

生物质颗粒燃料微观成型机理

霍丽丽^{1,2}, 田宜水¹, 孟海波¹, 赵立欣¹, 姚宗路¹

(1.农业部规划设计研究院, 北京100125; 2.中国农业大学工学院, 北京100083)

摘要: 为研究生物质颗粒燃料的微观成型机理, 以玉米秸秆、木屑为原料利用环模式成型机压缩成生物质颗粒燃料, 并对原料、粉碎原料及生物质颗粒燃料进行显微形貌观察, 对比不同原料、不同阶段物料的微观形态和散粒体压缩过程的结合形式。结果表明: 环模式成型机为间断性压缩, 生物质颗粒燃料微观成型机理为分层压缩, 层与层间距为 25~40 μm ; 从横截面看分3层: 中心层散粒体“平铺”, 过渡层扭曲变形, 表层“直立”。相同挤压力下秸秆颗粒燃料比木屑颗粒燃料的密度小。为生物质颗粒燃料的成型机具提供重要的设计理论依据。

引言

生物质颗粒燃料作为一种新型可再生能源, 它采用模辊式成型机具压缩成形, 与松散秸秆和煤相比, 具有便于储存和运输、燃烧过程黑烟少、火力旺、燃烧充分、不飞灰、干净卫生、且 NO_x 、 SO_x 排放量低、可实现自动化上料等优点。用生物质颗粒燃料替代煤作燃料, 对实现能源的可持续发展和对降低温室气体及污染物的排放具有重要作用^[1-2]。

生物质颗粒燃料

的生产技术已基本成熟, 但相应的成

型设备存在关键部件磨损快, 寿命短等问题^[3-4]

, 原因是生物质颗粒燃料的微观成型机理研究较少。现有研究中, 郭康权指出, 在垂直于最大主应力的方向上, 粒子以相互啮合的形式结合, 在沿着最大主应力的方向上, 粒子以相互贴合的形式结合^[5]。胡建军和徐广印对玉米秸秆、棉花秸秆、小麦秸秆、稻草及木屑五种原料, 采用同一压力, 不同压缩速度进行压缩, 分析微观形貌变化, 提出了秸秆冷态压缩成型的微观结合模式; 在横截面方向上, 秸秆组织受到严重破坏, 以相互贴合的形式结合; 在纵截面方向上, 秸秆组织破坏较小, 以相互嵌合的形式结合^[6-7]

。齐菁对稻壳颗粒燃料进行扫描电镜观察, 提出稻壳颗粒成型机理包括化学结合和物理结合两部分, 主要以物理结合的“片搭”形式结合^[8]。孟海波研究了秸秆原料的微观组织形貌^[9]

。刘圣勇仅对成型后的玉米秸秆颗粒燃料的微观组织进行观察, 说明了秸秆组织结构变的混乱无秩序, 层与层之间的空隙较小, 连接物无明显界线, 结合紧密, 断面的形成有相互牵拉的迹象^[10]。

Nalladurai Kaliyan对压缩前后的玉米秸秆和颗粒进行对比, 从物质的结合角度出发, 得出原料散粒体之间以“坚实的桥梁”形式结合的, 压缩温度升高, 可以激活水分的作用, 使之与木质素, 蛋白质, 淀粉和脂肪一并成为天然的粘结剂, 有助于颗粒的成型^[11]

。国内外针对生物质颗粒燃料的微观成型机理研究内容并不深入, 只说明了压缩后其内部结构变紧密的现象, 对散粒体间的结合形式论述具有局限性, 目前从微观角度对成型机理的研究仍处于初步研究阶段。

本试验以玉米秸秆、木屑等为原料, 用环模式成型机进行压缩成型, 利用扫描电镜和电子显微镜, 对生物质颗粒燃料压缩前后的微观形貌进行观察研究, 讨论散粒体的结合形式, 从微观散粒体结合角度分析生物质颗粒燃料的成型机理, 为生物质颗粒燃料的成型机具的开发提供理论基础。

1材料与方法

1.1仪器设备

试验仪器电子显微镜 (OlympusBX41)、显微摄像系统 (Canon550D)、扫描电子显微镜 (S-3400N)、生物质颗粒燃料成型机 (485型)、粉碎机 (筛孔径8mm)、电子天平 (PL2002/01型、精度0.01g)、标准筛一套 (孔径分别为6mm, 3.2mm, 1mm)、电热鼓风干燥箱 (101-1A型)、干燥器、砂纸 (粒度600~5000)、切片刀、载玻片、盖玻片、刷子、镊子、洗耳球等。

1.2试验材料

本试验选择北方地区极为丰富的玉米秸秆和木屑作为试验原料。

将玉米秸秆分为3份，第1份对玉米秸秆的表皮和玉米秸秆心部取样，分别进行切片，待观察；第2份用粉碎机粉碎（粉碎后粒度分布见图1），然后对粉碎秸秆进行取样、干燥，制样，镀膜；第3份将粉碎原料压缩制成直径为6mm，长约18~50mm的圆柱颗粒，将成型的颗粒燃料标记，选取几料用切片刀分别切开，成一横截面和一纵截面，并依次用粒度由粗到细的砂纸磨光，待观察。

