

УДК 678;628.4.037;504.5 (470)

**ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАННЫХ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ
ИЗДЕЛИЙ АВТОПРОМА**

RECYCLING OF AUTOMOTIVE RUBBER WASTE

Ганин Е.В., Антимонов С.В., Абдрахманова А.М., Иванова Ю.С.

**ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
г. Оренбург, Российская Федерация**

E.V. Ganin, S.V. Antimonov, A.M. Abdrahmanova, YU.S. Ivanova

FSBEI HE “Orenburg State University”, Orenburg, Russian Federation

e-mail: ganin-ev@mail.ru

Аннотация. Изношенные автомобильные шины относятся к резиносодержащим отходам, остающимся после потери эксплуатационных качеств автомобильных шин производимыми шинными заводами химической промышленности. Отработанные автомобильные шины, а также материалы из которых они изготовлены, при сжигании на открытом воздухе выделяют большое количество сажи и токсичных газов имеющих высокие классы опасности (I и II). В воздух выделяются бензопирен, сажа, диоксины, фураны, полиароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы, мышьяк, хром, кадмий и т.д.

Ежегодно у нас в стране объем образования вышедших из употребления автопокрышек увеличивается приблизительно в 50-90 млн шт. Однако фактический объем переработки шин в России в настоящее время не превышает 17%. Таким образом можно констатировать, что проблема переработки изношенных автомобильных шин и вышедших из эксплуатации резинотехнических изделий является актуальной и имеет большое экологическое и экономическое значение.

В статье рассматриваются основные направления переработки отработанных автомобильных шин. Обосновано использование способов механического воздействия на материал, в частности операции низкотемпературного измельчения. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что дробление при низких температурах значительно уменьшает энергозатраты, улучшает отделение металла и текстиля от резины, повышает выход резины.

Abstract. Automotive waste tires are rubber waste that because of their abrasion state, also known as "tire wear", are not safe and unfit for further use in the vehicles. There is an enormous global problem to decomposition of waste rubber tires because of hazardous fumes are emitted during their incineration. A large amount of soot and toxic gases having high hazard classes I and II, benzopyrene, dioxins, furans, polyaromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, arsenic, chromium, cadmium, etc. are released to contaminate air.

Each year in our country, the amount waste tires are increasing about 50-90 mln pcs. However, currently in Russia the total quantity of tires recycling does not exceed 17%. Thus we can say the problem of waste tires and rubber waste recycling is still relevant today and is of great ecological and economic importance.

This article presents the main ways to waste tires recycling. There is substantiated position to using mechanical methods during recycling of rubber waste from tires can be carried out by low-temperature grinding. The experimental results showed that proposed technology at low-temperature considerably reduces energy consumption, improves the separation of metal and textile from the rubber, rubber output increases.

Ключевые слова: изношенные автомобильные шины, вторичная переработка шин, основные направления использования, технология, дробление, очистка, окружающая среда.

Key words: worn-out tires, rubber waste, technology, waste tires recycling, low-temperature grinding, cleaning, environment.

В России ежегодных объем амортизации шин превышает 1,1 млн т в год. За последние 5 лет данный показатель вырос почти на 25%. Однако фактический объем переработки шин в России в настоящее время не превышает 17%.

Можно выделить два основных аспекта в переработке отработанных автомобильных шин:

- 1) метод переработки;
- 2) пути дальнейшего использования переработанных шин (покрышек)- расширение области применения.

Первый аспект возможно увязать со снижением удельных энергозатрат при реализации выбранного метода переработки шин не забывая про экологическую составляющую, которая часто определяет выбор того или иного метода.

Так в России, в частности в Москве, ежегодно образуется более 70 тыс. т изношенных шин, в Петербурге и Ленинградской области - более 50 тыс. т. Объем их переработки методом измельчения не превышает 10%. Большая часть собираемых шин (20%) используется как топливо. Вышедшие из эксплуатации изношенные шины являются источником длительного загрязнения окружающей среды [1].

- шины не подвергаются биологическому разложению;
- шины огнеопасны и, в случае возгорания, погасить их достаточно сложно;
- при складировании они являются идеальным местом размножения грызунов, кровососущих насекомых и служат источником инфекционных заболеваний.

