

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.04.026

废旧塑料再生造粒工艺浅析^{*}

黄兴元,乐建晶,柳和生,熊鹏

(南昌大学机电工程学院聚合物成型研究室,南昌 330031)

摘要:介绍了废旧塑料造粒工艺,包括无熔造粒、湿法造粒、干法造粒、有机溶剂辅助软化造粒、复合再生造粒和热风循环加热熔融造粒等,分析了各种造粒工艺的优缺点,并进行了分析对比,其中热风熔融工艺采用热风直接加热废旧塑料进而挤出造粒,无需破碎处理,改善了工作环境,避免了二次污染,具有很好的发展前景。

关键词:废旧塑料;再生造粒工艺;热风熔融;造粒设备

中图分类号: TQ320.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)04-0134-05

Analysis on Granulating Process of Waste Plastics

Huang Xingyuan, Le Jianjing, Liu Hesheng, Xiong Peng

(Polymer Processing Lab, School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract : The waste plastics granulation process, including no melt granulation, wet granulation, dry granulation, organic solvent assisted softening granulation, composite regeneration granulation and hot air circulation heating melt granulation were introduced, and the advantages and disadvantages of those granulating process were analyzed and compared, from those discussions the hot melt granulation process uses hot air to directly heat the waste plastics and then the granulations are extruded without crushing process. This technology can improve the working environment and avoid secondary pollution, it has a broad development prospects.

Keywords : waste plastics ; regeneration granulation process ; hot melt ; granulation equipment

塑料因其优异的性能被广泛用于国民经济的各个领域。据统计,2013年,我国全年累计生产塑料制品6188.66万t,比2012年增长7.04%。塑料制品给人类生活带来便利的同时,也带来了极大的负效应,尤其是废旧塑料随着塑料制品使用量的增加急剧上升,并对环境造成的污染也日趋严重。据统计,2011年,我国仅一次性塑料饭盒和各种泡沫包装就达9500万t,加上报废家电、汽车废旧塑料和其它废旧塑料,总量接近2亿t^[1]。回收再生造粒为废旧塑料处理提供了一条资源化道路,既减少废旧塑料对环境的污染,又实现能源的再生利用。

1 废旧塑料的处理方式

1.1 填埋处理

对废旧塑料进行填埋是一种操作简单、投资成本低廉的处理方法。填埋处理通常选择地势低洼处进行卫生填埋^[2]。塑料具有体积大、质量轻、长期不分解腐烂的特点,填埋废旧塑料占用土地面积大,严重浪费国土资源,破坏土壤结构,阻碍地下水的流通和渗透,并且填埋后的废旧塑料经雨水长期冲刷,会将大量的有害物质带入人类生活环境中,危害人类健康。

1.2 焚烧回收热能

焚烧回收热能是回收利用废旧塑料燃烧时所产生的热

量^[3]。对于难分离、无法回收的废旧塑料,可以通过燃烧回收热能进行处理。该方法可实现能源的有效利用,变废为宝,操作方便、成本低,但是焚烧时气味难闻,会释放多种有害物质,如强致癌物质二恶英,严重危害人类健康和生态环境。

1.3 再生造粒

塑料的分类方法很多,按各种塑料对温度的不同反应,可分为热塑性塑料和热固性塑料^[4]。热塑性塑料是指在一定温度范围内,能够反复加热熔化、冷却固化的塑料,如聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯等;热固性塑料是指固化后不熔融的塑料,如酚醛、环氧及不饱和聚酯塑料等。前者在废旧塑料中占有很大的比重,可通过再生造粒回收,后者由于固化后不能熔融,回收难度大,常常粉碎后作为填料使用^[5]。

再生造粒是一种通过造粒工艺将废旧塑料变为颗粒的回收方法。再生颗粒可用于成型加工,制得的产品性能与原产品的性能相差不多,具有很高的经济价值。相比于填埋处理和焚烧处理,再生造粒是真正意义上的资源再生循环利用。