将木屑分为两份，第1份选取木屑细小颗粒（粒度分布见图1），方法与玉米秸秆第2份相同；第二份进行压缩成型，并切出截面方法与玉米秸秆第3份相同。

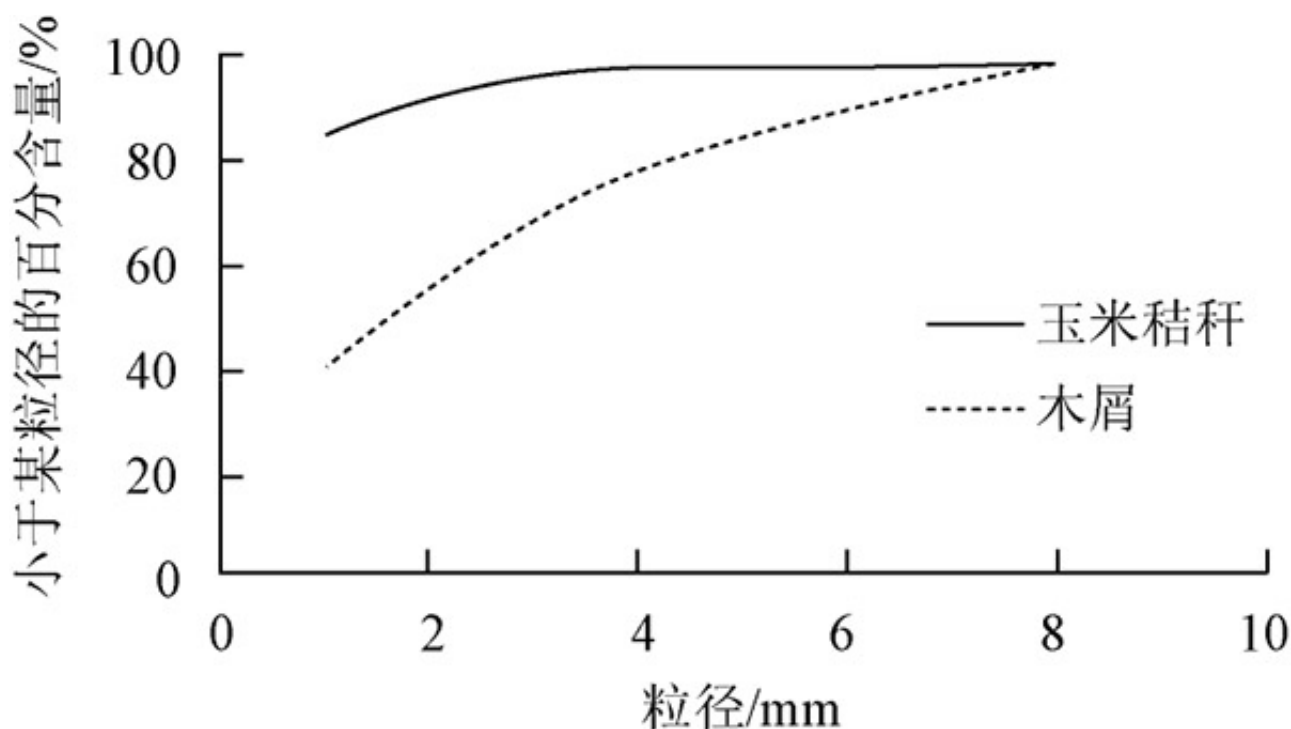


图 1 原料粒度分布

Fig.1 Granularity distribution of material

1.3试验设计

本试验选择玉米秸秆和木屑为主要研究对象，分别对上述的自然晾晒的玉米秸秆、粉碎后的玉米秸秆、自然晾晒的木屑和压缩成型的秸秆、木屑颗粒燃料等进行显微观察，对比分析粉碎、压缩前后秸秆、木屑的微观形貌变化，分析散粒体的结合形式，阐述生物质颗粒燃料成型的微观机理。

压缩后的颗粒燃料物理特性见表1。

表 1 颗粒燃料的物理特性

Table 1 Physical properties of biomass pellet

种类	玉米秸秆	木屑
原料全水分(成型前) %	13.35	11.59
原料堆积密度(成型前) /(g·cm ⁻³)	0.254	0.274
颗粒燃料全水分%	10.84	9.38
燃料直径 mm	6	6
燃料高度 mm	20	20
颗粒密度/(g·cm ⁻³)	1.22	1.26
压缩比	4.80	4.60

2结果与讨论

2.1外形特征

2.1.1自然晾晒的秸秆

自然晾晒干燥后的秸秆颜色呈黄色, 心部组织与表皮组织相分离, 空隙较大, 表皮光滑, 心部呈较为规则的条形纤维状, 纤维与纤维之间由少量的基本组织连接。

2.1.2粉碎后秸秆和木屑

粉碎后的秸秆呈片条状或少量颗粒状。自然晾晒的木屑呈棕黄色, 块状和粉末状, 比粉碎秸秆的尺寸小, 粒度较均匀。

2.1.3成型后的颗粒燃料

木屑颗粒燃料外表面光滑, 偶见表面有裂纹。在环横孔原料进口端端面呈“中心低, 四周高”, 横孔出口端端面呈“中心高, 四周低”, 凸起和凹陷端面较规则。颜色呈棕黄色, 与木屑原本颜色一致, 但略显深。

