 3 种材料。对于木屑, 参照表 2 设置相关参数; 对于模具, 弹性模量设为 2.08×10^5 MPa, 泊松比为 0.3; 对于接触对, 摩擦因数设为 0.26。

(2) 定义单元类型: 由于将模型简化为二维平面问题, 考虑计算时间和计算精度, 因此选择具有八节点的高阶二维 PLANE 82 单元。二维面-面接触单元 TARGET169 能够模拟复杂形状的刚性“目标”表面, CONTACT 172 适用于二维结构接触分析, 因此选用 TARGET 169 和 CONTACT 172 来模拟木屑与模具的摩擦接触。

(3) 建立几何模型: 由于液压成型模具的结构具有轴对称性, 取模型截面的 1/2 为研究对象, 成型物料长 85 mm, 模具外径 115 mm。模具锥度角^[12] α

设置为 5.67° , 大小端面直径 (D, d) 分别为 62 mm、55 mm, 锥长 l 为 26 mm, 端面比为 1.32。为简化分析模型, 将成型腔外套 (45 号钢) 和内部衬套 (MT-4) 视为一体研究。据此建立成型的二维轴对称几何模型如图 3 所示。

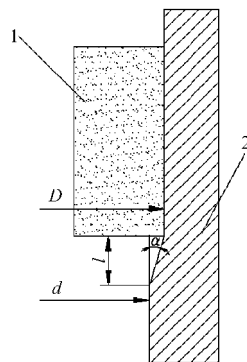


图 3 模型半剖面示意图

Fig.3 Semi-section of mold

1. 生物质 2. 成型模具

(4) 单元网格划分: 采用手动划分和智能网格划分相结合的方式对建立的有限元模型进行网格划分。

对木屑采用自适应网格划分, 将其横向划分为 26 份, 纵向划分为 80 份; 对模具, 采用智能分网控制生成自由网格, 网格精度为 3。

2.2 求解

根据实际情况, 由于液压成型模具和机器本体相连, 其上下端面施加固定约束, 外表面约束 X 向自由度, 对成型块左边施加对称约束, 在上表面施加 Y 向负方向位移载荷。

为避免计算中出现不收敛现象, 不考虑加入温度场; 在求解控制项 Sol'n Controls 中设定 Large Displacement Static, 使分析中考虑大变形影响, 打开自动时间步预测^[13]; 通过命令 NLGEOM ON 来激活大应变效应; 为了在全牛顿-拉普森的基础上处理滑动过程中的法向和接触刚度, 使求解非线性接触问题收敛, 将 Newton-Raphson 不对称选项设置为 Full N-R unsymm 算法。

2.3 后处理结果分析

2.3.1 节点位移场分布

图 4 给出了挤压开始阶段和半个成型周期 ($0.5T$) 时 X 轴向的位移等值线图。在沿 Y 轴负方向 (垂直方向) 挤压过程中, 生物质向下移动, 在模具锥形腔的锥角处位移发生了明显变化, 模具型腔

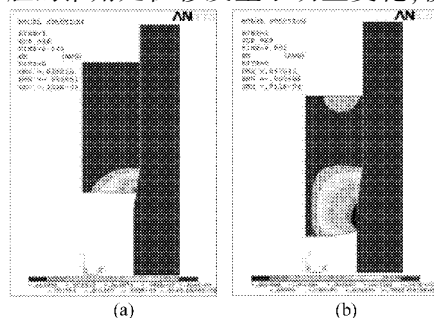


图 4 X 轴向位移等值线图

Fig.4 X -axis displacement isograms

(a) 开始阶段 (b) $0.5T$

锥角同时向压块施加了一个横向的侧压力,位移等值线成左凸的曲面。生物质与模具壁间存在摩擦力作用,使其与模具型腔内壁接触的生物质运动产生了阻力,因此导致其与模壁接触所受的力要大于生物质成型中心处的力。

2.3.2 等效应变场分布

图5反映生物质成型在不同位移时应变情

况。生物质经过预压缩阶段,密度有所提高。进入主压缩阶段,在挤压变形初期,生物质成型块等效应变随相对密度增高而小幅增加,随着变形的继续,成型块相对密度增加变缓,这时等效应变随相对密度的增大而变大,挤压力也相应增加。在挤压变形后期最大应变出现在锥形腔锥角表面。