^{*} 国家自然科学基金资助项目(51403615),江西省科技支撑项目(20122BBG70069-2),江西省教育厅科学技术研究项目(2013.1-2014.12)

联系人:黄兴元,主要从事聚合物成型理论与装备研究

收稿日期:2015-02-02

用。在我国废旧塑料回收造粒技术起步比较早,为资源的再生利用做出了巨大贡献。然而由于我国绝大多数企业处于小规模、无序化的生产经营模式,加工过程易产生污水、废料,未经过处理直接排放,造成环境污染,并且我国废旧塑料回收造粒效率低、成本高、工作环境差。再生塑料颗粒的质量和再生塑料制品的性能取决于造粒工艺,寻找一条简单方便、快捷高效、节能环保、经济适用的工艺流程是塑料造粒领域研究的重点。

2 造粒工艺

2.1 无熔造粒工艺

无熔造粒工艺流程如图1所示^[6]。

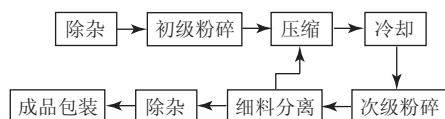


图1 无熔造粒工艺

首先将废旧塑料经过清洗、筛选等过程去除金属等杂质,然后将废旧塑料粉碎并由气动系统送往压缩机,通过压缩系统的压缩和捻搓作用,使物料变成条状(这个过程是在塑料维卡软化点以下并在很短的时间内完成),再将条状物料冷却后粉碎,控制物料颗粒的大小为4~8 mm,细粉料被分离送往压缩系统重新造粒,而大颗粒物料和金属等杂质被再次分离,去除金属等杂质,大小合格的颗粒被包装储存或用于成型加工。

该工艺不需要外设热源,压缩时间能够精确控制,处理温度低于塑料维卡软化点,避免物料受热降解,但是破碎环节对塑料颗粒大小控制精度不高,制得的颗粒大小不均匀,易产生细粉料,造粒效率低。

目前,对体积密度小的薄膜、纤维等主要采用熔融造粒,即把物料加热到其熔点以上,然后挤出造粒。当废旧塑料加热到熔点温度以上时,会释放出多种有害气体,危害工作人员身体健康。针对这个问题,李聿军等^[7]发明了一种不产生有害气体的塑料造粒机,该造粒机通过转子和定子上的刀片对废旧塑料造粒,无需熔融,造粒效率高,其结构简图如图2所示。主要结构包括机身、支架、电机、转子、刀片、定子、进料口、出料导板、一级筛网和二级筛网,其中刀片呈螺旋状,一级筛网上的网格大于二级筛网上的网格。工作原理为:首先物料由进料口加入落入箱体内,然后转子和定子上的刀片对废旧塑料进行造粒加工,最后通过一级筛网和二级筛网对不均匀的颗粒进行分离。

2.2 传统造粒工艺

(1) 湿法造粒。

湿法造粒工艺流程如图3所示^[8],其流程为:收集→分选→破碎→清洗→烘干→熔融→切粒。收集的废旧塑料种

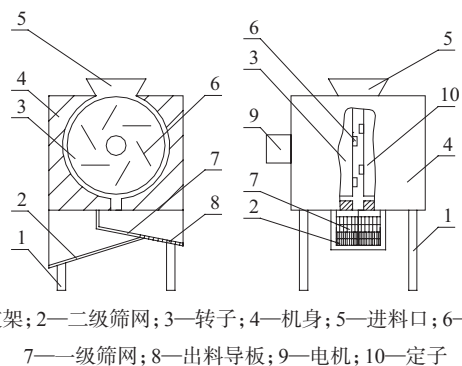
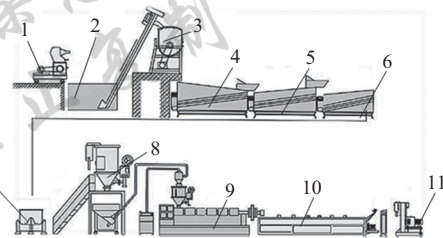