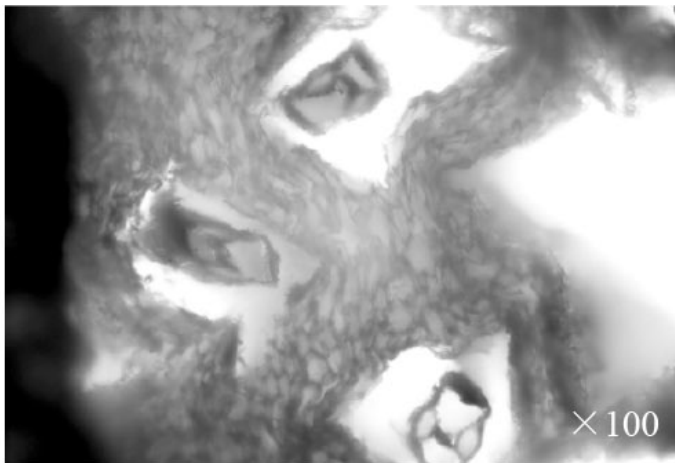
秸秆颗粒燃料外表面略显粗糙, 两端形貌与木屑颗粒相似, 凸起和凹陷端面粗糙无规则。颜色较木屑颗粒暗, 呈灰黄色, 比秸秆颜色深, 且较木屑颗粒燃料容易掰断。

2.2微观形貌

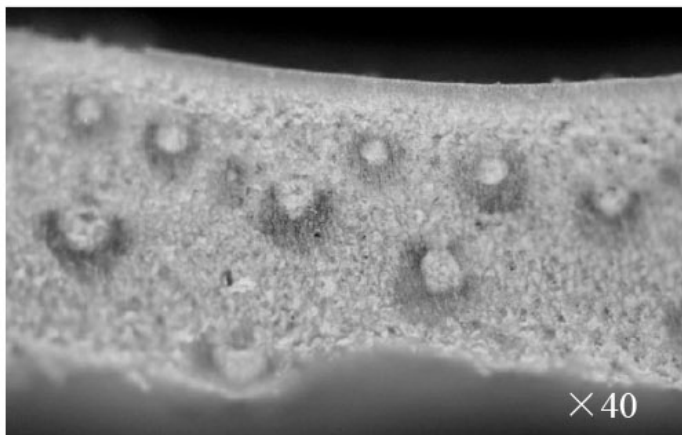
2.2.1自然晾晒的玉米秸秆

自然晾晒后的玉米秸秆切片制样进行观察, 秸秆心部的内层组织疏松, 髓腔大小均匀, 髓腔和维管束清晰可见, 但都略有挤压变形。新鲜秸秆维管束由外围的初生韧皮部和内部的初生木质部组成, 维管束间距为1.1mm左右。经晾晒后秸秆的维管束周围的韧皮部已消失, 只剩木质部的导管, 直径约0.1mm, 周围形成较大的气腔, 薄壁组织细胞愈接近茎中部越大, 即髓腔越大, 见图2a。表皮结构基本保持秸秆原貌, 从横截面上观察, 表皮组织呈蜂窝状, 靠近表皮部位的组织细胞越来越小, 维管束散生在基本组织中, 在秸秆表皮分布较多, 较小, 远离表皮部位分布较少, 较大,

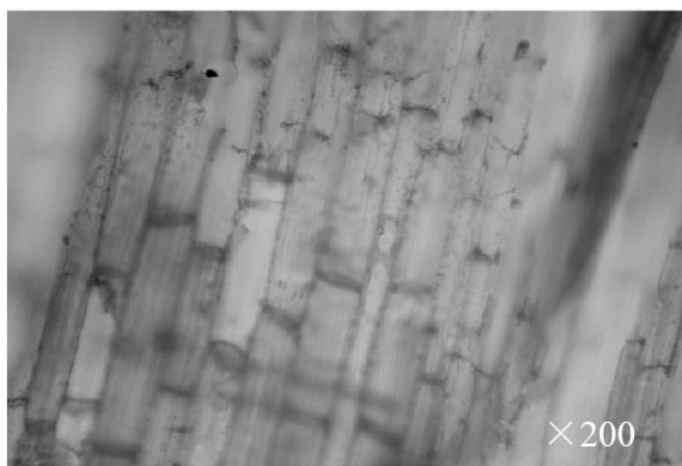
图2b。纵切面上观察组织细胞呈砖形，长约 $125\mu\text{m}$ ，宽约 $20\sim 30\mu\text{m}$ ，图2c，表皮外部具有角质层，厚度约 $5\mu\text{m}$ ，光滑坚硬。



