

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕВУЛКАНИЗАТА

М.В. Соколов¹, М.М. Николукин²

Кафедры: «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» (1); «Переработка полимеров и упаковочное производство» (2), ГОУ ВПО «ТГТУ»; msok68@mail.ru

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: относительное изменение диаметра экструдата; резиновая крошка; утилизация изношенных шин; экструдер.

Аннотация: Рассмотрены перспективные способы переработки и утилизации изношенных шин. Приведены схемы промышленной и экспериментальной установок для непрерывной девулканизации резиновой крошки. Показана работоспособность и эффективность ультразвуковой приставки к экструзионной головке.

Изношенные шины являются отходами, которые занимают много физического пространства, с трудом поддаются уплотнению, сбору и ликвидации. Они не поддаются биологическому разложению, поскольку срок их разложения не поддается определению. В их состав входят опасные компоненты, такие как свинец, хром, кадмий и другие тяжелые металлы. В отсутствие надлежащей утилизации шины представляют собой угрозу для здоровья людей и окружающей среды.

Утилизация представляет собой процедуру, при которой каучук шины преобразуется, используя механические процессы, термическую энергию и химические вещества, в такое состояние, в котором он может смешиваться, обрабатываться и вновь вулканизироваться. Принцип этого процесса – девулканизация, которая заключается в разрушении межмолекулярных связей химической структуры, таких как углерод—сера (C—S) или сера—сера (S—S). Они придают шинам долговечность, эластичность и устойчивость к растворителям.

Девулканизация состоит из двух стадий: измельчение и разрушение химических связей, что может быть достигнуто посредством применения четырех процессов, которые различаются по стоимости и технологии, а именно: химического, ультразвукового, микроволнового и биологического.

Химическая девулканизация представляет собой периодический процесс, когда измельченные частицы смешиваются с реагентами в реакторе при температуре около 180 °C и давлении 15 бар. После завершения реакции продукт фильтруется, высушивается для удаления нежелательных химических компонентов и упаковывается для сбыта.

Ультразвуковой процесс. Измельченные частицы каучука загружаются в загрузочный бункер и затем подаются в экструдер. Экструдер механически проталкивает каучук. Это механическое воздействие разогревает частицы и размягчает

резину. При прохождении размягченной резины через полость экструдера она подвергается воздействию ультразвуковой энергии. Сочетание тепла, давления и механического перетира является достаточным для достижения различных степеней девулканизации.

Микроволновой процесс. Термическая энергия очень быстро и единообразно воздействует на утильную резину. Однако при использовании микроволнового процесса структура любого вулканизированного каучука должна быть достаточно полярной, чтобы абсорбировать микроволновую энергию в достаточной степени для достижения девулканизации. Единственное разумное применение микроволновой девулканизации – смеси, содержащие, в основном, полярный каучук, что ограничивает применение этого метода.

Биологический процесс. Бактериальная девулканизация осуществляется путем смешивания тонкоизмельченного каучука со средами, содержащими соответствующие бактерии, в биореакторе с контролируемой температурой. Эта смесь затем выдерживается при заданных температуре и давлении в течение всего срока обработки. Срок биологического контакта составляет от десяти до нескольких сотен дней. После этого переработанный материал фильтруется для очистки от микроорганизмов, высушивается и реализуется [1].

Имеющаяся информация об экологических последствиях девулканизации ограничивается химическим и ультразвуковым процессами. В обоих случаях имеют место выбросы атмосферных загрязнителей и жидких фильтратов.

В докладе, опубликованном “Calrekaveri Inc” (2004), сообщается о выбросах приблизительно 50 органических соединений, включая бензол, толуол и гептаны. Существует также вероятность выбросов сероводорода H_2S и, в результате окисления H_2S – двуокиси серы SO_2 . В этой связи для данного процесса требуются фильтры для контроля выбросов и скрубберы для удаления SO_2 . Что касается жидкого фильтрата, появляющегося в результате работы скруббера, то он должен быть надлежащим образом обработан, прежде чем его сливать в водоемы [1].

В табл. 1 приводится информация о стоимости и производительности девулканизации каучука.

Процесс девулканизации с применением ультразвука является весьма перспективным, особенно в последние два десятилетия. В большом масштабе утилизация отходов резины возможна благодаря смешиванию с термопластами и грамотному применению в качестве наполнителя в асфальт или цемент.

Недавние многочисленные публикации были посвящены изучению эффекта воздействия ультразвука на полимеры с малыми концентрациями и на расплавленные полимеры в процессе экструзии. Значительные усилия были приложены для понимания механизма воздействия ультразвука на вязкотекучую среду.

