

机械挤出法在废橡胶还原再生中的研究进展

唐帆¹, 黎广¹, 路丽珠¹, 强金凤¹, 蒋水金¹, 孙岳红²

(1. 安徽世界村新材料有限公司, 安徽 马鞍山 243000; 2. 安徽世界村智能装备有限公司, 安徽 马鞍山 243000)

摘要:介绍废橡胶脱硫工艺的发展和废橡胶物理还原再生方法, 梳理机械挤出法在废橡胶还原再生中的应用, 包括螺杆机械挤出法(单螺杆机械挤出法和双螺杆机械挤出法)、无螺杆(拉伸流变)机械挤出法、磨盘机械挤出法(立式磨盘机械挤出法和卧式磨盘机械挤出法)和组合机械挤出法, 指出机械挤出法是废橡胶综合利用行业的发展方向。

关键词:废橡胶; 机械挤出法; 螺杆; 无螺杆; 磨盘; 还原; 再生

中图分类号: TQ330.56

文章编号: 2095-5448(2019)09-0497-05

文献标志码: A

DOI: 10.12137/j.issn.2095-5448.2019.09.0497

橡胶是继石油、铁矿石和有色金属等工业原料之后的第四大战略资源。随着汽车用量的快速增加, 废旧轮胎的产生量也越来越大, 据统计, 2017年我国废旧轮胎产生量已超过3.65亿条, 达到1355万t, 预计2020年我国废旧轮胎产生量将超过2000万t。大量废旧轮胎的堆积不仅易滋生蚊虫而且会引发火灾, 已成为给环境带来严重危害的“黑色污染”。此外, 我国天然橡胶和石油资源严重缺乏, 约75%的天然橡胶和约40%的合成橡胶依赖进口, 因此通过废橡胶高附加值化利用并部分替代生胶以缓解橡胶资源短缺问题已成为一种重要手段。2017年我国再生橡胶产量达480万t, 占全球再生橡胶总产量的81%, 已成为继天然橡胶和合成橡胶之后的第三大橡胶原材料^[1-2]。

1 废橡胶脱硫工艺的发展

再生橡胶最早由美国人于1846年采用热法制造成功, 并于1858年实现工业化。我国再生橡胶的生产最早于1917年由广州兄弟树胶公司采用油法生产。废橡胶脱硫工艺历经油法和水油法, 20世纪80年代末到90年代初, 我国成功研发高温高压动态脱硫法并广泛使用, 使我国再生橡胶的产量得到快速提升, 极大地推动了我国废橡胶综合

利用行业的发展。但也出现一系列问题, 如二次污染严重、生产效率低、能耗大、安全性低、间歇生产等, 尤其在目前对环保要求越来越高的形势下, 这严重阻碍了废橡胶综合利用行业的发展^[3]。

近年来, 常压连续塑化(脱硫)法以及螺杆挤出法等新型脱硫方法得到大力推广, 在实现自动化、智能化生产再生橡胶和推动行业发展的进程中做出了创新性贡献。传统塑化机和脱硫罐也在一定程度上为实现自动化控制做出了贡献。但其共同点是未从根源上真正解决再生橡胶的环保问题, 即都需要添加一定量的化学助剂才可实现废橡胶的脱硫再生, 现阶段我国再生橡胶的生产仍然存在对周围环境造成二次污染、能耗高、产品质量不稳定等缺点。因此亟需开发出一种无需任何化学助剂的废橡胶物理还原再生方法替代传统化学脱硫法, 从根源上解决生产过程和产品不环保问题, 这对于再生橡胶行业的绿色可持续发展及我国橡胶产业的快速发展具有重大意义^[4]。

2 废橡胶物理还原再生方法

废橡胶物理还原再生是利用外加能量, 如热、机械力、光波和射线等打开交联废橡胶的S—S键和S—C键, 从而破坏其三维网络结构, 形成具有流动性的再生橡胶。物理还原再生方法分为微波还原再生法、超声波还原再生法和机械挤出法等。

微波还原再生方法主要借助微波电磁能促使胶粉迅速升温, 以选择性地打断S—S键和C—S键, 而保

作者简介: 唐帆(1987—), 男, 江苏南京人, 安徽世界村新材料有限公司工程师, 硕士, 主要从事废橡胶绿色高值化循环利用研究工作。

E-mail: 736130360@qq.com

证C—C主链不被破坏以达到还原再生的目的^[5-6]。该方法要求废橡胶具有一定的极性,这种极性可以是橡胶本身固有的(如氯丁橡胶和丁腈橡胶),也可以在胶料中添加炭黑、铁粉与极性助剂而获得。