Расширенное использование переработанных покрышек возможно за счет изменения прочностных свойств резины, поступающей на переработку.

Остановимся более подробно на методах переработки покрышек и области их использования после переработки.

Наиболее популярные в России способы переработки шин - это пиролиз и дробление. В начале 2000-х годов большой объем собранных шин сжигался, сегодня обе технологии занимают примерно равные доли с преобладанием механического метода.

Недостаток пиролизных технологий очень наглядно иллюстрируется законодательством западных стран - пиролизные технологии запрещены в ряде из них как экологически небезопасные. Поэтому наиболее перспективным и более экологически безопасным можно считать способ измельчения изношенных шин.

Кроме того необходимо отметить, что европейский рынок активно идет в сторону увеличения доли применения механической технологии переработки: если в 1992 году дробилось всего 5% собранных шин, то в 2008 году - уже 34%.

Существуют следующие способы измельчения вторичных резин:

- По температуре измельчения: при отрицательных температурах и положительных температурах.
- По механическому воздействию: ударом, истиранием, сжатием, сжатием со сдвигом и резанием [2].

В качестве измельчающего оборудования для измельчения шин возможно использовать молотковые дробилки, которые являются основным оборудованием для измельчения в различных областях промышленности и сельского хозяйства.

Дробилки нашли широкое распространение благодаря простоте конструкции, надежности в работе и удобству обслуживания при эксплуатации. Эти дробилки обеспечивают: равномерное измельчение продукта; быстрое его извлечение из дробильной камеры; возможность регулирования степени измельчения; наименьшее образование пылевидных фракций; автоматическое управление процессом измельчения; легкую замену быстро изнашиваемых деталей (молотки,

решета, деки); минимальный расход электроэнергии; механизированную загрузку и выгрузку материала.

Во время переработки резины необходимо избегать ее термической обработки, так как при сжигании или пиролизе разрушается полимерная основа. Поэтому использование подержанной резины является эффективной в том случае, когда происходит ее измельчение. Эти методы бывают физическими и химическими. В виду того, что процесс измельчения резины достаточно сложен благодаря ее высоким эластическим свойствам, то энергия, затрачиваемая на разрушение, расходуется в значительной степени на механические потери. Эффективность же измельчения резины зависит от температуры и скорости приложения нагрузки. Если процесс измельчения происходит при температуре ниже температуры стеклования полимера, то его деформации невелики и разрушение носит хрупкий характер.

В связи с этим измельчение резиновых отходов происходит при положительных и при низких температурах.

Установлено, что при низкотемпературной обработке изношенных шин дробление производится при температурах от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда резина находится в псевдохрупком состоянии. Результаты экспериментов показали, что дробление при низких температурах значительно уменьшает энергозатраты на дробление, улучшает отделение металла и текстиля от резины, повышает выход резины. Во всех известных установках для охлаждения резины используется жидкий азот. Необходимо отметить, что сложность его доставки, хранения, высокая стоимость и высокие энергозатраты на его производство являются основными причинами, сдерживающими в настоящее время внедрение низкотемпературной технологии [4].

К сожалению, необходимо констатировать, что только часть резиновой крошки, получаемой при переработке изношенных шин, может быть возвращена обратно в шины.

Вторая проблема может быть решена использованием переработанных в крошку шин в различных областях народного хозяйства:

- применение резиновой крошки в качестве модификатора битума для дорожного строительства. Количество вводимой добавки 5-7% от массы битума (при введении в битум) и 1,5% от массы минеральных материалов (при введении в асфальтобетонную смесь);
- изготовление резинобитумных мастик, кровельных материалов, композиционных материалов в сочетании с полиолефинами.

Изготовление плит различного назначения:

- для животноводческих помещений;
- для трамвайных и железнодорожных переездов;
- для полов промышленных зданий, спортивных и детских игровых площадок.

Развитие новых экологически чистых и энергосберегающих технологий, производство регенерата.

Поэтому необходимо обозначить другие области возможного использования измельченной резины, особенно в связи с прогнозируемым увеличением объемов переработки изношенных шин. Это можно будет сделать, если в технологию измельчения внести дополнительные операции или дополнительные способы подготовки утилизируемых шин.