Применение ультразвуковых волн для процесса девулканизации резины является очень перспективной областью изучения. Многие источники показывают, что резина вулканизуется ультразвуком лучше, чем девулканизуется. Девулканизация резины с использованием энергии ультразвука впервые была рассмотрена

Таблица 1

Смета расходов по производству девулканизированного каучука

Позиция	Химический процесс	Ультразвуковой процесс
Производительность, кг/ч	34	34
Капитальные затраты, тыс. долл. США	166	163
Стоимость эксплуатации и обслуживания, тыс. долл. США	172	136

японскими учеными Okuda и Hatano (M. Okuda and Y. Hatano, inventors; no assignee; JP Patent 62.121.741A2.1987). Это был непрерывный процесс, в котором вулканизованная резина девулканизовывалась после обработки в течение 20 мин при частоте звуковых волн 50 кГц. Процесс требовал разрушения сероуглеродных связей и серных связей, но не углерод-углеродных связей. Свойства ревулканизованной резины были очень схожи с оригинальными вулканизатами.

В конце прошлого века был запатентован новый непрерывный процесс для девулканизации отходов резины, который был признан подходящим для переработки отходов резины. Эта технология базируется на применении ультразвука высокой мощности. Ультразвуковые волны на определенном уровне, в присутствии давления и теплового воздействия, могут распространяться в пространстве во всех направлениях поперечно сшитой резины. Процесс ультразвуковой девулканизации очень быстрый, простой, действенный и не требует растворителей и химических добавок. Девулканизация длится секунды и может привести к необходимому разрушению сернистых связей в вулканизованной резине. Процесс также годится для изменения структуры (с перекрещенными связями) резины и пластиков, не содержащих пероксидов. Схема девулканизационного реактора для осуществления данного процесса представлена на рис. 1.

Эта машина была разработана в сотрудничестве с фирмой National Feedscrews and Machining, Inc. Реактор состоит из одношнекового экструдера с диаметром формирующего инструмента 38,1 мм и смонтированной на нем ультразвуковой установки. Конусообразное кольцо ультразвукового излучателя закреплено внутри канала для лучшего охлаждения. Дробленая резина поступает в экструдер через загрузочный бункер с регулируемым дозированием. Таким образом, процесс получения заготовки зависит от процесса дозирования. Одновременно задействованы питание ультразвуковой установки, акустического конвертора, двигателя и конусовидного излучателя. Вибрации излучателя направлены в продольном направлении и воздействуют с частотой 20 кГц с различными амплитудами. Ультразвуковой излучатель установлен на фланце экструдера. Выпуклый конец излучателя соответствует вогнутой поверхности фильеры, что позволяет

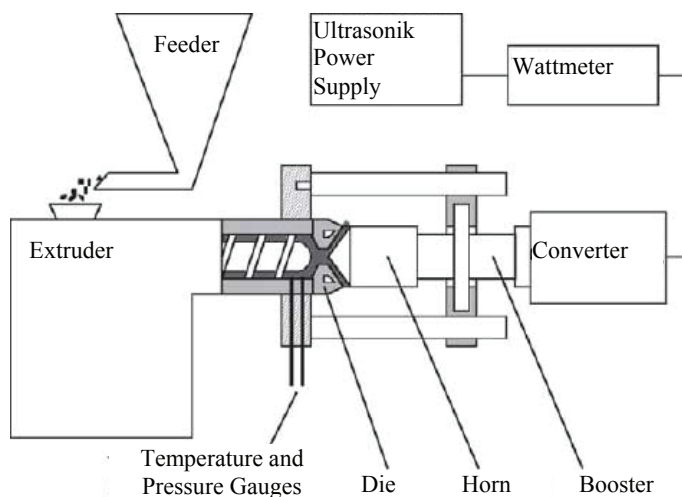


Рис. 1. Схема девулканизационного реактора на основе экструдера: Feeder – загрузочный бункер; Extruder – экструдер; Ultrasonik Power Supply – блок питания ультразвуковой установки; Wattmeter – ваттметр; Temperature and Pressure Gauges – датчики температуры и давления; Die – головка экструдера; Horn – ультразвуковой излучатель; Booster – двигатель; Converter – преобразователь [2]

сохранять равномерный зазор между излучателем и фильерой. Данный метод представляет собой непрерывный процесс, позволяющий перерабатывать различные типы резины и термопластов. В результате ультразвуковой девулканизации получают желаемое – резина становится снова мягкой, что позволяет использовать этот материал для дальнейшей переработки, так как он имеет уже определенную форму и по свойствам очень похож на чистую резину [2].

