玉米秸秆成型块微观结构研究*

田潇瑜 侯振东 徐 杨

(中国农业大学工学院,北京100083)

【摘要】 影响玉米秸秆固化成型的工艺因素包括成型压力、温度及含水率等,成型块的微观结构对其宏观性能具有重要意义。利用电子立体显微镜观察玉米秸秆固化成型后的颗粒物料之间的结合方式和显微形貌,从微观角度研究成型工艺参数与成型块微观结构的关系。结果表明,玉米秸秆成型块颗粒之间主要以机械镶嵌、天然粘结剂粘结的形式结合。在成型压力 60~90 MPa,物料温度 75~100℃,含水率 8%~16%的成型条件下,制得的玉米秸秆成型块内部颗粒结合紧密,机械镶嵌作用明显,对应得到的成型块物理品质和力学性能较好。

关键词: 玉米秸秆 固化成型 微观结构 成型机理 中图分类号: S216.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)03-0105-04

Microstructure of Corn Stover Briquette

Tian Xiaoyu Hou Zhendong Xu Yang (College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Factors that affect the corn densification contained pressure, heating temperature, moisture content and etc., and microstructure of briquette also has a major impact on the macroscopic properties. The microstructure and binding mode of material particles inside briquette were observed with electron stereoscopic microscope, the relationship between molding process parameters and forming microstructure were studied from the microscopic view. The results showed that particles in corn straw briquette were mainly combined in two forms—mechanical mosaic and natural adhesive bonding. Under the condition of pressure 60 ~ 90 MPa, material temperature 75 ~ 100 $^{\circ}$ C, moisture content 8% ~ 16%, internal particles of briquette were combined closely, with obvious mechanical enchase effect, corresponding to get physical quality and mechanics with good performance.

Key words Corn stover, Densification, Microstructure, Densification mechanism

引言

生物质固化成型技术是生物质能的一种简单、 实用、高效的利用形式,为高效利用农林废弃物、农 作物秸秆提供了一条新的途径。目前国内对生物质 固化成型的研究,主要集中在生物质成型过程的压 缩特性、机械特性、流变特性和成型工艺等方面的实 验研究和理论探讨,对生物质压缩成型的内在粘结 机理研究不够深入,也没有对成型燃料的品质特性 作进一步分析。成型块品质特性直接决定成型块的 使用、运输要求和贮藏条件,因此研究不同成型条件 下成型块内外部品质特性对实际生产具有指导意 义^[1]。

生物质材料属于各向异性的复合材料,在已经 成熟的各种材料的成型理论中,还没有一种能完全 用于生物质原料颗粒的理论,无法将它单纯地看成 金属、木材等,故需要借鉴其他特殊物料的研究理论 来进行玉米秸秆固化成型机理的探讨。由于粉粒体 技术是一个涵盖众多领域的技术,广泛应用于塑料、 橡胶、涂料、造纸、粉末冶金、制药、陶瓷等行业,借鉴

收稿日期:2010-03-31 修回日期:2010-04-19

^{* &}quot;十一五"国家科技支撑计划资助项目(2006BAD07A14)

作者简介:田潇瑜,硕士生,主要从事农业生物质材料研究,E-mail: tianxiaoyu2005@ yahoo. cn

通讯作者: 徐杨,教授,博士生导师,主要从事新材料、新工艺研究,E-mail: xuyang@ cau. edu. cn

它的一部分理论来研究玉米秸秆固化成型的机理是 可行的^[2]。

本文旨在对玉米秸秆固化成型机理进行探讨, 参考现有的成型机理理论,从微观角度出发,通过显 微观测、图像分析,考察不同成型条件下玉米秸秆成 型块微观组织结构,讨论成型压力、温度和含水率对 成型效果的影响。

1 实验条件与方法

1.1 实验条件

当年收获的玉米秸秆,经揉切粉碎使其粒度达 到5~8mm。主要设备包括:(MFKP66×45)粉碎机 (江苏牧羊集团有限公司)、101A-2型干燥箱(上 海市试验仪器总厂)、AWH-3型电子天平(感量 0.1g)、温度控制箱(KSW-4-11,北京电炉厂)、自 制压缩装置(图1)、德国 Leica S8 APO型体视显微 镜,手持式红外线测温仪(PT-5LD)、瓷坩埚、游标 卡尺等。



图 1 固化成型设备简图

Fig. 1 Densification equipment diagram

1. 法兰1
 2. 法兰2
 3. 外套筒
 4. 成型块
 5. 石棉
 6. 热电
 偶
 7. 电阻丝
 8. 内套筒
 9. 压头

1.2 实验方法

称取不同含水率的物料 50g,将其填充于自制 成型套筒中,压头向下运动开始加压,当压力达到预 定值时停止,保压 30s,减压卸载得到 φ50 mm 成型 块。在考察温度对于成型块性能的影响实验中,利 用温度控制箱、热电偶控制成型筒腔内温度,并在压 制前用手持式红外线测温仪测量腔内物料温度。当 物料温度与腔内温度达到一致时,压制成型块。玉 米秸秆固化成型的工艺流程如图 2 所示。