a. 横切面



b. 横切面

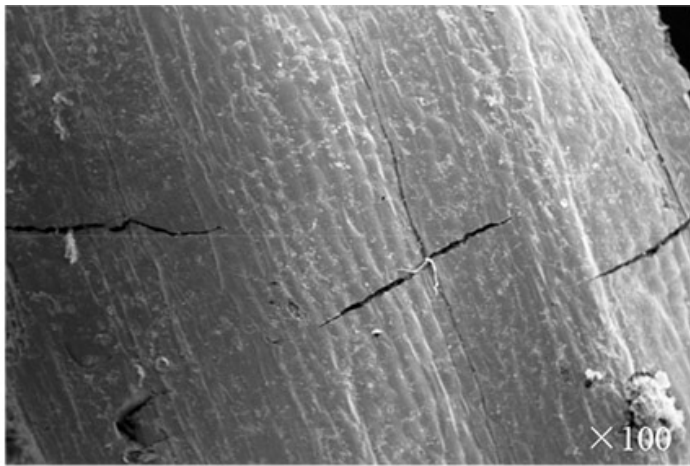


c. 纵切面

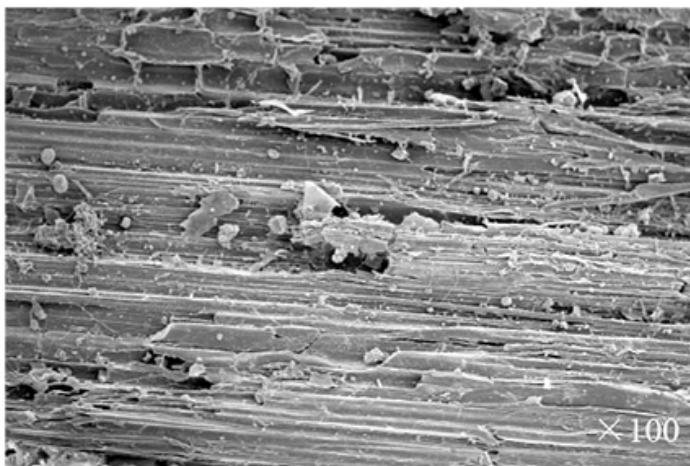
图 2 晾晒后玉米秸秆切面微观形貌
Fig.2 Micro-morphology of corn stalk

2.2.2 粉碎玉米秸秆

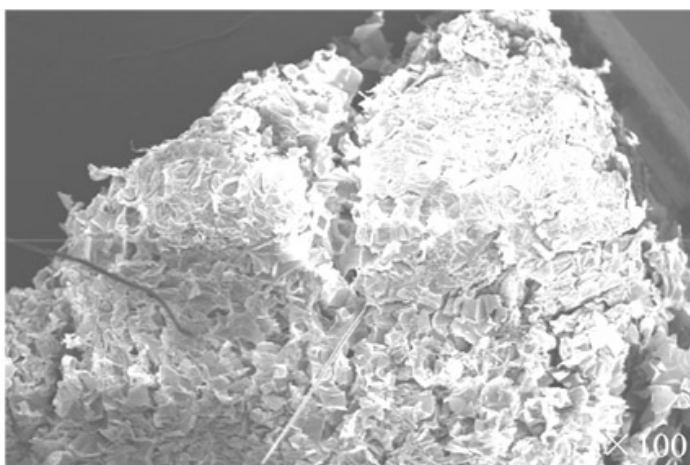
粉碎秸秆表皮有断裂痕迹，有少量孔洞和被嵌入的小颗粒，图3a。对粉碎秸秆表皮表面进行观察，基本组织有被撕裂痕迹，细胞不完整，断面可见清晰的破坏结构，并沾有其他细小散粒体，图3b。秸秆心部的基本组织有断裂层，细胞呈蓬松的碎片状，见图3c。秸秆粉碎，只对断面组织有所破坏，粉碎秸秆散粒体内部仍保持原有基本组织形态。