Кроме того важной задачей переработки использованных шин является получение качественного вторичного сырья и его повторного использования для снижения потребления природных ресурсов.

Необходимо отметить, что на кафедре «Машины и аппараты химических и пищевых производств» ОГУ ранее проводились исследования по измельчению биополимеров растительного происхождения при низких температурах. Кроме того, проводились исследования, когда в качестве измельчителей использовались три различных типа измельчающих устройств, отличающихся способом измельчения: вальцевый станок, роторная и молотковая дробилка.

Измельчение биополимеров растительного происхождения проводили при отрицательных температурах, сопоставимых с температурами криогенного измельчения эластичных термопластов и резинотехнических изделий, а именно от -100 до – 140 °С. Исследования показали, что предварительная обработка при отрицательной температуре позволяет измельчать биополимеры растительного происхождения при меньших энергозатратах, и при этом не происходит снижение производительности измельчителя. В ходе анализа полученных данных наиболее хорошие результаты показали молотковая и роторная дробилки.

В ходе исследований было решено измельчать эластомеры, полученные синтетическим путем. Причем анализ состояния переработки эластомеров показал, что утилизация старых автомобильных покрышек является очень перспективной и достаточно актуальной.

Было решено утилизировать старые автомобильные покрышки, резину от велосипедной камеры и т.д., то есть те отработанные резинотехнические изделия, которые могут быть полезны в различных областях промышленности и народного хозяйства. Измельчаемую резину решили охлаждать до температуры бытовой морозильной камеры.

Для проведения исследований использовали следующее основное оборудование: молотковая дробилка - «МОЛОТ – 200/400 производства завода «ИНФЕЛ» (Россия, г. Челябинск); аппарат шоковой заморозки ШОК-10-1/1 производства ООО «ЭЛИНОКС».

Аппарат шоковой заморозки коробчатой формы ШОК-10-1/1 производства ООО «ЭЛИНОКС» представляет собой следующую конструкцию – шкаф между внутренней и наружной стенкой, которого залита полиуретановая пена высокой плотности. Холодильный агрегат расположен снизу. Для обеспечения теплоизоляции холодильного шкафа двери снабжены уплотнителем с магнитной вставкой. Внутри шкафа расположен воздухоохладитель с вентилятором (и), что обеспечивает равномерное распределение температуры внутри полезного объема.

В качестве измельчающего устройства было принято использовать современную конструкцию молотковой дробилки Molot – 400/200 (ЗПО «ИНФЕЛ»). Дробилка предназначена для тонкого измельчения различных видов материалов, как растительного, так и минерального происхождения.

Основные технические характеристики дробилки:

- производительность: 400 кг/час;
- потребляемая мощность: -2200 Вт;
- частота вращения ротора: 2850 об/мин.

Измельчение в дробилке осуществляется при помощи молотков, установленных на роторе. Молотки изготовлены из специальной стали, толщиной до 12 мм, и имеют специфическую форму и каленые зубья. Толщина молотков в базовой комплектации 3 мм, края закаленные. Всего в дробилке может быть установлено до 48 молотков. Фракционирование продукта происходит через сито, установленное на выходе.

Основной принцип работы дробилки заключается во вращении с высокой скоростью ротора с молотками и пальцами и измельчению продукта. Сырье поступает в рабочую камеру дробления через загрузочный бункер. Подача сырья осуществляется непрерывно, либо периодически через некоторое время.

Цель исследования состояла в выявлении наиболее эффективной технологии с точки зрения энергозатрат и качества полученного продукта для измельчения отходов резины, подвергшихся замораживанию.

Объектом исследований выступали следующие виды отходов резины:

- Камера автомобильная
- Покрышка автомобильная
- Резиновый настил

Методика проведения экспериментального исследования заключалась в следующем:

1 Проводился поисковый эксперимент: В ходе поискового эксперимента дробилка эксплуатировалась в периодическом режиме. Это

было связано с тем, что базовая комплектация сит не предназначалась для измельчаемого нами вида сырья. Поисковый эксперимент показал, что данную дробилку можно использовать для измельчения эластомеров синтетического происхождения.

