

环模成型机成型模具的改进设计及力学分析

王述洋, 王九龙*, 牛海峰 (东北林业大学机电工程学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 利用生物质致密成型技术将农林废弃物如秸秆、木屑和枝桠等进行压缩成型得到具有一定形状和密度的生物质成型燃料, 是实现生物质能源有效利用的重要手段之一。在加工成型燃料的过程中, 环模成型机凭借其压缩密度大、成型效果好等特点被广泛使用着, 但这种成型机普遍存在模具寿命短、维修成本高、更换不便等缺陷。针对这些问题, 对环模成型机的成型模具结构进行全新的改进设计, 并对成型模具在工作过程中进行了力学分析, 为环模成型机的结构优化提供了理论依据。

关键词 生物质; 成型; 模具; 改进设计; 力学分析

中图分类号 S220.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)29-11913-03

Improved Design and Mechanical Analysis of Molding Mould on Ring-die Molding Machines

WANG Shu-yang et al (College of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract Compressing the agricultural and forestry wastes such as straws, wood chips and little branches and so on into biomass briquettes of a certain shape and density by the means of biomass compact molding technology, is an important means of the efficient use on biomass energy. In the process of producing biomass briquettes, ring-die molding machines are being widely used because of its molding characteristics of high density, effective forming etc. But these machines have some defects, such as a short die's life, high maintenance's cost, inconvenient replacement etc. In view of the above defects, a new improved design of the mould's structure was put forward and a mechanical analysis of the moulds when they are working was conducted, so that it can provide a theory basis for the structure's optimization of ring-die molding machines.

Key words Biomass; Molding; Mould; Improved design; Mechanical analysis

生物质不仅是替代日益短缺的化石资源的可再生战略资源, 而且是当前和未来几十年内可以直接大规模利用的现实资源。我国每年有 7×10^9 多吨农业秸秆(扣除各种利用还有 4.7×10^9 t 左右), 3.3×10^9 t 林业废弃物和 3×10^9 多 t 沙生灌木废弃生物质, 三者累计, 每年至少有 10×10^9 t 废弃农林生物质有待利用。目前, 在我国经济欠发达的农村地区, 大多数农民将生物质秸秆直接就地焚烧, 这种利用方式的直接后果是利用效率低、环境污染大, 并且对航空安全和路面交通安全有一定的影响。因此, 这种直接燃烧生物质秸秆的方式已不能适应低碳生活、绿色生态的要求^[1]。

由于生物质中的灰分、氮、硫等有害物质都远远低于矿物质能源, 具有储量大、炭活性好、容易着火、挥发性组分高等特点, 因此生物质是一种非常理想的能源燃料, 十分适合燃烧转化利用。生物质燃烧以后残余的灰渣富含磷、钙、钾、镁等植物所需营养元素, 故可以作为肥料进行还田。鉴于生物质能源具有资源储量的巨大性和独特的可再生性等优势, 目前全球各国都将其作为国家新能源发展的重要选择。中国国家发改委在《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》中明确提出: 到 2013 年秸秆综合利用率达到 75%, 到 2015 年力争秸秆综合利用率超过 80%。

如何把生物质能源转换成优质、清洁、方便的能源成为亟待解决的问题, 生物质致密成型技术是提高生物质能源焚烧效率、方便运输的有效途径之一。目前国内外市场上常见的致密成型设备主要有以下四种类型: 螺旋挤压成型机、活塞冲压成型机、平模成型机和环模成型机。其中, 环模成型

机凭借工作时不需加热、对原料含水率要求较宽(10% ~ 30%)、单机产量大、压缩密度大、成型效果好等特点被广泛使用着, 但这类成型机普遍存在模具易磨损、使用寿命短、维修成本高、更换不便等缺点。针对环模成型机的以上缺点, 笔者对成型模具的结构进行了全新的改进设计, 设计出一种使用寿命长、维护成本低、维修方便的镶嵌型成型模具。同时, 本文对成型模具在工作过程中进行了力学分析。