图2 一种塑料造粒机

类繁杂,表面附着灰尘、泥沙、油渍等,这些杂质严重影响再生塑料的质量,一般通过增加破碎和清洗次数去除这些杂质,从而提高回收产品的质量,再通过挤出机挤出成型,最后熔融的塑料被切割成大小合适、均匀的颗粒。收集和分选由人工完成,破碎、清洗、干燥由破碎机、清洗装置、干燥器完成,塑料熔融在螺杆挤出机中进行,熔融的塑料通过口模挤出并由切粒装置完成造粒。



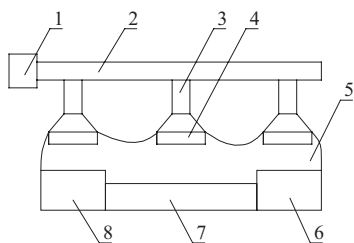
1—破碎机;2—初洗池;3—搅拌机;4—第一道清洗;5—第二道清洗;
6—第三道清洗;7—离心脱水机;8—烘干机;
9—挤出机;10—水槽;11—切粒机

图3 湿法造粒工艺流程图

湿法造粒是普遍使用的造粒方法,其优点在于工艺简单,成本低,制品运用广泛^[9];缺点是破碎、清洗、烘干、挤出和切粒都需要专门的设备,生产成本低,工作噪音大,易产生粉尘和污水,造成二次污染。

废旧塑料造粒过程产生大量的塑料粉尘、水及挥发性有机物,会在机器的缝隙中沉淀,使机器磨损严重,降低使用寿命,同时这些物质飘散在空气中对人体非常有害。针对这个问题,吴利刚^[10]发明了带有除尘装置的塑料造粒机,其结构简图如图4所示。主要结构包括塑料破碎机构、加热融化机构、切粒冷却机构、排尘管、吸尘套、防尘罩、吸尘机构。在生产过程中,除尘机构能迅速地吸收产生的塑料屑和粉尘,并通过排尘管进行收集过滤回收,改善了工作环境,延长了造粒机使用寿命。

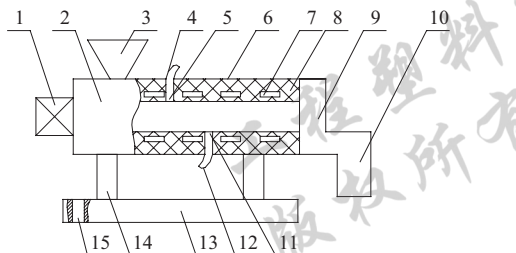
刘志等^[11]发明了一种实用新型塑料造粒机,该造粒机结构简单、体积小、制造成本低,其结构简图如图5所示。主要结构包括造粒机主体、驱动电机、料斗、输出口模、成品收集箱、底座、支撑架等。工作原理为:将破碎后的废旧塑料由



1—吸尘机构;2—排尘管;3—吸尘管;4—吸尘套;5—防尘罩;
6—切粒冷却机构;7—加热融化机构;8—塑料破碎机构

图4 带有除尘装置的塑料造粒机

料斗加入落于料室,通过驱动电机带动螺杆转动,物料通过相互间的摩擦和螺杆的带动向口模方向运动,螺杆机筒外壁上设有的加热片对固体物料加热熔融,通过口模挤出,切割成粒子,最后进入成品收集箱。该造粒机的外壁上设有保护壳,保护壳与造粒机主体间设有隔热层,这样可以既能保证造粒机内部有足够的温度,又能避免工作人员接触造粒机被烫伤;造粒机主体顶部设有排气孔和吸气管道,底部设有排水孔和排水管道,这样机器运行过程中产生的废气和废水可以通过排气孔和排水孔迅速排出,避免直接排放,改善工作环境。



1—驱动电机;2—保护壳;3—进料斗;4—吸气管道;5—排气孔;
6—造粒机主体;7—加热片;8—隔热填充物;9—输出口模;
10—成品收集箱;11—排水孔;12—排水管道;13—底座;
14—支架脚;15—螺栓孔

