

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВАЛКОВО-ШНЕКОВОГО АГРЕГАТА И СОВМЕЩЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ И УПАКОВКИ

Д.Л. Полушкин, А.С. Клинков, П.В. Макеев, С.С. Гуреев

*Кафедра «Переработка полимеров и упаковочное производство»,
ГОУ ВПО «ТГТУ»; polymers@asp.tstu.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: валково-шнековый агрегат; ИК-спектроскопия; рентгеноструктурный анализ; суммарная величина сдвига; утилизация полимерной тары и упаковки; физико-механические показатели вторичного материала.

Аннотация: Разработан технологический процесс утилизации полимерной тары и упаковки во вторичный гранулят, позволяющий снизить трудовые и энергетические затраты при получении 1 кг вторичной продукции. Смонтирован и изготовлен лабораторный стенд для изучения процесса валково-шнековой утилизации.

В мире наблюдается стремительный рост производства и потребления упаковочных полимерных материалов. В России его темпы составляют 5–6 % ежегодно. Однако на рубеже тысячелетий человечество столкнулось с проблемой утилизации изделий из полимерных материалов, утративших свои потребительские и эксплуатационные свойства. Мониторинг проблемы утилизации выявил потребность переработки отходов полимерной тары и упаковки. При этом основную сложность, например в Тамбовской области, представляет утилизация пленочных отходов. На сегодняшний день на территории мусоросортировочного завода ежемесячно скапливается порядка 30–35 т пленочных отходов.

Существующие методы утилизации, такие как захоронение, сжигание, деструктивные методы, приводят к нерациональному использованию, загрязнению окружающей среды ядовитыми соединениями, образующимися при сгорании, сложны технологически и требуют значительных финансовых затрат. Поэтому вторичное использование отходов для переработки в изделия способствует снижению степени загрязнения окружающей среды и является дополнительным сырьевым источником.

Традиционный процесс утилизации полимерной тары и упаковки включает в себя: сбор, сортировку, измельчение, мойку, сушку, пластикацию и грануляцию. Использование всех этих стадий требует значительных трудовых и энергетических затрат, приводит к увеличению производственных площадей и капитальных вложений, и, как следствие, к увеличению себестоимости продукции.

В соответствии с целями и задачами научного исследования на кафедре «Переработка полимеров и упаковочное производство» Тамбовского государственного технического университета был разработан непрерывный технологический

процесс утилизации отходов полимерной тары и упаковки, позволяющий исключить из технологической цепочки дробление и сушку материала [1]. Технологический процесс осуществляется следующим образом (рис. 1): отходы поступают на участок сортировки 1, где из них удаляют инородные и металлические включения. Далее отходы полимеров непрерывно загружаются с правой стороны поверхности валков валково-шнекового агрегата 2. Под действием сил адгезии и трения материал затягивается в межвалковый зазор. Двигаясь вдоль оси валков, происходит плавление, удаление летучих компонентов, пластикация и гомогенизация. Также в процессе вальцевания возможно модифицирование и окрашивание расплава.

Для обеспечения непрерывности процесса и профилирования вальцуемого материала, расплав полимера снимается специальным ножом с противоположной стороны поверхности валков и направляется в межвитковое пространство шнека отборочного устройства валково-шнекового агрегата 2. Захватываясь витками шнека, расплав полимера транспортируется к зоне выгрузки, где продавливается через формирующие отверстия. Полученные стренги охлаждаются устройством 5, пропускаются через тянущее устройство 6, далее режутся устройством 7. Полученные гранулы собираются в емкости 8.

По данной технологии могут перерабатываться не только отходы полимерной тары и упаковки производственного и общественного происхождения, но и различные технологические отходы термопластов, причем, в зависимости от конструкции формирующей головки шнекового отборочного устройства, возможно получение изделий непосредственно из вторичного сырья.

В ранних исследованиях было установлено, что на свойства перерабатываемого вторичного термопластичного материала определяющее влияние оказывает величина суммарной деформации сдвига, возникающая в рабочих зазорах технологического оборудования.