超声波还原再生法主要利用超声波的声空化作用将能量集中于分子键的局部位置,这种局部能量会产生惊人的效果,破坏废橡胶中能量比C—C键键能低的C—S键和S—S键,从而选择性地破坏废橡胶的三维网络结构,以达到还原再生的目的^[7-8]。超声波还原再生法具有高效、环保、产品质量好等优点,但鉴于橡胶的粘弹性,一部分声波会透过,一部分声波会耗散于大分子间以致其受激发振动而产生内摩擦,剩余部分声波才用于化学键断裂。高效利用超声波能量与提高还原再生选择性的研究还需进一步深化,目前尚未见该技术的商业化报道。

在应力作用下的机械挤出法可以削弱聚合物分子间和分子内的作用力,超分子结构被破坏,化学键可能发生畸变或断裂。与光、热和高能辐射等影响聚合物的作用类似,当作用于分子链的应力超过分子链断裂能的临界值时,高分子链就会发生断裂,产生大分子自由基,引发聚合物降解或交联等化学变化。针对废橡胶本身传热能力差等缺陷,机械挤出法可通过给废橡胶施加热能、压力和剪切力,再选择性地促使废橡胶含硫键断裂,同时保证其内外各部分混合均匀,从而还原再生为性能稳定且有塑性的再生橡胶,有利于工业连续化生产并大幅缩短废橡胶还原再生时间。

3 机械挤出法在废橡胶还原再生中的应用

机械挤出法主要包括以下4种:(1)基于挤压和环向剪切应力等多种作用的固态碾磨粉碎法,设备以磨盘固相化学反应器或球磨机为主;(2)基于无螺杆水平容积拉伸流变作用的叶片挤出塑化还原再生法,设备以具有使聚合物拉伸流变的叶片塑化挤出机为主;(3)基于较高螺杆转速垂直高剪切应力作用的热机械挤出还原再生法,设备以具有较高螺杆转速的螺杆挤出机为主;(4)以上机械挤出法的组合。

3.1 螺杆机械挤出法

螺杆机械挤出法还原再生技术是利用螺杆挤出机的剪切挤压作用,使胶粉在热、剪切和压力的

综合作用下,在短时间内获得较高塑性的一种机械方法。

3.1.1 单螺杆机械挤出法

我国单螺杆机械挤出法还原再生技术研究始于20世纪90年代。刘维义等^[9]采用单螺杆挤出机尝试了再生橡胶的生产,分析了螺杆机械挤出法生产工艺的特点以及还原再生挤出机的再生机理、主要参数、结构特点。

吕晓龙等^[10]在研究脱硫制备再生橡胶的过程中,成功研制出新型单螺杆连续脱硫挤出机。与普通挤出机相比,单螺杆连续脱硫挤出机的螺杆为多段剪切型结构,使胶粉颗粒通过剪切间隙而受到适度的剪切和均匀加热的共同作用,从而在尽可能少地打断C—C键的情况下,尽可能多地打断C—S键和S—S键。单螺杆挤出机的结构较简单,更重要的是可产生适度的剪切力。

3.1.2 双螺杆机械挤出法

我国双螺杆机械挤出法还原再生技术的研究尚处于起步阶段,而国外,特别是日本,对于此项技术的研究较早并且较为深入。Y. Tang等^[11-13]获得了多项美国专利,掌握了利用双螺杆挤出机生产高品质再生橡胶的核心工艺。

R. Izumoto等^[14-16]通过改变双螺杆挤出机的螺杆结构以提高脱硫效果。P. Sutanto等^[17-19]则分别采用统计学模型、响应面方法和实验分析优化温度和转速等参数以提高脱硫效果。张立群等^[20]采用两台串联双螺杆挤出机连续制备再生橡胶,其中第1台为具有打断交联键作用的异向双螺杆挤出机,第2台为高剪切同向双螺杆挤出机。张凯钧等^[21-22]利用自行研制组装的剪切型双螺杆挤出机对胶粉进行连续机械剪切脱硫,考察螺杆转速和加工温度对胶粉脱硫效果和再生橡胶力学性能的影响,发现螺杆转速控制在 $50\sim 120\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 及螺杆加热输送区、多段压缩和分段剪切区、混炼剪切区3个区段的反应温度分别控制在 $190\sim 210$ 、 $180\sim 190$ 、 $170\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时脱硫效果最佳,制得的再生橡胶的拉伸强度达到 12.4 MPa ,拉断伸长率为452%。