图5 一种实用新型塑料造粒机结构简图

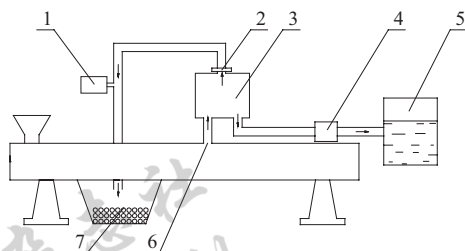
(2) 干法造粒。

干法造粒的工艺流程为:收集→破碎→分离除杂→熔融→切粒。干法造粒省去了清洗和烘干过程,增加了分离除杂环节。分离方法分为浮沉分离、浮选分离、电选分离、近红外光谱分离等^[12]。

相比于湿法造粒,干法造粒省去了清洗和烘干环节,节约了水资源,特别是在水资源严重缺乏的地方非常适用,但由于制品的质量取决于除杂是否彻底,需安装专门的除杂设备除杂,增加了生产成本。

废旧塑料在挤出机内隔绝空气熔炼会产生大量CO和少量CO₂等有害气体,并且这些气体具有一定的压力,阻碍熔融塑料挤出成条,不能切粒。传统造粒机是在外壳上开一个排气孔,这些有害气体未经处理直接排放,严重危害工作人员身体健康,同时造成大气污染。为了克服这个问题,林

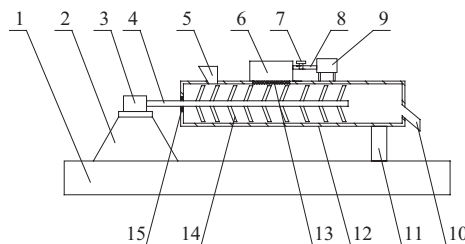
小明^[13]发明了一种零排放的再生塑料回收机,其结构简图如图6所示。主要结构包括明火锅炉、排气孔、烟雾收集箱、氢氧化钙反应罐、压缩机、供氧装置、除湿装置等。机器运行过程中产生的CO、CO₂和SO₂等气体通过排气孔进入烟雾收集箱,一方面密度比空气大的CO₂和SO₂等气体在压缩机的作用下从烟雾收集箱底部进入氢氧化钙反应罐,反应生成沉淀;另一方面密度比空气小的CO从烟雾收集箱顶部进入明火锅炉作为燃气使用,烟雾收集箱和明火锅炉之间设有除湿装置和供氧装置,除湿装置用于干燥CO,而供氧装置为干燥的CO提供燃烧所需的氧气。这样可以实现有毒气体的零排放,有利于保护环境和改善工作环境。



1—供氧装置;2—除湿装置;3—烟雾收集箱;4—压缩机;
5—氢氧化钙反应罐;6—排气孔;7—明火锅炉

图6 一种零排放的再生塑料回收机

吴镇宇^[14]发明了一种塑料造粒机,其结构简图如图7所示。主要结构包括底座、电机支架、电机、输送轴、进料口、储气室、放气阀、输气管、燃烧室、出料口、支撑板、输送筒、滤网、搅拌扇叶、轴承等。在生产过程中,产生的废气通过储气室收集,然后通过输气管将废气输送到燃烧室并通过燃烧去除CO等有害气体,减少有毒气体的排放。



1—底座;2—电机支架;3—电机;4—输送轴;5—进料口;6—储气室;
7—放气阀;8—输气管;9—燃烧室;10—出料口;11—支撑板;
12—输送筒;13—滤网;14—搅拌扇叶;15—轴承

图7 一种塑料造粒机

2.3 新型造粒工艺

(1) 有机溶剂辅助软化造粒。

周建等^[15]提出了一种再生塑料造粒的制备方法,该工艺在传统挤出工艺基础上加入有机溶剂软化过程,帮助塑料快速软化,同时有机溶剂还能保护塑料内部分子结构不受破坏,保证了再生塑料的品质。其工艺为:首先将废旧塑料经分选后破碎成片状物料,经水洗后进行烘干,控制物料的含水率为1%~4%,通过团粒机将物料聚集成直径为