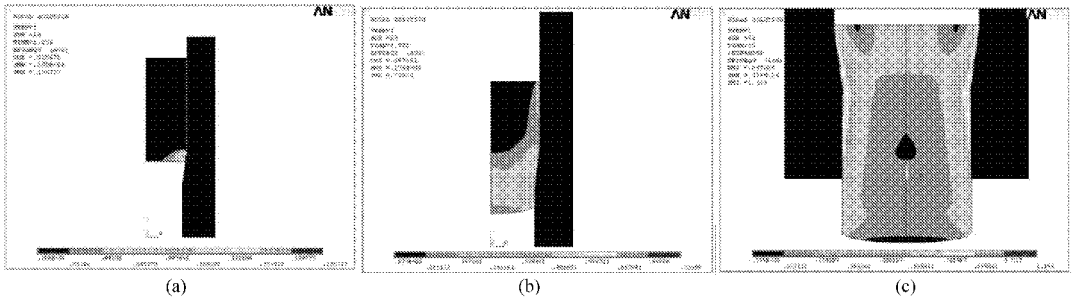


图5 不同压下量时等效应变场分布图

Fig.5 Equivalent strain field distribution at different extrusions

(a) 压下量 10% (b) 压下量 50% (c) 压下量 100%

多孔体真实致密化方程为 $\varepsilon_d = -\ln(d/d_0)$,其真实致密曲线^[14]如图6所示。从图中可以发现,当 $d \rightarrow d_0$ 时,曲线上对应点切线的斜率逐渐减小,这说明多孔材料在致密化的过程中,开始的致密速度较快,随后逐渐减小。根据致密的机制,多孔体的相对密度愈低,颗粒形状

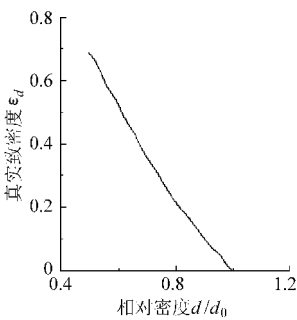


图6 真实致密度曲线
Fig.6 Curve of actual density

越不规则,其内部孔隙愈大,在多孔体中的各微小颗粒形成等静压的几率愈小,愈有利于压实致密,致密速度愈快;反之,若相对密度愈高,内部孔隙愈小,各微小颗粒形成等静压的几率愈高,致密速度愈慢。因此,在变形开始时,木屑相对密度较低,有利于压实致密,致密速度较快,随着变形的继续,木屑的相对密度逐渐提高,致密速度也随之降低。木屑成型过程与真实致密度曲线一致。

2.3.3 位移对生物质成型受力的影响

图7反映不同位移作用下生物质成型受到的摩擦力的变化。从图中可以看出,在挤压变形开始阶段摩擦力增加剧烈,当生物质成型块移动到模具的锥形腔锥角附近,受到的摩擦力达到最大值,而后摩擦力迅速下降并趋于稳定。这是由于生物质成型开始时以压实致密为主,增长较缓,随着塑性变形的增加,摩擦力增加速度显著增加,在锥角附近,由于模壁侧压力的增加,使摩擦力达到最大,然后经过锥形

腔区域,侧压力减小使摩擦力下降并逐渐趋于稳定。

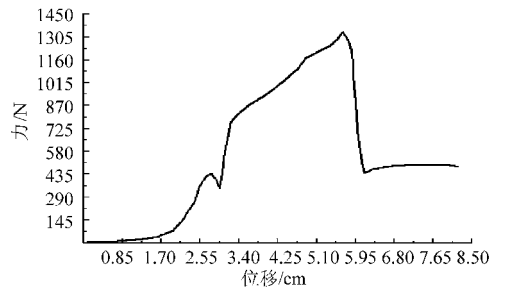


图7 摩擦力与位移关系曲线

Fig.7 Relation between friction and displacement

因此,锥形腔处锥角的大小影响摩擦力的数值,在锥长确定的情况下,锥角过大,使模壁上的侧压力及摩擦力都会增加,会阻碍生物质的移动,增加生物质成型应力分布的不均匀性和模具上的应力集中。因此根据生物质成型产品的具体要求,应综合考虑模具锥角选取,以达到成型的最佳效果。