Fig. 2 Process curve of densification



观察。成型压力范围为 10~110 MPa,温度分别为 25、75、110、140℃,含水率分别为 5%、8%、16%、 20%,制得的成型块平均半径约为 50 mm,质量为 50 g。

2 实验结果与讨论

一般将成型块内部的粘结力类型和粘结方式分成5类:①固体颗粒桥接或架桥(solid bridge)。 ②非自由移动粘结剂作用的粘结力。③自由移动液体的表面张力和毛细压力。④粒子间的分子吸引力 (范德华力)或静电引力。⑤固体粒子间的充填或 嵌合^[3]。在对生物质燃料压缩成型的研究中,虽然 成型物的密度和强度受温度、含水率、压力、添加剂 等诸多因素影响,但实质上都可以用上述的一种或 一种以上的粘结类型和粘结力来解释生物质成型物 内部的成型机制^[4-6]。

2.1 不同压力下的显微结构

在物料粒度为5~8 mm,含水率为8%,成型温 度为25℃的实验条件下,考察不同成型压力对成型 效果的影响,其成型块显微结构如图3所示。由 10~110 MPa不同成型压力条件下的图形表明:成 型压力不同,成型块内部颗粒间的孔隙率明显不同, 不同颗粒之间的结合松散,反映到松弛密度上就是 成型压力越小松弛密度越小。由图3a、3b可以看 出,在较小的成型压力条件下,颗粒间的结合不密 实,且相互之间的缠绕不明显,其抵抗变形的能力较 弱。当受到外力的作用时,在受力方向会有进一步 压缩变形的趋势。同时,成型压力较小,成型块内部 颗粒间的结合较弱,层与层之间结合不紧密,在成型 块吸水后,物料膨胀,使得物料片层间及颗粒间由于 吸水膨胀的作用相互分离,易出现成型块吸水散落 的现象。

随着成型压力的逐步增大,物料颗粒间相互挤 压、变形的趋势更加明显。物料粒子在压力作用下 发生机械镶嵌,颗粒间互相填充、非弹性或粘弹性纤 维分子之间的相互缠绕和胶合,使得颗粒组合产生 塑性变形。同时小粒子由于静电引力产生团聚,形 成较大颗粒,这对成型过程非常有利。

这与郭康权等对成型块内部粒子进行显微镜观 察和粒子二向平均径测量得出的结论是一致的^[7], 即在垂直于最大主应力的方向上,粒子向四周延展, 粒子间以相互啮合的形式结合;在沿着最大主应力 的方向上,粒子变薄,成为薄片状,粒子层之间以相 互贴合的形式结合。

总体而言,成型压力对成型效果的最主要影响 方式是通过颗粒间的机械镶嵌作用。当压力达到一



图 3 不同成型压力条件下成型块的显微结构(×(60~80)) Fig. 3 Microstructure under different forming pressures (a) 10 MPa (b) 40 MPa (c) 50 MPa (d) 80 MPa (e) 90 MPa (f) 110 MPa

定程度,颗粒间的空隙达到很小,层与层结合紧密, 无法进一步挤压变形,如图 3e、3f 所示,所以在生产 过程中选取成型压力 60~90 MPa 左右即可,既可满 足成型的要求又可避免能源的浪费。



2.2 不同温度条件下显微分析

在物料粒度为 5~8 mm, 含水率为 8%, 成型压 力为 80 MPa 的实验条件下,考察不同成型温度对成 型效果的影响,其成型块显微结构如图 4 所示。





图 4 不同成型温度下成型块的显微结构(×(60~80))
 Fig. 4 Microstructure at different temperatures

 (a) 25℃
 (b) 75℃
 (c) 110℃
 (d) 140℃

对成型块的物理品质和力学特性的研究结 果^[8]表明:在同一成型压力条件下加热使得成型块 的松弛密度明显增大,主要反映在加热使得颗粒间 的结合更加紧密,相互间的缠绕更加明显,由图 4b 可知,75℃左右达到了物料玻璃化转变温度,增强了 生物质内部的天然粘结剂的活性,冷却后形成了固 体颗粒的桥接,改善了成型块的抗变形性,使得成 型块能承受较大的峰值压力,从图中层与层之间 的结合状态,可以得出此结论。同时由于成型块 内部颗粒间的结合方式以及软化的木质素的粘结 作用,使得成型块的抗渗水性明显增强。如图 4c 所示,在温度为 110℃的情况下,物料颗粒间的空 隙几乎没有,相互之间的结合很紧密,并能明显看 出颗粒间的粘结作用。图 1 还反映出物料加热后 层与层之间的孔隙率变小,成型块内部整体结合 更加紧密。