Так, величина суммарной деформации сдвига в случае валково-шнекового процесса утилизации может быть представлена как сумма суммарных величин сдвига непрерывного процесса вальцевания $\gamma_{\text{в}}$, экструзии при отборе расплава полимера $\gamma_{\text{ш}}$ и суммарной величины сдвига, возникающей в формирующих каналах $\gamma_{\text{фк}}$ [2]

$$\gamma_{\text{сум}} = \gamma_{\text{в}} + \gamma_{\text{ш}} + \gamma_{\text{фк}}, \quad (1)$$

где $\gamma_{\text{в}}$, $\gamma_{\text{ш}}$, $\gamma_{\text{фк}}$ – суммарные величины сдвигов для непрерывного процесса вальцевания, в каналах шнека и в формирующих каналах соответственно.

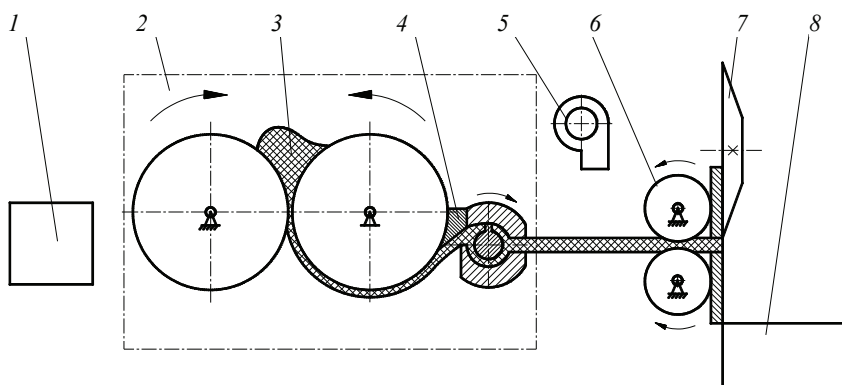


Рис. 1. Схема технологического процесса утилизации отходов полимерной тары и упаковки валково-шнековым методом: 1 – участок сортировки отходов; 2 – валково-шнековый агрегат; 3 – отходы полимеров; 4 – отборочно-шнековое устройство; 5 – устройство охлаждения; 6 – тянущее устройство; 7 – режущее устройство; 8 – емкость для гранул

Для исследования связи величины суммарной деформации сдвига валково-шнекового метода переработки с физико-механическими показателями перерабатываемого материала был разработан и смонтирован экспериментальный лабораторный стенд – валково-шнековый агрегат – на базе валцов с диаметром валков 80 мм и длиной 200 мм (рис. 2).

Лабораторный валково-шнековый агрегат представляет собой два горизонтально расположенных полых валка, вращающихся навстречу друг другу с разными окружными скоростями. Для поддержания температуры переработки ($T = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$) агрегат снабжен системой термостатирования. Привод валков осуществляется от электродвигателя постоянного тока. Крутящий момент с вала электродвигателя передается через муфту, редуктор, передаточные шестерни на задний валок и через фрикционную передачу на передний валок.

Поскольку валково-шнековая технология переработки – это совмещенный технологический процесс вальцевания и экструзии, было принято решение исследовать связь величины суммарной деформации сдвига с физико-механическими показателями вторичного материала при переработке на традиционных валковых машинах. В результате на разработанном экспериментальном лабораторном валково-шнековом агрегате был осуществлен процесс периодического и непрерывного вальцевания при варьировании величинами фрикции, межвалкового зазора и частоты вращения валков валцов. В качестве исследуемого материала был выбран полиэтилен высокого давления (ПЭВД), так как его производство является крупнотоннажным, и порядка 70 % всей выпускаемой полимерной тары и упаковки производится из этого полимера.