Экспериментальные исследования по улучшению показателей качества длинномерных резинотехнических изделий проводились на установке, показанной на рис. 2 [3]. Для проведения экспериментальных исследований по изучению воздействия ультразвука на резиновую смесь была модернизирована формующая головка 1, на которой смонтирована ультразвуковая приставка 14. По различным литературным источникам известно, что применение ультразвуковых установок способствует равномерному распределению материала в резиновой смеси, меньшему разбуханию заготовки на выходе из формующего инструмента, а также ускорению процесса девулканизации.

На рисунке 3 показана зависимость относительного изменения диаметра экструдата под действием ультразвука и без него при двух типоразмерах выходного диаметра и длины мундштука. Видно, что существует экстремальная область, в которой относительное изменение диаметра экструдата минимально ($n_{ш} = 20$ об/мин) при этом под действием ультразвука оно примерно в два раза меньше, чем без наложения ультразвука.

Изношенные шины, девулканизат и переработанная резина широко применяются в различных изделиях и технологиях (табл. 2) [2].

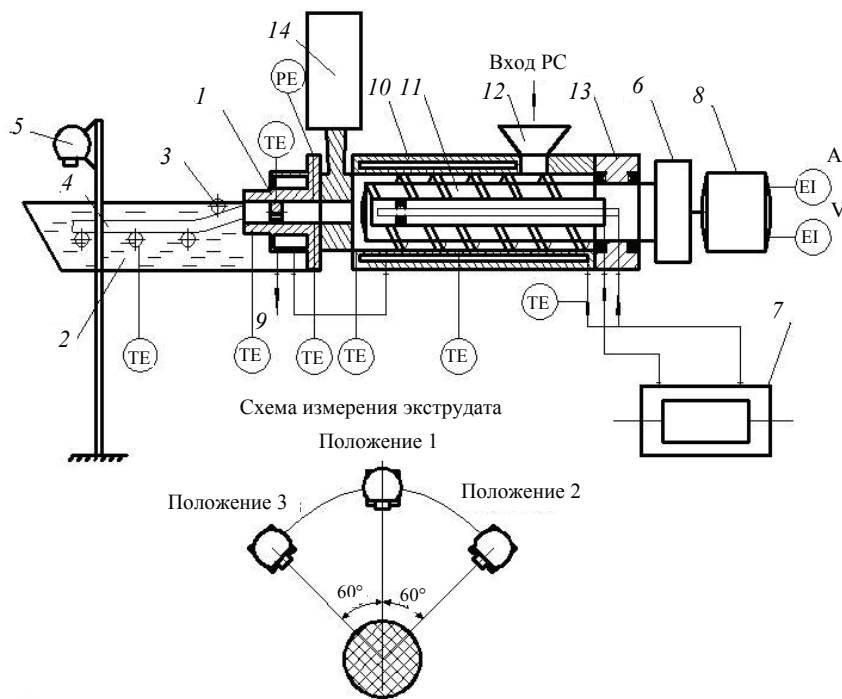


Рис. 2. Экспериментальная установка для исследования процесса экструзии резиновой смеси: 1 – формующая головка; 2 – ванна с теплоносителем; 3 – прижимные ролики; 4 – экструдат; 5 – цифровая фотокамера; 6 – редуктор; 7 – термостат; 8 – электродвигатель; 9 – дорнодержатель; 10 – цилиндр; 11 – шнек; 12 – загрузочное устройство; 13 – привод шнека; 14 – ультразвуковой излучатель с экраном; ТЕ – датчики температуры; РЕ – датчик давления; А – амперметр; V – вольтметр

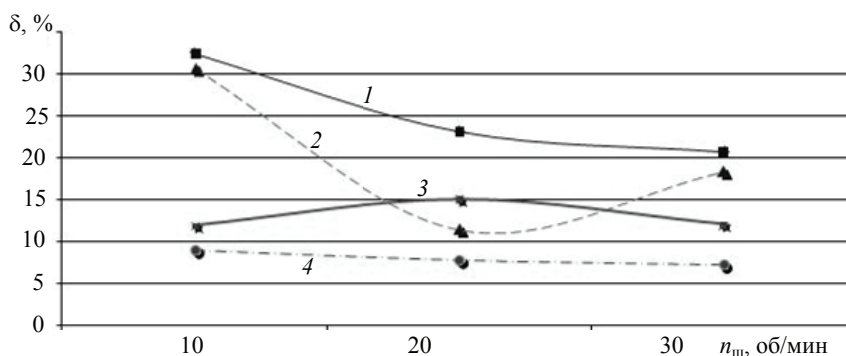


Рис. 3. Зависимость относительного изменения диаметра экструдата под действием ультразвука и без него: 1 – без ультразвука при $d_M = 10,4$ мм, $l_M = 39$ мм; 2 – с применением ультразвука при $d_M = 10,4$ мм, $l_M = 39$ мм; 3 – без ультразвука при $d_M = 18$ мм, $l_M = 55$ мм; 4 – с применением ультразвука при $d_M = 18$ мм, $l_M = 55$ мм