结合相关颗粒结合的微观理论可知,生物质 *ξ* 电势大小受生物质颗粒在水中的接触时间、浓度、温 度和添加剂等因素的影响^[6]。通过加热降低了玉 米秸秆物料颗粒间的 *ξ* 电势,减小了颗粒间的排斥 力,颗粒相互间的结合更加紧密,这有利于压缩 成型。

温度对成型块成型效果的影响是显著的。加 热物料间的结合不仅有物料颗粒间的机械镶嵌作 用,还有木质素软化以后所产生的粘结作用。实 验表明成型温度越高,成型块的性能越好,但过高 的加热温度容易使物料碳化,影响成型块的使用 价值,故选取加热温度在75~100℃范围内比较 理想。

2.3 不同含水率条件下显微分析

在物料颗粒度为5~8mm,成型温度为25℃,成



型压力为 90 MPa 实验条件下,考察物料含水率分别 为 5%、8%、16%、20% 时的成型块显微结构,其成 型块显微结构如图 5 所示。





图 5 不同含水率条件下成型块的显微结构(×(60~80)) Fig. 5 Microstructure with different moisture contents

(a) 5% (b) 8% (c) 16% (d) 20%

图 5 表示的是不同含水率条件下玉米秸秆成型 块的显微结构。含水率为 8%~16%时,颗粒表面 吸附着少量液体层,能消除颗粒表面粗糙度,增加颗 粒间接触面积或减小颗粒间距,从而增加颗粒间引 力。由图 5b、5c 可以观察到物料颗粒间的孔隙率较 小,结合紧密,机械镶嵌作用十分明显,故在这种条 件下,成型块能够承受更大的峰值压力。含水率为 20%时,颗粒间液体过多影响了相互粘结交缠的效 果,物料颗粒间的空隙相对于低含水率的空隙要大 很多(图 5d),颗粒间的结合逐渐趋于松散,故成型 块的密度、抗变形强度和抗渗水性比较差。

物料的含水率对成型块的抗渗水性有很大的影响,过高或过低的含水率对成型块的物理品质和力 学特性都会造成很大的影响,另一方面,生物质体内 的水分又有降低木质素玻璃化转变(熔融)温度的 作用,使生物质在较低加热温度下成型^[9]。因此合适的含水率是另一个影响固化成型的关键因素。故由此得出物料含水率在 8% ~ 16% 时,固化成型的效果比较好。

3 结束语

本文采用立体电子显微镜观测结合图像分析的 方法,通过考察不同成型条件下玉米秸秆成型块微 观组织结构和颗粒物料之间的结合方式,对成型机 理进行了探讨。结果表明,玉米秸秆成型块颗粒之 间主要以机械镶嵌、天然粘结剂粘结的形式结合。 在成型压力 60~90 MPa,物料温度 75~100℃,含水 率 8%~16%的成型条件下,制得的玉米秸秆成型 块内部颗粒结合紧密,机械镶嵌作用明显,对应得到 的成型块物理品质和力学性能较好。

参考文献

- 王建祥,蔡红珍. 生物质压缩成型燃料的物理品质及成型技术[J]. 农机化研究,2008(1):203~205.
 Wang Jianxiang, Cai Hongzhen. Review on physical properties and forming technology of biomass fuel compressed [J].
 Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008 (1): 203~205. (in Chinese)
- 2 马孝琴.生物质(秸秆)成型燃料燃烧动力学特性及液压秸秆成型机改进设计[D].郑州:河南农业大学,2002. Ma Xiaoqin. Study on kinetic characteristics of biomass (straw) briquettes combustion and improvement design of hydraulic
- straw briquetting press [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2002. (in Chinese)
- 3 O' Dogherty M J, Wheeler J A. Compression of straw to high densities in closed cylindrical dies [J]. J. Agric. Engng. Res., 1984, 29(1):61~72.
- 4 Lindley J A, Vossoughi M. Physical properties of biomass briquettes [J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(2): 361 ~ 366.
- 5 郭康权. 粉粒体技术基础[M]. 西安:西北大学出版社,1995.
- 6 回彩娟. 生物质燃料常温高压致密成型技术及成型机理研究[D]. 北京:北京林业大学,2006. Hui Caijuan. Studies of biomass solidifying technology and principle with high pressure on natural conditions for bio-fuel making [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006. (in Chinese)
- 7 Lin Yuyi, Mao Shanfu. Potential and its effect on compaction of biomass fuel logs [J]. Biomass and Bioenergy, 2001, 20: 217 ~ 222.
- 8 侯振东.玉米秸秆固化成型技术研究[D].北京:中国农业大学,2009. Hou Zhendong. Study of densification of corn stover [D]. Beijing: China Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- 9 Xiao Zhizhuang, Qu Yinbo, Gao Peiji, et al. Cellulose-binding domain of endoglucanase Ⅲ from trichoderma reesei disrupting the structure of cellulose [J]. Biotechnology Letters, 2001,23(9):711~715.