0.3~2 cm、堆积密度为 600~1 000 kg/m³ 的颗粒;其次将废旧塑料和重质碳酸钙和有机溶剂三氯化锑放入造粒机内,通过搅拌混合均匀并进行催化反应得到复合材料,并将复合材料输送到带螺杆式电热熔化机中进行加热变成稠状;最后通过挤出装置将软化的废旧塑料挤出得到再生塑料,并由切粒装置将再生塑料切成颗粒。

(2) 复合再生造粒。

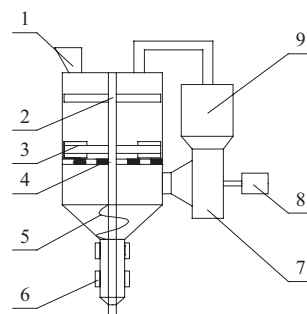
目前再生塑料大都为多种塑料的混合物,其成分复杂、强度低、加工性能差、色泽暗淡,因此再生塑料大都用于低端塑料制品,没有发挥塑料固有的特性。针对这个问题,陈庆等^[16]提出了一种复合再生塑料制备方法,与现有技术相比,该工艺通过无机粉体与废旧塑料复合,借助无机粉体的透明性、耐热性、流动性等,还原了再生塑料良好的透明性、耐热性和加工稳定性,使再生塑料运用更广,降低了再生塑料成本。其工艺为:首先将无机粉体和研磨剂在 120~140℃ 条件下,通过高速混合机混合,得到混合均匀的浆状体;其次将混合均匀的浆状体加入研磨机中研磨成粉体,并与增塑剂和废旧塑料一起加入双转子连续混炼机中混炼,使无机粉体嵌入完全塑化的废旧塑料中形成均匀体;最后将得到的均匀体直接加入挤出造粒设备,通过挤出、切粒、冷却得到复合再生塑料颗粒。

(3) 热风循环加热熔融造粒。

周献华等^[17]提出了一种热风循环加热熔融造粒工艺。热风循环加热熔融造粒是挤出造粒工艺中一种全新的技术,它采用热风循环加热废旧塑料,使塑料熔化,进而挤出造粒。相比于传统熔融造粒工艺,它是直接加热废旧塑料,省去了粉碎、清洗、烘干等过程,改善了工作环境,节约投资成本,避免二次污染,具有广阔的运用前景。

周献华等^[17-18]根据热风熔融造粒工艺设计出立式热风循环加热废旧塑料回收造粒实验样机及其温度控制电路,而陈丹等^[19-20]在周献华等研究基础上完成了实验研究和改进设计,证实了热风熔融造粒工艺的可行性。立式热风循环加热废旧塑料回收造粒实验样机结构简图如图 8 所示。主要结构包括料斗、搅拌轴、搅拌片、筛网、加料螺旋、加热片、离心风机、电机、加热管等。工作原理为:物料由料斗加入落于箱体,通过热风循环加热,在搅拌轴作用下加速熔融,并通过螺杆挤出造粒,同时热风在离心风机作用下,依次通过离心风机、加热管,然后进入箱体,这样往复循环完成加热。但立式实验样机存在一些问题,如尺寸和结构不合理,缺少切粒装置;搅拌轴和螺杆同轴,无法对搅拌轴和螺杆分别调速;挤出口模靠近地面,给后续切粒造成困难等。

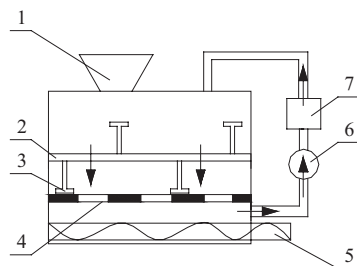
熊秋亮^[21]在立式热风循环造粒机的基础上进行研究,针对立式热风循环造粒机所存在的问题,提出把立式改成卧