双螺杆挤出机的优点是连续、密闭、混炼、塑化及排气性能好、传热好、时间短、胶粉氧化程度低且自清洁能力强,缺点是结构复杂、加工精度要

求较高,更大的问题是受限于螺杆长径比,其用于还原再生制备再生橡胶时有可能因高剪切力而打断较多的C—C键,导致再生橡胶性能降低^[23]。

3.2 无螺杆(拉伸流变)机械挤出法

瞿金平等^[24-25]提出了基于拉伸流变的高分子材料塑化输运新机理,发明了由拉伸形变支配的聚合物无螺杆动态塑化加工新方法,实现了聚合物加工成型原理由基于剪切流变到基于拉伸流变的变革,开辟了聚合物加工成型技术与理论研究的新领域。

该技术利用物料加工体积周期性变化,实现完全正位移体积输送,大幅提升了加工过程中物料的输送效率,拓宽了物料的适用性,特别适用于粘度极高或极低物料的塑化加工。此外,该技术解决了传统加工方法中高分子材料因强剪切作用而降解并导致制品性能降低、循环再利用困难等问题,实现了废旧高分子材料、纳米复合材料、生物质复合材料等物料的高附加值化加工,拓宽了可再生植物资源及废旧塑料的循环利用空间。

叶片塑化输送单元可与各种螺杆挤出单元或柱塞注射单元组合成挤出机或注塑机,解决加工不同种类物料必须要配用不同类型螺杆的问题。此外,该技术提高了塑化质量与塑化效率,强化了分散和混合,改善了塑化质量,提高了挤出过程的稳定性和挤出制品的质量。

与传统螺杆式高分子材料挤出设备相比,无螺杆机械挤出设备具有许多优势,如由于物料可以在很小的空间内完成压实、排气、研磨与塑化,从而使机械加热时间缩短20%以上且设备体积减小2/3左右,同时设备噪声降低至75 dB以下,加工能耗降低15%左右,制品性能提高,且对物料适应性更广^[26]。

可以预见,无螺杆机械挤出技术和设备与螺杆技术和设备相结合应用于废橡胶还原再生领域,将是未来的重要研究方向。

3.3 磨盘机械挤出法

磨盘机械挤出法是运用聚合物在应力作用下产生化学反应的基本原理,借鉴我国传统石磨的原理和结构所设计出的磨盘型力化学反应方法。借助于强大的挤压、剪切与环向应力场作用,磨盘机械挤出法可用于聚合物和填料的粉碎、混合和力化学反应。磨盘机械挤出法主要包括立式磨盘

机械挤出法和卧式磨盘机械挤出法。

3.3.1 立式磨盘机械挤出法

徐僖等^[27]建立了基于固相力化学的废旧高分子材料回收利用新技术,利用固相力化学反应器独特的三维剪切结构和粉碎、分散、混合、力化学反应等多种功能,在室温下实现了难分离复合型废旧高分子材料的超细粉碎和均匀分散,由复合粉体的粒度和粒度分布控制制品相畴尺寸和性能,解决了传统回收技术需组分相容和粘度匹配而需分类分离的难题;在室温下实现了交联型废旧高分子材料如废旧轮胎橡胶、废旧交联电缆的固相力化学脱硫或解交联,赋予其热塑加工性,解决了交联型废旧高分子材料不能二次加工的难题,为废旧高分子材料回收利用提供了新设备和新方法。

马超等^[28-29]自行设计了一种力化学反应器,在高分子材料的加工过程中,提供强大的挤压和剪切作用,使材料受到垂直、环向和剪切等多种应力作用而破碎,产生比现行加工设备更有效的粉碎和力化学反应。X. X. Zhang等^[30]采用固相力化学技术实现了对废旧橡胶的常温力化学脱硫。结果表明:胶粉的交联密度和凝胶含量随着碾磨次数增加而显著降低;碾磨后再次硫化橡胶的物理性能显著提高;碾磨40次后,拉伸强度由碾磨前的2.3 MPa提高到10.9 MPa,拉断伸长率由碾磨前的69.6%提高到290%。