1 环模成型机成型模具结构的改进设计

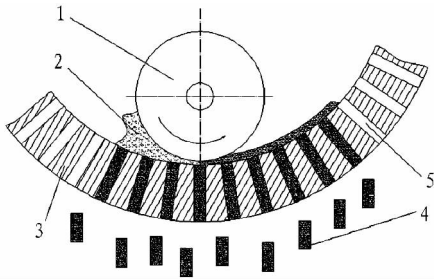
1.1 挤压成型过程简介

环模成型机根据环模所安放位置的不同, 可以划分为立式和卧式两种机型; 根据运动形式又可以划分为压辊主动 - 环模固定和环模主动 - 压辊从动两种不同的运动形式。此款改进设计主要针对运动形式为压辊主动 - 环模固定的环模成型机。其主要由输送机构和环模成型机构两部分组成。环模和压辊是环模成型机的两个核心部件, 其中环模的四周分布着许多成型模孔, 压辊安装在环模的内部。压辊与传动主轴相连, 环模安装在固定的支架上, 当主轴转动时, 带动压辊作旋转运动。工作原理: 首先由输送机构将粉碎成一定粒度(3 ~ 5 mm)的生物质物料输送到压缩室内, 然后电机驱动主轴带动压辊作旋转运动, 压辊作等速运动将物料均匀分散到压辊和环模之间, 使环模与物料, 压辊与物料, 物料与物料相互之间进行挤压摩擦。在挤压摩擦的过程中, 物料中的纤维素和半纤维素相互结合在一起。与此同时, 挤压摩擦产生的热量使木质素软化成为天然的粘结剂, 这种粘结剂使得纤维素和半纤维素以及其他组分更加牢固地结合在一起。随着生物质物料的不断填充, 成型模孔中受到挤压摩擦的物料不断增加。与此同时, 生物质之间的挤压力不断增大, 在成型模孔中不断致密成型。当挤压力大于摩擦力时, 被挤压成型的生物质不断从环模四周的成型模孔中挤出, 形成了生物质成型燃料, 其成型密度

作者简介 王述洋(1957-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 博士生导师, 国家二级教授, 从事生物质能源与材料开发利用技术及装备研究, E-mail: 823635763@qq.com。* 通讯作者, 在读硕士研究生, 研究方向: 新能源特种机械及机电一体化工程。

收稿日期 2013-09-16

约为 1 g/cm^3 (图1)。



注:1-压辊;2-物料;3-环模;4-成型燃料;5-成型模孔。

图1 环模成型机工作原理示意图

1.2 成型模具的磨损 环模成型机单机产量大,自动化程度相对较高,对原料的适应性比较强,可广泛用于加工多种生物质原料,适合生物质致密成型燃料的大规模生产,满足生物质致密成型燃料未来产业化发展要求。因此,环模成型机被广泛使用着。由于被加工的生物质物料可能含有少量的沙子等其他非生物质杂质,因此这极易对成型机的环模造成巨大的磨损。环模的使用寿命按照产量计算,目前国内的环模使用寿命仅为 $100 \sim 1\,000 \text{ t}^{[2]}$ 。

环模失效主要产生以下4种现象:①环模工作一段时间以后,成型模孔内壁磨损,孔径变大,所生产出的成型燃料变形比较厉害;②环模的成型模孔进料斜面被磨掉,被挤入模孔的生物质物料量减少,挤压力减小,成型模孔易堵塞,导致环模失效(图2);③环模成型模孔内壁磨损后,内表面凹凸不平,使得生物质物料流动受阻,出料量急剧减少(图3);④环模内孔磨损后,导致相邻模孔之间的壁厚变薄,因而环模的结构强度下降,容易在最危险的截面出现裂纹,并且随着裂纹的不断延伸,从而出现环模断裂的现象^[3]。导致环模易磨损、使用寿命短的主要原因是成型环模的结构不合理(环模与成型模孔于一体),二者集成于一体的结构容易出现这样的结果:有时环模只有几个成型模孔磨损不能工作需要更换时,却要把整个环模一起换掉,不仅给更换工作带来不便,而且造成了极大的经济浪费,使得维修成本增加。

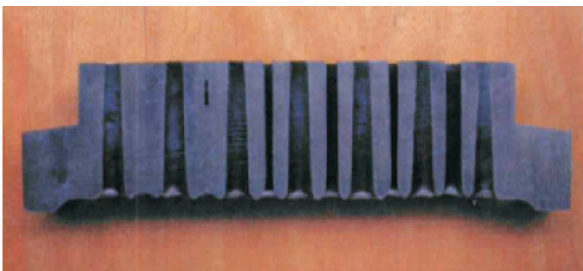


图2 失效环模切割断面

1.3 成型模具的结构改进设计 为了能够延长环模成型机的环模使用寿命、减少磨损、方便更换、降低维修费用,必须对环模的结构进行全新的改进设计。设计中采用了镶嵌型的成型模具,改进后的压缩室结构如图4所示,图5为改进后的成型模具的剖视图。