a. 外表面



b. 内表面



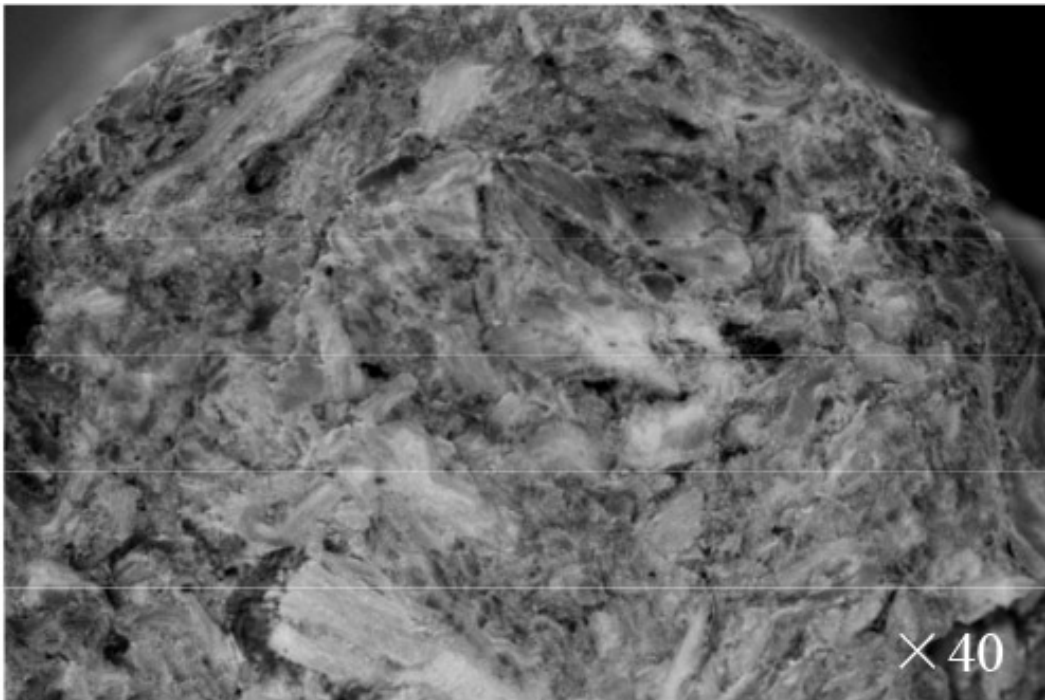
c. 髓

图 3 粉碎后玉米秸秆散粒体微观形貌

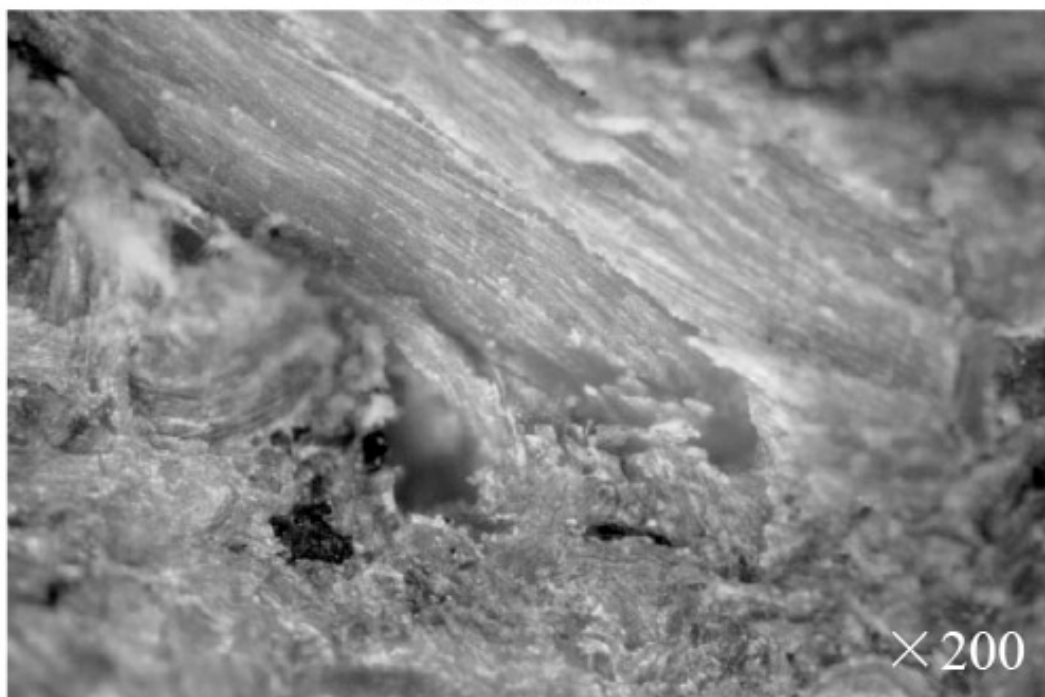
Fig.3 Micro-morphology of smashing corn stalk

2.2.3 玉米秸秆颗粒燃料

秸秆压缩成颗粒燃料其基本组织扭曲变形严重，原有的基本组织形貌已不存在，粉碎秸秆散粒体已完全嵌合在一起。散粒体结合形式从横截面看，图4a，可分为三层，分别为中心层、过渡层、表层。中心层散粒体形貌清晰可见，见图4b，散粒体呈“平铺”姿势，表层的散粒体呈“站立”姿势，过渡层散粒体严重变形扭曲，散粒体压缩示意图5。粉碎后的秸秆大多为片状或长条状，极少为粒状，压缩过程由于模具孔侧面的限制，随着挤压流动靠近模具面的秸秆散粒体沿着侧壁向下运动，而中心散粒体由于上压力的作用被挤倒而平铺。成型过程中，原料散粒体仅形态等发生挤压变形，属于物理变化，没有明显的化学变化。



a.横截面



b.横截面放大

图 4 玉米秸秆颗粒燃料横截面

Fig.4 Cross Section of stalk pellet

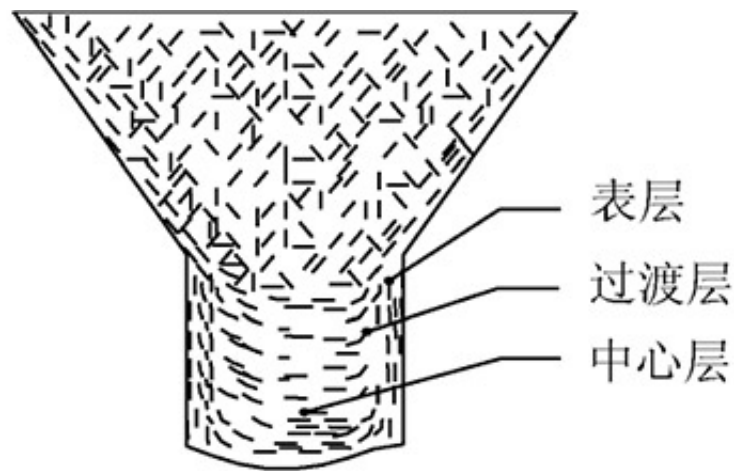
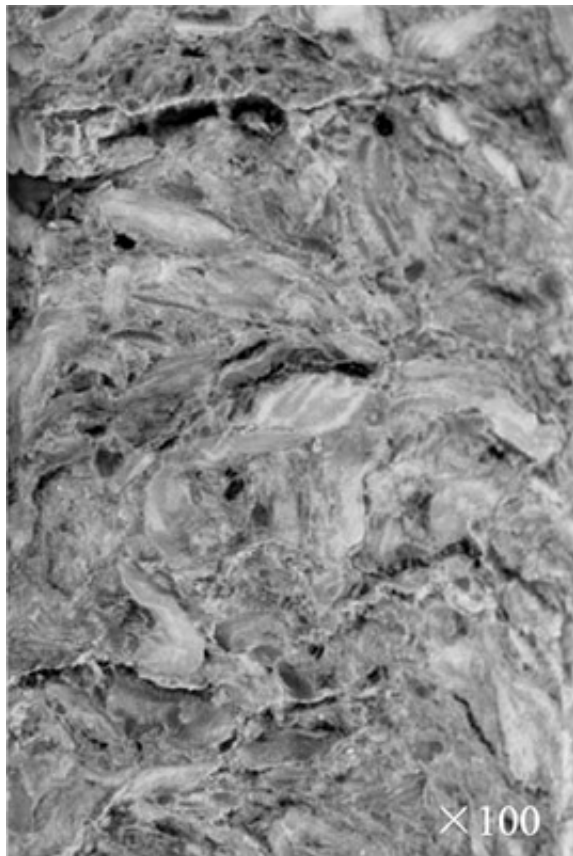