力化学再生废橡胶的前期研究工作表明,固相力化学剪切还原技术的还原再生效果很好,随着新工艺的研发,必定会对力化学还原再生废橡胶起到极大的促进作用。

3.3.2 卧式磨盘机械挤出法

江波等^[31]在端面挤出机和T形挤出机的基础上,综合考虑了挤出机的混炼性能、温控精度、应用领域、加工能耗与机械制造成本等多方面因素,对原有机型进行了改进。该设备适用于橡胶、塑料、陶瓷等各类工业材料的连续混炼,可制备其他螺杆挤出机无法加工的特殊高分子合金材料与高填充物料。

满超^[32]针对废橡胶还原再生系统设计了磨盘式螺杆废橡胶脱硫机,该设备每组磨盘副相当于一个小的密炼室,具备超强的剪切、挤压、粉碎、摩擦等功能,可用于废橡胶还原再生,解决了单纯螺杆的螺纹结构限制、胶料通过机筒的时间短、螺杆

与机筒对胶料的剪切、挤压和摩擦力不足、难以在短时间内达到胶料还原再生的临界条件等缺陷,设备自动化程度高,生产效率高,无二次污染与安全隐患,能耗低,工作环境清洁。研制的再生橡胶磨盘式螺杆脱硫成型自动线适用于各种废橡胶脱硫再生和成型加工。

3.4 组合机械挤出法

与传统主流的废橡胶机械挤出法还原再生技术相比,组合机械挤出法更胜一筹。组合机械挤出法吸取了目前废橡胶机械挤出法还原再生的主流技术(如螺杆机械挤出法、无螺杆机械挤出法、磨盘机械挤出法),用现工艺中可靠、合理、具有传质优势的有效过程,将现工艺路段仅作子插件,将其重作串并联等创新处理,组合创新出一种符合废旧橡胶资源实施“全额、绿色、高值、节能”的4项全扣合式要求的全新工艺路径。

张立群等^[20,33]采用双螺杆+多螺杆的组合机械挤出法还原再生技术成功研发出了LJR-5000Y型绿色高效连续制备再生橡胶生产线,并由南京绿金人橡塑高科有限公司推广应用。该生产线具备以下优势:(1)自主研发了连续恒温预加热装置、防粘连双阶双转子冷却装置、倾斜式侧喂料装置等,完善了生产线的合理衔接串联,实现了整条生产线的连续化、自动化和智能化;(2)采用双螺杆+多螺杆技术制备了多种环保颗粒状再生橡胶,并进行了应用技术研究,解决了传统块状再生橡胶应用难分散、能耗高、易焦烧的难题。I. Mangili等^[34-37]采用超临界二氧化碳+双螺杆的组合机械挤出法还原再生技术成功研发出一套废橡胶超临界二氧化碳双螺杆挤出法再生橡胶脱硫技术与装备。该技术主要利用惰性超临界二氧化碳加速增大橡胶的交联网络,使用机械剪切优先打破S—S键,成功实现废橡胶无化学溶剂脱硫,可生产新的高附加值橡胶产品,为废橡胶综合利用提供了可持续、经济、环保的解决方案。

组合机械挤出法再生废橡胶新技术的产业化前景目前最符合国内外科技人员多年探求的理想目标,是废橡胶产业链在传统基础工艺上的推陈出新,是产业的主干性技术进步,并仍在向“全额、绿色、高值、节能”等方向不断进步。

4 结语

废橡胶高效连续还原再生利用是实现橡胶工业可持续发展的必由之路。随着科技水平的不断提高和人们环保意识的持续加强,以传统的高温高压动态脱硫法生产再生橡胶为主的化学脱硫技术因无法从根源上解决环保问题而严重阻碍了废橡胶综合利用行业的发展。废橡胶物理还原再生方法中的机械挤出还原再生技术因物理机械剪切作用和可连续化生产等优势而受到关注。

机械挤出法还原再生阶段采用螺杆、无螺杆、磨盘或相关机械元件的组合,对废橡胶进行剪切、拉伸或研磨,打断其S—S键,破坏三维网络结构,过程中不添加任何化学助剂,能够得到绿色环保且性能优异的还原再生橡胶,该再生橡胶可直接用于鞋材、力车胎、胶板、橡塑托盘等橡胶制品中。机械挤出法颠覆了传统再生橡胶间歇式生产方式,实现了再生橡胶智能化、连续化、清洁化生产,是废橡胶综合利用行业的发展方向。