Таблица 2

Сферы применения переработанной резины

Применение	Источник	Технология
Добавки в бетонные конструкции		Р
Обустройство свалок	PW, TW	М, А
Стабилизация склонов	PW, TW	М, А
Временные дороги	PW, TW	М, А
Теплоизоляция	PW	М, А
Легкие наполнители	PW	А, В
Шумопоглощающие барьеры	PW	М, А
Добавки к асфальту	ТТ, РТ, ОТ	Р, D, В
Обустройство дороги	МТ	А, С, R, D
Основание для ж.-д. и трамвайного полотна	PW, TW	М, А, С

Примечание: PW – целые шины пассажирских автомобилей; TW – целые шины грузовых автомобилей; МТ – смешанные целые шины пассажирских/грузовых автомобилей; ТТ – протектор шины грузовых автомобилей; РТ – протектор шины легковых автомобилей; ОТ – прочие шины (с.-х., велосипед), все шины; М – механическая (резка, сжатие); С – криогенное измельчение; А – измельчение при положительной температуре; В – стружка; D – девулканизация; R – утилизация; Р – пиролиз.

Таким образом, применение эффективных методов и устройств вторичной переработки резиновой крошки, в частности ультразвуковой приставки к экструзионной головке, позволит получать длинномерные заготовки из девулканизованной резиновой смеси, которая становится относительно дешевым сырьем, и наряду с этим улучшается экологическая обстановка окружающей среды.

Работа выполнена в рамках ФЦП № 14.740.11.0141 по теме «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области многофункционального приборостроения для промышленных систем управления».

Список литературы

1. Конференция сторон Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением [Электронный ресурс] / Материалы IX совещания. – Режим доступа : <http://www.basel.int/meetings/frset-main.php>. – Загл. с экрана.

2. Sadhan, K. De Rubber Technologist's Handbook / K. Sadhan, K. De, Jim R. White. – Rapra Technology Limited : Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK, 2001. – 576 p.

3. Методология расчета и проектирования оборудования для производства длинномерных профильных резинотехнических заготовок заданного качества : монография / М.В. Соколов [и др.]. – М. : Машиностроение, 2009. – 352 с.

Prospects for the Use of Ultrasound in Production of Devulcanized Rubber

M.V. Sokolov, M.M. Nikolyukin

*Department "Polymer Processing and Packaging Production", TSTU;
msok68@mail.ru*

Key words and phrases: extruder; relative change in the diameter of the extrudate; recycling of waste tires; rubber crumb.

Abstract: The paper examines the promising methods of processing and recycling of used tires. The schemes of the industrial and experimental setup for the continuous devulcanized crumb rubber are given. The efficiency and effectiveness of ultrasonic console to the extrusion head is shown.

Perspektiven der Benutzung des Ultraschalles bei der Erzeugung des Regenerates

Zusammenfassung: Es sind die perspektiven Verfahren der Verarbeitung und der Verwertung der abgenutzten Reifen betrachtet. Es sind die Schemen der Betriebs- und Experimentalanlagen für die ununterbrochenen Entvulkanisation des Gummischrottes angeführt. Es ist die Arbeitsfähigkeit und die Effektivität des Ultraschallzusatzgerätes zu dem Extrusionskopf gezeigt.

Perspectives de l'emploi de l'ultrason lors de la production de dévulcanisation

Résumé: Sont examinés les moyens perspectifs du traitement et de l'utilisation des pneus usés. Sont cités les schémas de l'installation industrielle et expérimentale pour une dévulcanisation continue du caoutchouc. Est montrée la capacité de travail et l'efficacité d'un appareil ultrason pour une tête d'extrusion.

Авторы: *Соколов Михаил Владимирович* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»; *Николюкин Михаил Михайлович* – аспирант кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Кочетов Виктор Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная геометрия и компьютерная графика», ГОУ ВПО «ТГТУ».