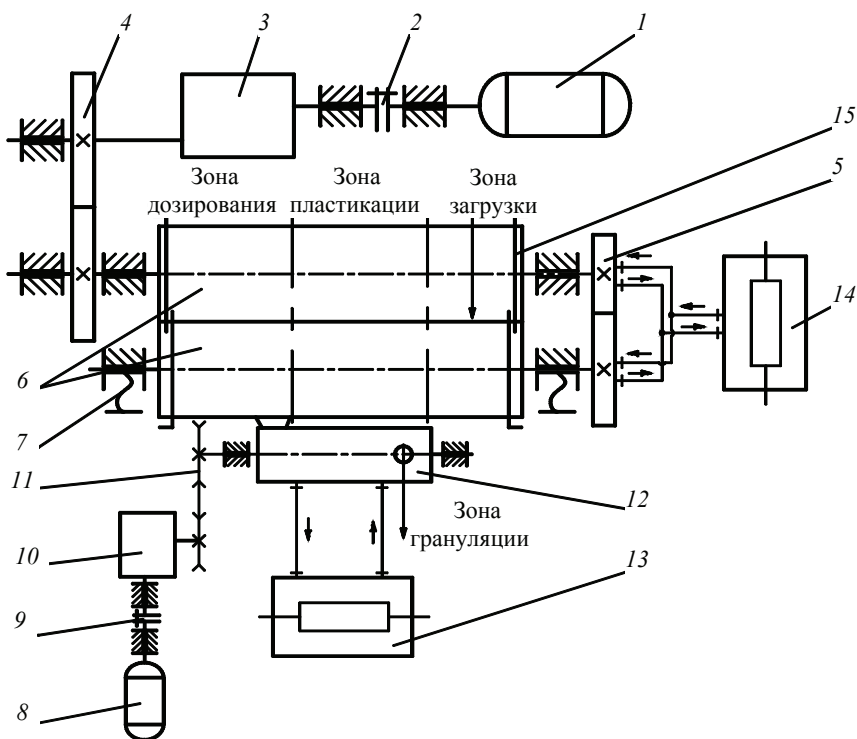


Рис. 2. Схема лабораторного валково-шнекового агрегата: 1 – электродвигатель; 2, 9 – муфта; 3 – редуктор; 4 – передаточные шестерни; 5 – фрикционная передача; 6 – валки; 7 – механизм регулировки зазора; 8 – электродвигатель отборочного устройства; 10 – червячный редуктор; 11 – клиноременная передача; 12 – отборочно-шнековое устройство; 13, 14 – термостат; 15 – ограничительные стрелы

С учетом проведенных исследований, а также после расчета величины суммарной деформации сдвига для процессов периодического и непрерывного вальцевания по формулам [2] в зависимости от технологических и конструктивных параметров процесса и оборудования была получена графическая зависимость (рис. 3, а).

Анализ зависимости показал, что наилучшие физико-механические свойства вторичного материала, в частности прочность при разрыве σ_p полученного вторичного материала для периодического и непрерывного процессов вальцевания γ_v , наблюдается при величине суммарной деформации сдвига $\gamma_v = 2100 \dots 2250$.

В результате были получены графические зависимости (рис. 3, б).

Аналогичные исследования были проведены на червячных машинах с диаметром червяков 20 и 32 мм. Анализ графических зависимостей позволяет сделать вывод, что наилучшие физико-механические показатели вторичного материала, в частности прочность при разрыве σ_p , как для процессов периодического и непрерывного вальцевания γ_v , так и для процесса экструзии $\gamma_{ш}$, наблюдается при одинаковой величине суммарной деформации сдвига $\gamma_{ш} = 2100 \dots 2250$.

Таким образом, достижение заданного значения величины суммарной деформации сдвига может быть положено в основу инженерной методики при проектировании валково-шнековых агрегатов разной производительности с учетом

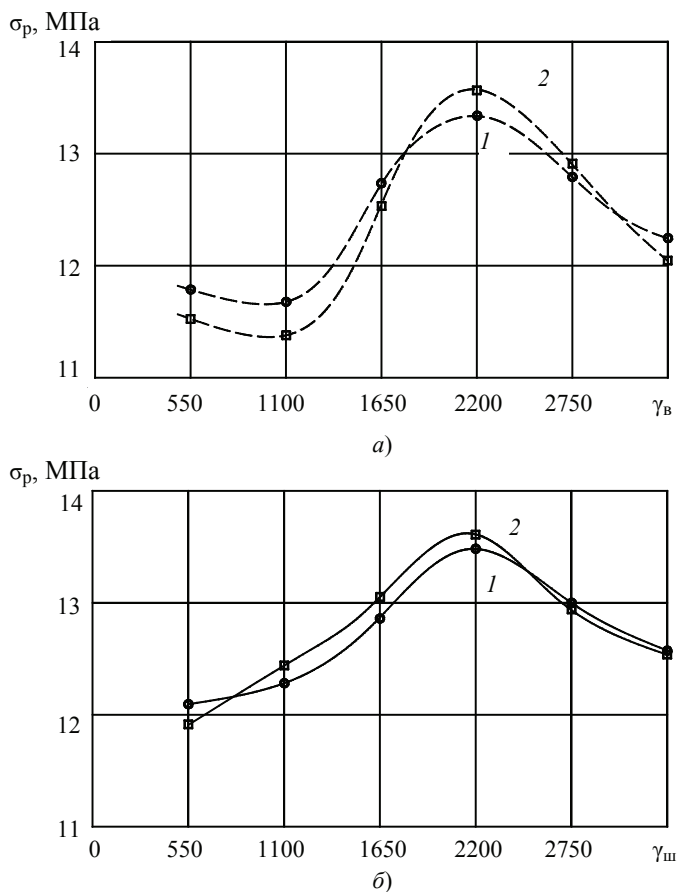


Рис. 3. Зависимость прочности при разрыве σ_p от величины суммарной деформации сдвига: а – при непрерывном (1) и периодическом (2) режимах работы валцов γ_v ; б – при переработке на экструдерах $\gamma_{ш}$ с диаметром червяков 20 (1) и 32 мм (2)