参考文献:

- [1] 钱伯章. 我国废橡胶综合利用现状及发展[J]. 橡塑资源利用, 2014(2): 22-35.
- [2] 曹庆鑫. 废橡胶综合利用行业: 发展前景将更加光明[J]. 中国橡胶, 2011, 27(7): 24-25.
- [3] 胡彪, 张晓雨, 赵新, 等. 废橡胶制品资源化利用研究进展[J]. 材料导报A: 综述篇, 2014, 28(2): 75-79.
- [4] 史金炜, 张立群, 江宽, 等. 废橡胶脱硫再生技术及新型再生剂研究进展[J]. 中国材料进展, 2012, 31(4): 47-54.
- [5] Novotny D S, Marsh R L, Masters F C, et al. Microwave Devulcanization of Rubber[P]. USA: USP 4 104 205, 1978-08-01.
- [6] 翟俊学, 张萍, 赵树高. 硫化橡胶微波脱硫机理的讨论[J]. 特种橡胶制品, 2004, 25(6): 35-36.
- [7] Pelofsky A H, East Brunswick N J. Rubber Reclamation Using Ultrasonic Energy[P]. USA: USP 3 725 314, 1973-03-04.
- [8] Isayev A I, Chen J, Tukachinsky A. Novel Ultrasonic Technology for Devulcanization of Waste Rubber[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1995, 68(2): 267-280.
- [9] 刘维义, 连永祥. 挤出法生产再生橡胶工艺研究[J]. 沈阳化工学院学报, 1991, 5(4): 305-312.
- [10] 吕晓龙, 吕柏源, 黄汉雄, 等. 单螺杆挤出机连续脱硫制备再生橡胶的结构与性能[J]. 化工学报, 2014, 65(11): 4614-4619.
- [11] Tang Y, Jacksonville F L. Recycled Rubber Processing and Performance Enhancement[P]. USA: USP 6 590 042, 2003-07-08.
- [12] Mouri M, Usuki A, Murase A, et al. Method of Manufacturing Devulcanized Rubber Using High Temperature and Shearing Pressure[P]. USA: USP 6 133 413, 2000-10-17.