2 Дальнейшие исследования проводились по следующей схеме:

– Вначале подготовили образцы отходов резины размером – 4 x10, 4x5, 3x5, 3x2,5. Подготовленные образцы замораживали в течение 15, 18, 30, 40, 50, 60 мин, причем через каждый заданный промежуток времени измеряли значение температуры.

– Далее отвешивали навеску нарезанных до заданного размера отходов резины следующей массы – 0,1; 0,15 и 0,25 кг. Далее полученную навеску замораживали в течение 20 мин, 1 и 2 ч.

Подготовленные таким образом образцы измельчали на дробилке с установленными ситами диаметром 01; 5 и 10 мм, в ходе измельчения измеряли производительность и потребляемую мощность.

В результате экспериментов был получен измельченный продукт, определенного гранулометрического состава.

Выводы

В результате экспериментальных исследований было установлено, что при измельчении подвергнутых предварительному охлаждению старых автомобильных покрышек и резины велосипедных камер, можно получить достаточно неплохие результаты по измельчению резины, в частности старых автомобильных шин. Кроме того, было выяснено, что необходимо использовать в качестве измельчающих рабочих органов модифицированную конструкцию молотков.

Дальнейшие исследования будут проводиться в области измельчения резины (шин) с предварительным изменением ее прочностных за счет использования различных химических реагентов.

Список используемых источников

1 Бобович Б. Б. Переработка промышленных отходов: учебное изд. СПб.: «Интернет Инжиниринг», 1999. 445 с.

2 Вещев А.А., Проворов А.В. Утилизация изношенных покрышек пневматических шин // Каучук и резина : науч.-техн. журн. 2009. № 4. С. 37-40.

3 Утилизация шин, переработка покрышек и РТИ. // Основа Успеха, утилизации отработанных шин и РТИ. 2009 г. [Электронный ресурс]. URL: www.utilrti.ru (дата обращения:10.02.2017).

4 Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология. М: Высшая школа, 2001. 273 с.

References

1 Bobovich B. B. Pererabotka promyshlennyh othodov: uchebnoe izd. SPb.: «Internet Inzhiniring», 1999. 445 s. [in Russian]

2 Veshhev A.A., Provorov A.V. Utilizacija iznoshennyh pokryshek pnevmaticheskikh shin // Kauchuk i rezina : nauch.-tehn. zhurn. 2009. № 4. S. 37-40. [in Russian]

3 Utilizacija shin, pererabotka pokryshek i RTI. // Osnova Uspeha, utilizacii otrabotannyh shin i RTI. 2009 g. [Jelektronnyj resurs]. URL: www.utilrti.ru (data obrashhenija:10.02.2017). [in Russian]

4 Lukanin V.N. Promyshlennenno-transportnaja jekologija. M: Vysshaja shkola, 2001. 273 s. [in Russian]

Сведения об авторах

About the authors

Ганин Е. В., канд. техн. наук, доцент кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств, ФГБОУ ВО ОГУ, г. Оренбург, Российская Федерация

E. V. Ganin, Candidate of Technical Sciences; Associate Professor of the Chair Machines and Devices, Chemical and Food Industries; FSBEI HE OSU, Orenburg, Russian Federation

e-mail: ganin-ev@mail.ru

Антимонов С. В., канд. техн. наук, доцент кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств, ФГБОУ ВО ОГУ, г. Оренбург, Российская Федерация

S. V. Antimonov, Candidate of Technical Sciences; Associate Professor of the Chair Machines and Devices, Chemical and Food Industries, FSBEI HE OSU, Orenburg, Russian Federation

e-mail: antimonov.stas@yandex.ru

Абдрахманова А.М., магистр кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств; ФГБОУ ВО ОГУ, г. Оренбург, Российская Федерация

A. M. Abdrahmanova, Master of the Chair Machines and Devices, Chemical and Food Industries; FSBEI HE OSU, Orenburg, Russian Federation

e-mail: alfiya_abd@bk.ru

Иванова Ю. С., магистр кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств, ФГБОУ ВО ОГУ, г. Оренбург, Российская Федерация

Yu. S. Ivanova, Master of the Chair Machines and Devices, Chemical and Food Industries; FSBEI HE OSU, Orenburg, Russian Federation

e-mail: yuliya___1994@mail.ru