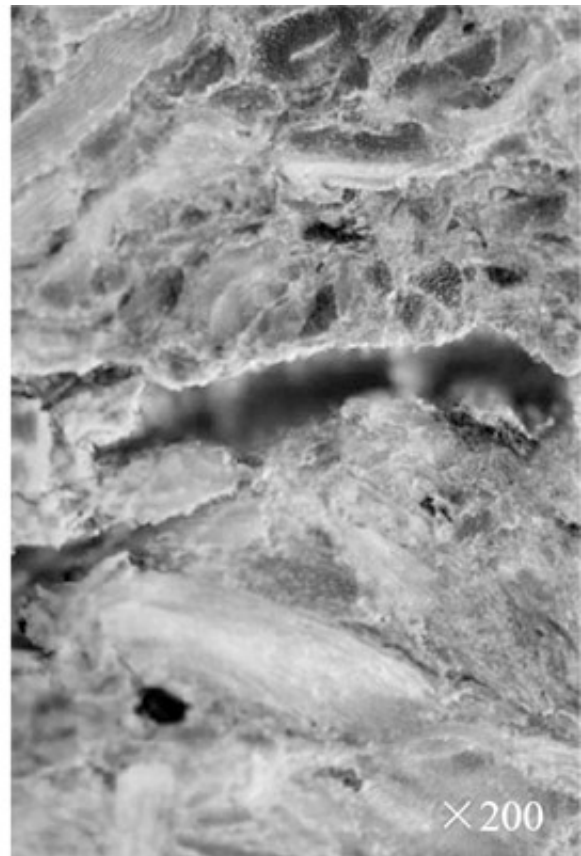
图 5 玉米秸秆散粒体压缩示意图

Fig.5 Schematic diagram of binding of corn stalk

纵截面秸秆粉碎散粒体相互挤压，呈不规则的鳞片状，图6a。由图可见两条清晰的裂痕，且间隙较大，两裂痕间距约 $40\mu\text{m}$ ，断层可见秸秆散粒体的结构扭曲变形较严重，散粒体间完全交错糅合在一起，图6b。裂痕产生是由于压缩过程为间断性的，粉碎的秸秆散粒体是一层一层被挤压成型。这符合环模成型机理，成型机通过模辊间的物料及其摩擦力使安装在环模内的压辊自转，将物料钳入、挤压，最后成圆柱状从环模孔中被连续挤出来，试验用成型机为双压辊，即环模旋转一周，每个环模孔被挤压两次，为间断性压缩。