3 结论

(1)通过在液压成型机上进行木屑成型试验表明,含水率应控制在15%~18%的范围,成型效果较好。

(2)由于生物质与模具壁间存在摩擦力作用,导致其与模壁接触所受的力要大于生物质成型中心处的力。

(3)在挤压过程中,成型块等效应变随相对密度的增大而增加,在挤压变形后期最大应变出现在锥形腔锥角表面,木屑的成型过程符合多孔体的真实致密化方程曲线。

(4)锥形腔处锥角的大小会影响摩擦力的数值以及生物质成型和模具的应力分布。应根据生物质成型产品的具体要求,综合考虑模具锥角选取,以达到成型的最佳效果。

参 考 文 献

- 1 周成. 生物质固化成型燃料的开发与利用[J]. 现代化农业,2005(12):38~39.
- 2 Lindley J A, Vossoughi M. Physical properties of biomass briquets [J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(2): 361~366.
- 3 何晓峰,雷廷宙,李再峰,等. 生物质颗粒燃料冷成型技术试验研究[J]. 太阳能学报,2006,27(9):937~941.
He Xiaofeng, Lei Tingzhou, Li Zaifeng, et al. Research of biomass fuel cold compression molding technic [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2006, 27(9): 937~941. (in Chinese)
- 4 Grover P D, Mishra S K. Proceedings of the international workshop on biomass briquetting [C]. New Delhi, India, 1996.
- 5 孙启新,张仁俭,董玉平. 基于 ANSYS 的秸秆类生物质冷成型仿真分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12):130~134.
Sun Qixin, Zhang Renjian, Dong Yuping. Simulation analysis of compressing molding under general condition for straw biomass based on ANSYS [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12):130~134. (in Chinese)
- 6 董玉平,高名望,孙启新. 秸秆类生物质固化成型有限元模拟[J]. 山东大学学报:工学版, 2005, 35(5): 9~13.
Dong Yuping, Gao Mingwang, Sun Qixin. The finite element simulation of straw and stalk biomass press briquetting [J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2005, 35(5): 9~13. (in Chinese)
- 7 张百良,樊峰鸣,李保谦,等. 生物质成型燃料技术及产业化前景分析[J]. 河南农业大学学报,2005,39(1):111~115.
Zhang Bailiang, Fan Fengming, Li Baoqian, et al. Analysis of industrialization prospect of biomass briquette technoligise [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2005, 39(1):111~115. (in Chinese)
- 8 Demirbas A, Sahin-Demirbas A. Briquetting properties of biomass waste materials [J]. Energy Sources, 2004, 26(1): 83~91.
- 9 盛奎川,吴杰. 生物质成型燃料的物理品质和成型机理的研究进展[J]. 农业工程学报,2004,20(2):242~245.
Sheng Kuichuan, Wu Jie. Review on physical properties and forming mechanisms of biomass briquettes [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(2): 242~245. (in Chinese)
- 10 樊峰鸣,张百良,李保谦,等. 大粒径生物质成型燃料物理特性的研究[J]. 农业环境科学学报,2005,24(2):398~402.
Fan Fengming, Zhang Bailiang, Li Baoqian, et al. Physical properties of briquettes from coarse biomass [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(2): 398~402. (in Chinese)
- 11 蒋剑春,刘石彩,戴伟娣,等. 林业剩余物制造颗粒成型燃料技术研究[J]. 林产化学与工业,1999,19(3):1~5.
Jiang Jianchun, Liu Shicai, Dai Weidi, et al. Study of technology of pelletization of fuel from forest residues[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 1999, 19(3):1~5. (in Chinese)
- 12 刘超,董玉平,吴云玉. 基于 ANSYS 的生物质液压成型模具锥角优化[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12):125~129.
Liu Chao, Dong Yuping, Wu Yunyu. Study of mold cone angle of hydraulic briquetting press based on ANSYS [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 125~129. (in Chinese)
- 13 Saeed Moaveni. Finite element analysis: theory and application with ANSYS [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- 14 汤爱君,马海龙,董玉平. 生物质挤压过程中的静水压应力[J]. 可再生能源, 2006(2):28~31.
Tang Aijun, Ma Hailong, Dong Yuping. Hydrostatic pressure in biomass briquetting process [J]. Renewable Energy, 2006(2):28~31. (in Chinese)