1—料斗;2—搅拌轴;3—搅拌片;4—筛网;5—加料螺旋;
6—加热片;7—离心风机;8—电机;9—加热管

图 8 立式热风循环造粒机结构简图

式,解决了立式切粒困难和搅拌轴和螺杆同轴问题。其结构简图如图 9 所示。主要结构有料斗、搅拌轴、搅拌片、筛网、螺杆、离心风机、加热管等。工作原理为:物料由料斗加入,落于筛网上,通过热风循环加热,在搅拌轴作用下加速熔融并掉落到螺杆上,通过螺杆挤出造粒,同时热风在离心风机作用下,依次穿过筛网、离心风机、加热管,然后进入箱体,这样往复循环完成加热。目前该卧式塑料造粒实验装置仍存在不足之处,如搅拌轴和搅拌杆连接复杂,不便拆卸和维修;抽气管摆放位置设计不合理,抽风不均匀;废旧塑料熔融后粘在搅拌轴上,不能从筛网穿过;熔融物料挤出困难等。



1—料斗;2—搅拌轴;3—搅拌片;4—筛网;
5—螺杆;6—离心风机;7—加热管

图 9 卧式热风循环造粒机结构简图

3 结语

相比于无熔造粒,熔融造粒使用更为广泛,技术更为成熟。熔融造粒的传统工艺简单,成本低,制品运用广泛,但是破碎和清洗会产生塑料屑和污水,危害生态环境和工作人员身体健康。新型造粒工艺中有机溶剂辅助软化造粒和复合再生造粒在传统工艺基础上有所改进,但仍避免不了破碎和清洗环节。热风熔融造粒工艺采用热风直接熔融废旧塑料,无需破碎处理,可节约生产成本,改善工作环境,避免二次污染,具有很广阔的发展前景,但是与之配套的再生造粒设备还不完善,仍需设计人员进行艰苦努力,在这方面很下功夫。

参考文献

[1] 汤桂兰,等.再生资源与循环经济,2013,6(1):31-35.