a. 纵截面



b. 纵截面放大

图 6 秸秆颗粒燃料纵截面

Fig.6 Longitudinal section of stalk pellet

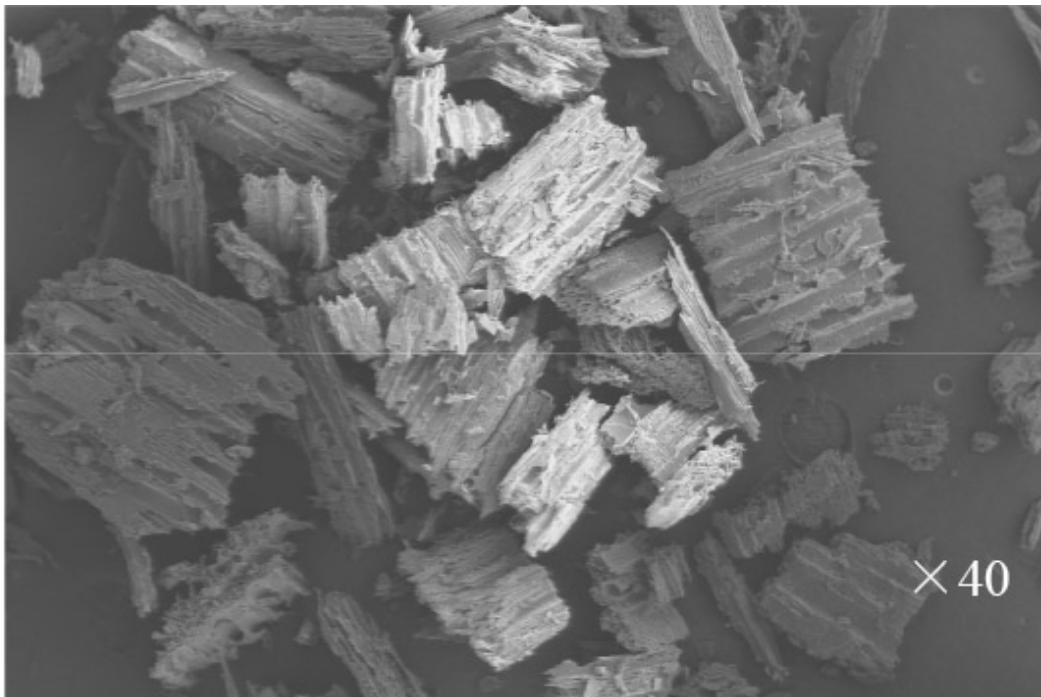
2.3木屑和木屑颗粒燃料微观形貌

2.3.1木屑

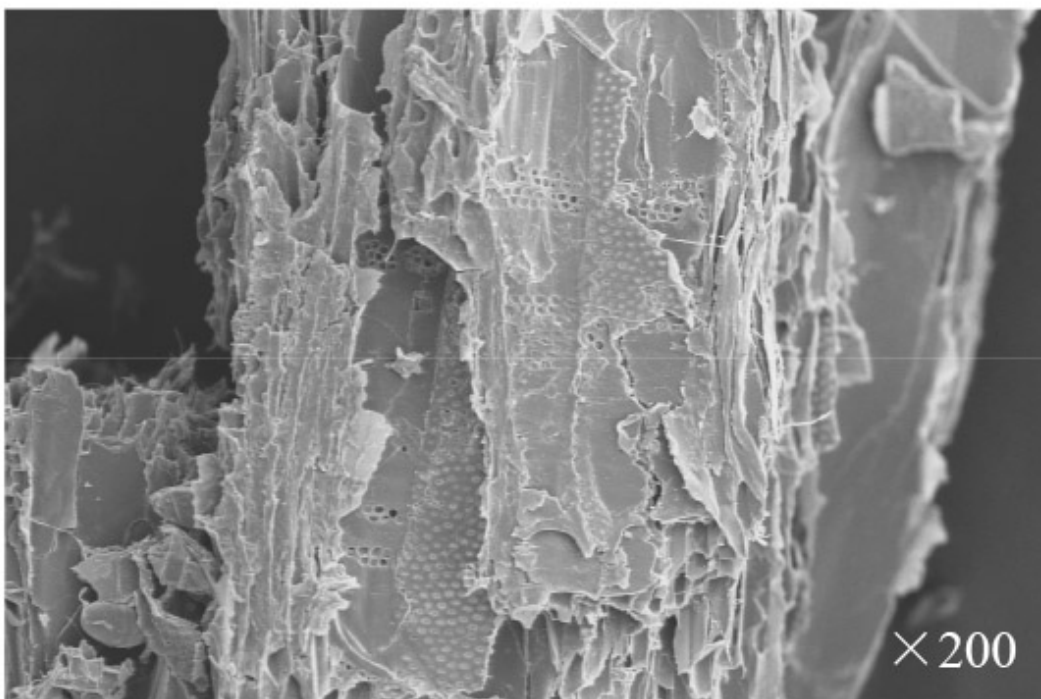
木屑的微观形貌与木材原貌一致，只是木屑边缘部分有切断的痕迹，木屑的表面形态略有变形，图7a。表面的细胞已断裂呈蓬松碎片状，破裂部仍可见木质原有的筛孔，图7b。

2.3.2木屑颗粒燃料

由于模具的挤压，木屑已完全嵌在一起，分辨不出散粒体之间的间隙及木屑表面的原有形貌，只观察到木屑网络骨架变细，且有一定的弯曲变形，结合处木屑与木屑之间已完全揉合在一起，部分木屑散粒体完全变形，扭曲。与玉米颗粒燃料类似，从横截面看，木质颗粒燃料形貌仍可分为中心层、过渡层和表层三部分，图8a。



a.木屑散粒体



b.木屑散粒体放大

图 7 木屑微观形貌

Fig.7 Micro-morphology of sawdust

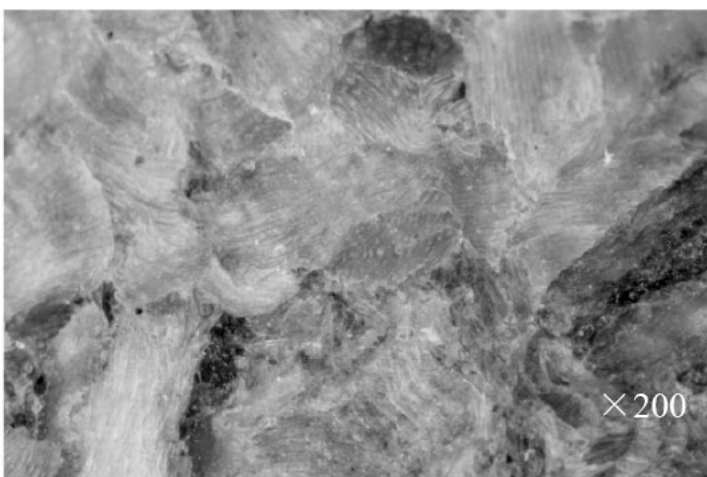
中心层散粒体“平铺”，清晰可见其为片状，图8b。表层散粒体“直立”，呈条块状分布。过渡层散粒体已完全变形，无法看出其原有形态。以上特征比秸秆颗粒燃料明显，图8c。