该改进设计主要针对运动形式为压辊主动-环模固定的环模成型机,下环模固定在机体上,两个压辊通过连接板

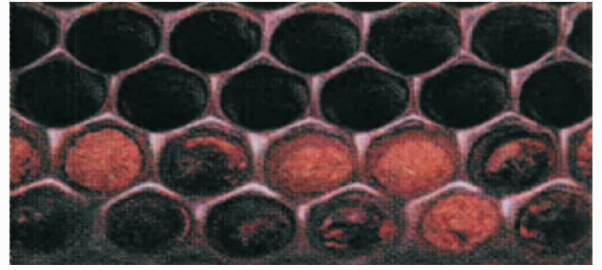
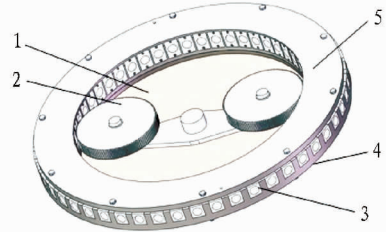


图3 失效环模内圈



注:1-挡板;2-压辊;3-成型模具;4-下环模;5-上环模。

图4 改进后的压缩室结构示意图

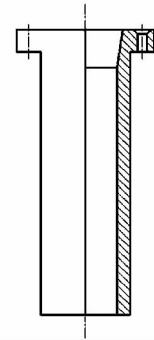


图5 成型模具的剖视图

与主轴相连,成型模具镶嵌在下环模上(采用过盈配合),上环模通过螺栓固定在下环模上并卡住成型模具。与此同时,为了防止成型模具在压辊滚过之后受力反弹,沿着环模径向窜动,采用沉头螺钉将成型模具分别与上、下环模固定。为了能使物料の入孔阻力减小,更方便进入模孔。设计的成型模具进料孔口的锥形角度为 $60^\circ \sim 120^\circ$ 。

改进结构设计后的成型模具拥有多周期、长寿命的使用特点:当成型机工作一段时间以后,摩擦损耗导致成型模具孔径变大、钝化时,取下磨损的成型模具,进行扩孔加工以后可以用于其他规格成型颗粒的生产。如此可以实现模具的重复使用,节省维修更换成本。

为了延长成型机的使用寿命和降低生产成本,压辊采用耐磨性能好的高碳高锰钢,如65Mn。成型模具选用合金渗碳钢种或低碳镍铬合金,如含Cr、Mn、Ti等。由于压缩室经过改进后,上、下环模在工作过程中所受摩擦力相对于成型模具来说是很少的,因此其材料可选用普通的碳素钢,如45钢。相对于传统的一体式成型环模,可以减少费用昂贵的合金钢使用,从而降低了生产成本。

2 环模成型机成型模具的力学分析 成型模具工作过程中的受力情况如图6所示,根据模具的受力平衡可得:

$$F = F_N = \int_0^l f(l) ds = \int_0^l \pi D f(l) dl$$

$$f = \mu N$$

式中: L —成型模具长度;

D —成型模具直径;

$f(l)$ —摩擦力密度;

μ —物料与成型模具间的摩擦系数。

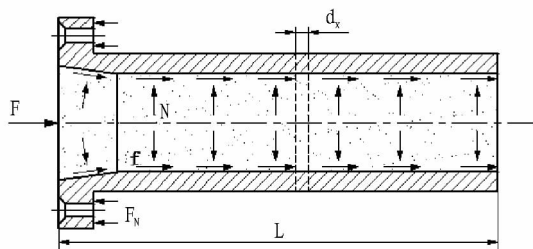


图 6 成型模具受力情况

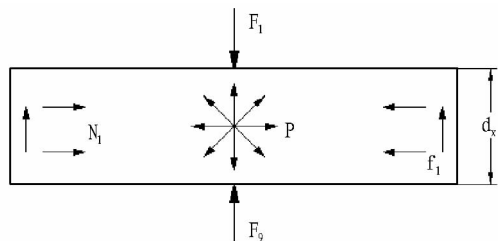


图 7 简化的受力模型

物料在成型的过程中,由于在成型模具中产生高压、高温的环境,使得物料中的木质素完全软化,当挤压力不在增加时,物料发生了塑化。塑化后的物料流动很充分,因此可以把长度为 d_x 成型模具看作是一个压力容器,对成型模具的受力进行简化,如图 7 所示。