- [13] Matsushita M, Mouri M, Okamoto H, et al. Method of Reclaiming Crosslinked Rubber[P]. USA:USP 6 632 918, 2003-10-14.
- [14] Izumoto R, Ohshima N. Reclaimed Rubber and Process for Reclaiming Vulcanized Rubber[P]. USA:USP 6 335 377, 2002-01-01.
- [15] Formela K, Cysewska M, Haponiuk J. The Influence of Screw Configuration and Screw Speed of Co-rotating Twin Screw Extruder on the Properties of Products Obtained by Thermomechanical Reclaiming of Ground Tire Rubber[J]. Polimery Warsaw, 2014, 59 (2): 170-177.
- [16] Yazdani H, Ghasemi I, Karrabi M, et al. Continuous Devulcanization of Waste Tires by Using a Co-rotating Twin Screw Extruder—Effects of Screw Configuration, Temperature Profile, and Devulcanization Agent Concentration[J]. Journal of Vinyl & Additive Technology, 2013, 19(1): 65-72.
- [17] Sutanto P, Picchioni F, Janssen L P B M. The Use of Experimental Design to Study the Responses of Continuous Devulcanization Processes[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 102(5): 5028-5038.
- [18] Marldass B, Gupta B R. Process Optimization of Devulcanization of Waste Rubber Powder from Syringe Stoppers by Twin Screw Extruder Using Response Surface Methodology[J]. Polymer Composites, 2010, 29(12): 1350-1357.
- [19] Tao G, He Q, Xia Y, et al. The Effect of Devulcanization Level on Mechanical Properties of Reclaimed Rubber by Thermal-Mechanical Shearing Devulcanization[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2013, 129(5): 2598-2605.
- [20] 张立群, 史金炜, 任冬云, 等. 一种双阶双螺杆挤出机连续制备再生橡胶的方法[P]. 中国:CN 102977404B, 2012-10-29.
- [21] 张凯钧, 王睿, 刘春林, 等. 连续机械剪切对废旧轮胎胶粉脱硫效果的影响[J]. 合成橡胶工业, 2010, 33(3): 171-175.
- [22] 吴张民, 史金炜, 李雪健, 等. 双螺杆挤出机连续绿色制备丁基再生橡胶[J]. 橡胶工业, 2018, 65(10): 1108-1112.
- [23] Shi J, Jiang K, Ren D, et al. Structure and Performance of Reclaimed Rubber Obtained by Different Methods[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2013, 129(3): 999-1007.
- [24] 瞿金平. 基于拉伸流变的高分子材料塑化输运方法及设备[P]. 中国:CN 101219565A, 2009-06-10.
- [25] 张平亮. 新型橡胶螺杆挤出机及其应用[P]. 橡胶工业, 2006, 53(4): 241-243.
- [26] 瞿金平. 塑料加工成型技术的最新研究进展[J]. 中国工程科学, 2011, 13(10): 58-68.
- [27] 徐僖, 王琪. 力化学反应器[P]. 中国:CN 95111358. 9, 1996-09-11.
- [28] 马超, 赵林, 卢灿辉, 等. 固相力化学改性高聚物的方法研究[J]. 高分子通报, 2011(8): 48-52.
- [29] Xu X, Wang Q, Kong X, et al. Pan Mill Type Equipment Designed for Polymer Stress Reactions: Theoretical Analysis of Structure and Milling Process of Equipment[J]. Plastics Rubber & Composites Processing & Applications, 1996, 25(3): 152-158.
- [30] Zhang X X, Lu C H, Liang M. Devulcanisation of Natural Rubber Vulcanisate through Solid State Mechanochemical Milling at Ambient Temperature[J]. Plastics Rubber & Composites, 2013, 36(7-8): 370-376.
- [31] 江波, 李翔, 毕超. 新一代串联式磨盘挤出机[J]. 橡塑技术与装备, 2011, 37(1): 41-44.
- [32] 满超. 磨盘式螺杆废橡胶脱硫机[P]. 中国:CN 202072652U, 2011-04-14.
- [33] 史金炜, 任冬云, 张立群, 等. 一种采用三螺杆连续挤出脱硫胶粉制备颗粒橡胶的方法[P]. 中国:CN 104690844A, 2015-03-21.
- [34] Mangili I, Collina E, Anzano M, et al. Characterization and Supercritical CO₂ Devulcanization of Cryo-ground Tire Rubber: Influence of Devulcanization Process on Reclaimed Material[J]. Polymer Degradation & Stability, 2014, 102(1): 15-24.
- [35] Tzoganakis C. Method of Modifying Crosslinked Rubber[P]. USA: USP 7 189 762, 2007-03-13.
- [36] Meysami M, Tzoganakis C, Mutyala P, et al. Devulcanization of Scrap Tire Rubber with Supercritical CO₂: A Study of the Effects of Process Parameters on the Properties of Devulcanized Rubber[J]. International Polymer Processing, 2017, 32(2): 183-193.
- [37] Mutyala P, Meysami M, Zhu S, et al. Statistical Analysis of the Compatibilization of Devulcanized Tire Rubber and Polypropylene by Peroxide/Sulphur Curing[J]. GAK Gummi Fasern Kunststoffe, 2017, 70(2): 114-122.

收稿日期: 2019-02-05

Research Progress of Mechanical Extrusion in Waste Rubber Reclaiming

TANG Fan¹, LI Guang¹, LU Lizhu¹, QIANG Jinfeng¹, JIANG Shuijin¹, SUN Yuehong²

(1. Anhui GVG New Material Co., Ltd, Ma'anshan 243000, China; 2. Anhui GVG Intelligent Equipment Co., Ltd, Ma'anshan 243000, China)

Abstract: The development of waste rubber desulfurization process was presented, the physical reduction and regeneration method of waste rubber were analyzed, and the application of mechanical extrusion method in the waste rubber reclaiming was discussed. The mechanical extrusion method included screw extrusion using either single screw or twin screw extruder, screwless extrusion using extensional rheology system, grinding disc method using vertical disc or horizontal disc, and combination of the above mentioned methods. Mechanical extrusion reclaiming was the future direction of waste rubber utilization.

Key words: waste rubber; mechanical extrusion method; screw; screwless; grinding disc; reduction; regeneration