a.横截面



b.横截面放大（中心层）



c.横截面放大（过渡层）

图 8 木屑颗粒燃料横截面

Fig.8 Cross section of wood pellet

纵截面可见层与层相互叠加，片与片层叠在一起。由于挤压力和模具孔的限制，成型过程位于中心的散粒体先被挤出模具孔，因此，颗粒燃料的中心略凸起，散粒体分别向两侧弯曲，图9a，颗粒燃料仍有裂缝存在，两裂缝间距离约25 μm ，图9b。



a. 纵截面



b. 纵截面放大

图 9 木屑颗粒燃料纵截面

Fig.9 Longitudinal section of wood pellet

2.4 玉米秸秆和木屑颗粒燃料对比

肉眼观察秸秆颗粒燃料表面裂纹比木屑颗粒燃料多,且表面较粗糙,易掰断。木屑颗粒较结实,不易掰断。颗粒燃料的两端,一端面呈“中心低,四周高”,另一端面呈“中心高,四周低”,木屑颗粒燃料端面的凸起和凹陷较秸秆颗粒燃料光滑。

颗粒燃料的横截面观察,可分三层,中心层的散粒体“平铺”,表层的散粒体“直立”,过渡层散粒体变形严重。颗粒燃料纵截面观察,颗粒燃料内部有裂缝存在,裂缝是导致生物质颗粒燃料易掰断的直接原因。不同原料裂纹的宽度不同,玉米秸秆原料的生物质颗粒燃料裂纹间距比木屑原料的生物质颗粒燃料大,且裂缝间隙宽,因此,秸秆颗粒较木屑颗粒更易掰断。秸秆颗粒燃料呈不规则鳞片状,木屑颗粒燃料呈层状,且中心凸起,散粒体分别向两边弯曲,原因是木屑散粒体较粉碎秸秆散粒体的粒度分布均匀,80%以上为粒度小于1mm的散粒体,且粒度较小,压缩成型后的散粒体排列较整齐。

以原料粉碎粒度的现状来看,压力相同时,秸秆颗粒燃料的颗粒经密性稍差,若提高秸秆颗粒燃料经密性,则秸秆所需压力要大于木屑原料。

采用秸秆生产生物质颗粒燃料的生产工艺中,应在秸秆粗粉后,再进行一次细粉,使秸秆粉料粒度变小,并使粒度分布更加均匀,可以提高生物质颗粒燃料的成型质量。但成本相应增加。

3 结论

- 1) 粉碎秸秆和木屑的微观形貌未发生本质变化,只表面细胞结构被损坏。颗粒燃料的微观形貌已完全变化,基本失去了原有的细胞结构微观形貌,散粒体揉合在一起形成新的微观形貌。
- 2) 生物质颗粒燃料横截面的微观形貌观察,可将其形貌分成中心层、过渡层和表层三部分,中心层散粒体“平铺”,表层散粒体“直立”,过渡层散粒体挤压变形严重。
- 3) 生物质颗粒燃料为分层压缩,颗粒燃料内部有裂纹存在,这与环模式成型机具的间断性压缩过程吻合。该压缩机理导致颗粒内部有断层,这是玉米秸秆颗粒燃料容易掰断的主要原因,若要提高秸秆颗粒燃料质量,应在压缩前对原料再进行细粉,减小原料的粒度,使粒度分布更加均匀,来提高散粒体结合能力。
- 4) 秸秆颗粒燃料比木屑颗粒燃料的层间距大,导致木屑颗粒燃料的颗粒密度大于秸秆颗粒燃料。现有原料条件下,秸秆颗粒燃料比木屑颗粒燃料更难成型,若要提高秸秆颗粒燃料颗粒密度,秸秆原料压缩所需压力应大于木屑原料,可通过增加环模压缩比或适当增加环模转速等方式,来增加颗粒燃料密度。

[参考文献]

- [1]姚向君,田宜水.生物质能资源清洁转化利用技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [2]王久臣,戴林,田宜水,等.中国生物质能产业发展现状及趋势分析[J].农业工程学报,2007,23(9):276-282.
- [3]姚宗路,田宜水,孟海波,等.生物质固体成型燃料加工生产线及配套设备[J].农业工程学报.2010,26(9):280-285.
- [4]霍丽丽,侯书林,田宜水,等.生物质固体燃料成型机压辊磨损失效分析[J].农业工程学报.2010,26(7):102-106.
- [5]郭康权.植物材料压缩成型时粒子的变形及结合形式[J].农业工程学报,1995,11(1):138-143.
- [6]胡建军.秸秆颗粒燃料冷态压缩成型实验研究及数值模拟[D].大连理工大学,2008,6.
- [7]徐广印,沈胜强,胡建军,等.秸秆冷态压缩成型微观变化的实验研究[J].太阳能学报,2010,31(3):273-278.
- [8]齐菁,于洪亮,林海,等.稻壳生物质颗粒成型机理的显微观察[J].辽宁农业科学,2009(6):49-50.
- [9]孟海波.秸秆切割破碎与揉切机刀片耐用性试验研究[D].中国农业大学,2005,5.

[10]刘圣勇, 杨国峰, 苏超杰, 等.玉米秸秆成型燃料的微观结构观察与分析[J].热科学与技术, 2009, 8(3): 277 - 282.

[11]Nalladurai Kaliyan, R.Vance Morey.Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switch grass [J].Bioresearch Technology, 2010(101): 1082 - 1090.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/107359.html>