根据图 6 的受力模型可得:

$$P = F_1 / S = \frac{4F_1}{\pi D^2}$$

$$N = P\pi D dx = \pi D \frac{4F_1}{\pi D^2} dx = \frac{4F_1 dx}{D}$$

由上述两式和图 7 可得:

$$F_1 = \int_0^L f(l) ds + F_2 = \pi DN \mu dx + \int_0^L f(l) dl$$

根据图 6 所示,由于沿轴的方向上压力 N 是变化的,因此摩擦力 f 也是变化的。设成型模具的环向应力为 σ_θ ,轴向应力为 σ_x , t 为假设等压容器的壁厚,如图 8~9 所示。由于容器壁很薄,因此可以假设环向应力 σ_θ 和轴向应力 σ_x 沿成型模具壁的厚度方向上均匀分布。根据力学平衡条件有:

$$\sigma_x (\pi D t) - P \frac{\pi D^2}{4} = 0$$

$$\sigma_\theta (1 \times 2t) - P (1 \times D) = 0$$

解得:

$$\sigma_x = PD/4t; \sigma_\theta = PD/2t$$

根据广义胡克定律,环向应变 ε_θ 与环向应力 σ_θ 、轴向应力 σ_x 二者有关,即有关系式:

$$\varepsilon_\theta = \frac{\sigma_\theta}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E}$$

带入到公式解得:

$$P = \frac{2Et\varepsilon_\theta}{D(1-0.5\mu)}$$

式中: P —成型模具内部各点压强;

E —成型模具的弹性模量;

μ —成型模具的泊松比。

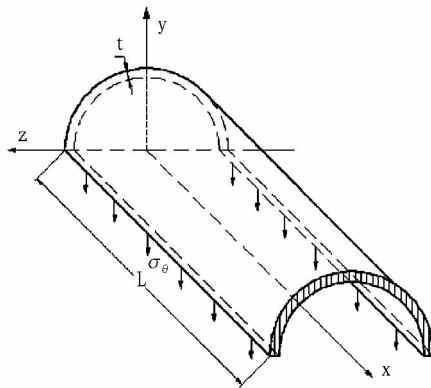


图 8 成型模具环向应变力分析

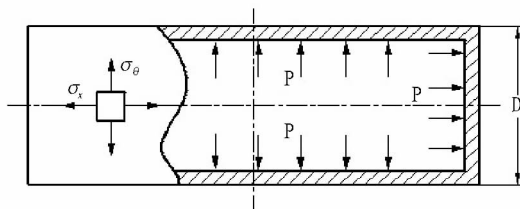


图 9 成型模具截面受力分析

通过上述的力学计算分析可知:要想得到成型模具内部任何一点的压强 P ,只要确定成型模具内部该点的环向应变 ε_θ 即可,进而可以计算出该处的摩擦力和压力。

3 结论

该文对环模成型机的成型模具进行了全新的结构改进设计,采用镶嵌型的成型模具,可以有效地减少模具的磨损,延长模具的循环使用寿命,方便更换维修,降低了生产成本。同时,对成型模具在工作过程中进行了力学分析,为以后的进一步研究提供了理论依据。

参考文献

[1] 王字满. 生物质成型模具检测技术及模具优化设计[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2012.
 [2] 阳向军. 卧式环模制粒机环模失效原因浅析[J]. 饲料工业,2003(9):9-10.
 [3] 吴劲锋. 制粒环模磨损失效机理研究及优化设计[D]. 兰州:兰州理工大学,2008.
 [7] 顾人侠,谢常实,徐崇福,等. 分光光度法测定倍子单宁酸的研究[J]. 林产化学与工业,1985(4):12-23.

(上接第 11850 页)

[6] 吕翔,杨子祥,李杨,等. 五倍子单宁含量测定方法的比较研究[J]. 西南农业学报,2012,25(3):1080-1084.