Tang Guilan, et al. Recyclable Resources and Circular Economy,

- 2013,6(1):31-35.
- [2] 高涛,等. 机电工程,2009,26(6):5-8.
Gao Tao, et al. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2009,26(6):5-8.
- [3] 朱俊. 化学工业,2013,31(2):28-31.
Zhu Jun. Chemical Industry, 2013,31(2):28-31.
- [4] 朱晓军,等. 科学之友,2012(2):11-12.
Zhu Xiaojun, et al. Friend of Science Amateurs, 2012(2):11-12.
- [5] 孔萍,等. 资源再生,2008(11):40-42.
Kong Ping, et al. Resource Recycling, 2008(11):40-42.
- [6] 汤德源. 工程塑料运用,1999,27(10):16-17.
Tang Deyuan. Engineering Plastics Application, 1999,27(10):16-17.
- [7] 李聿军,等. 一种塑料造粒机:中国,203579933U[P].2014-05-07.
Li Yujun, et al. A kind of plastic granulator:CN, 203579933U[P].2014-05-07.
- [8] 马莉,等. 中国资源综合利用,2005(2):13-16.
Ma Li, et al. China Resources Comprehensive Utilization, 2005(2):13-16.
- [9] 宋波,等. 应用基础与工程科学学报,2011,19(2):211-221.
Song Bo, et al. Journal of Basic Science and Engineering, 2011, 19(2):211-221.
- [10] 吴利刚. 带有除尘装置的塑料造粒机:中国, 203221594U[P].2013-10-02.
Wu Ligang. Plastic granulator with dust removal device:CN, 203221594U [P].2013-10-02.
- [11] 刘志,等. 一种塑料造粒机:中国,203344204U[P]. 2013-12-18.
Liu Zhi, et ai. A kind of plastic granulator:CN,203344204U[P]. 2013-12-18.
- [12] 张毅民,等. 化工进展,2013,32(6):1401-1406.
Zhang Yimin, et al. Chemical Industry and Engineering Progress, 2013,32(6):1401-1406.
- [13] 林小明. 一种零排放的再生塑料造粒机:中国,203004102U[P]. 2013-06-19.
Lin Xiaoming. A renewable plastic granulator with zero emission:CN,203004102U[P]. 2013-06-19.
- [14] 吴镇宇. 一种塑料造粒机:中国,103481396A[P]. 2014-01-01.
Wu Zhenyu. A kind of plastic granulator:CN,103481396A[P]. 2014-01-01.
- [15] 周建,等. 一种再生塑料造粒制备方法:中国,103481394A[P]. 2014-01-01.
Zhou Jian, et al. A recycled plastic granulation preparation method:CN,103481394A[P]. 2014-01-01.
- [16] 陈庆,等. 一种复合再生塑料及其制备方法:中国,102690460A, 2012-09-26.
Chen Qing, et al. A kind of composite recycled plastic and its preparation method:CN,102690460A[P]. 2012-09-26.
- [17] 周献华. 热风熔融塑料回收造粒机及其控制系统研究[D]. 南昌: 南昌大学,2011.
Zhou Xianhua. Study on hot air heating molten plastic recycling extruder and control system[D]. Nanchang:Nanchang University, 2011.
- [18] 周献华,等. 工程塑料应用,2011,39(2):105-108.
Zhou Xianhua, et al. Engineering Plastics Application, 2011, 39(2):105-108.
- [19] 陈丹,等. 工程塑料应用,2012,40(9):92-94.
Chen Dan, et al. Engineering Plastics Application, 2012,40(9):92-94.
- [20] 陈丹. 热风循环加热塑料回收造粒机实验研究与设计[D]. 南昌: 南昌大学,2013.
Chen Dan. Study on Hot Air Circulation heating plastic recycling granulator and experiments[D]. Nanchang:Nanchang University, 2013.
- [21] 熊秋亮. 卧式热风熔融废旧塑料挤出造粒机研究[D]. 南昌: 南昌大学,2014.
Xiong Qiuliang. Study on horizontal hot melt extrusion granulator of recycling waste plastics[D]. Nanchang:Nanchang University, 2014.

耐高温尼龙在制动助力器中替代橡胶

在 2015 美国 NPE 国际塑料展览会 (NPE 2015) 上,赢创展示了其新型 Vestamid DX9360,一种应用于管线系统的尼龙挤出材料,具备大幅延长发动机管线寿命的潜力。这是赢创推出的首款新系列耐高温树脂。

日益拥挤的发动机室对塑料的耐热性提出更加严苛的需求。据悉,由赢创新型耐高温 Vestamid DX9360 树脂制成的管线可替代密封发动机室内的橡胶管,从而节省空间并减少质量。赢创高性能聚合物部门副总裁兼总经理说道,他们的客户向他们提出,需要一种新型的高耐温尼龙树脂,可以适应连续的高温工作环境,因此他们就开发了这款 Vestamid DX9360。

总经理指出,在过去几年,汽车发动机室内的热负荷大

幅上升,为了满足这些需求,赢创一直以来都在为管线系统开发 Vestamid 尼龙挤出材料。

总经理说道,尽管塑料是轻量化结构的理想材料,但它们也必须能够满足发动机室对耐高温的严苛要求才能应用其中。“VestamidEX9360 可应用于制动助力器管线,即使在极端恶劣的环境下,也能满足这些要求,新一代 Vestamid 挤出材料可在标准挤出生产线中进行加工,由这种材料制成的管线,在 150℃ 的测试环境下,其耐用度甚至比 Vestamid EX 9350 高出两倍。

(工程塑料网)

德国赢创计划收购科莱恩

据英国《金融时报》近日报道,德国赢创工业集团正在计划收购他们在瑞士的竞争对手科莱恩,由此打造一个总价值为 200 亿欧元的特种化学品巨头。

(工程塑料网)