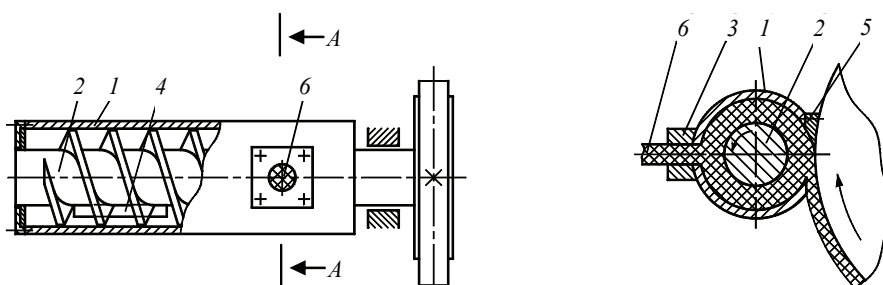


Рис. 4. Схема шнекового отборочного устройства: 1 – цилиндр; 2 – шнек; 3 – формирующий инструмент; 4 – загрузочное окно; 5 – нож; 6 – расплав полимера

заданного качества получаемого вторичного материала. На основании проведенных исследований, а также с учетом величины суммарной деформации сдвига валково-шнекового процесса (1), было спроектировано и изготовлено шнековое отборочное устройство (рис. 4) [3].

Шнековое отборочное устройство представляет собой цилиндр 1 с расположенным внутри шнеком 2 на двух подшипниковых опорах. Шнек выполняет функцию транспортирования и дополнительной гомогенизации массы, а также создания давления перед формирующим инструментом. Шнековое отборочное устройство снабжено системой термостатирования, индивидуальным приводом от двигателя переменного тока и съемными профилирующими приставками с различным количеством фильер разной конфигурации, что дает возможность получения изделий непосредственно из вторичного сырья.

По сравнению с известным ранее боковым отборочным устройством [4], используемым в процессе валковой утилизации пленочных отходов, шнековое отборочное устройство позволяет повысить производительность процесса в 2,23 раза и снизить величину удельной мощности, затрачиваемой на 1 кг получаемой продукции в 2 раза (рис. 5, 6).

В итоге был реализован технологический процесс непрерывной утилизации термопластов на разработанном валково-шнековом агрегате (см. рис. 1).

В результате были получены графические зависимости (рис. 7–9).

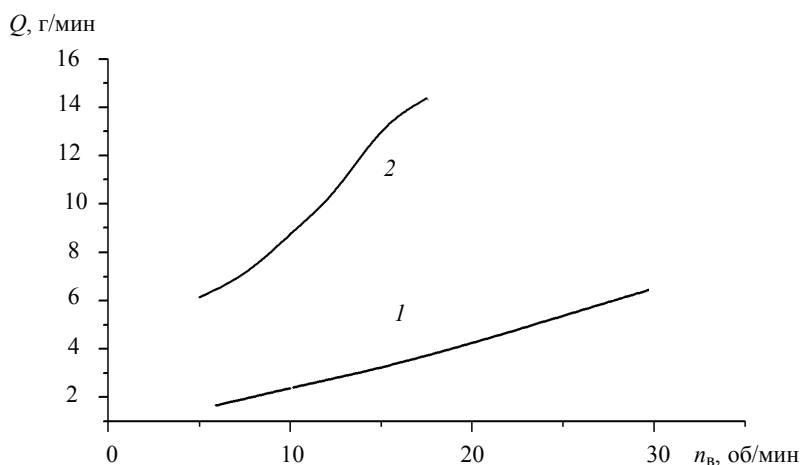


Рис. 5. Зависимость производительности Q от частоты вращения валцов n_B : 1 – боковое отборочно-гранулирующее устройство; 2 – валково-шнековый агрегат

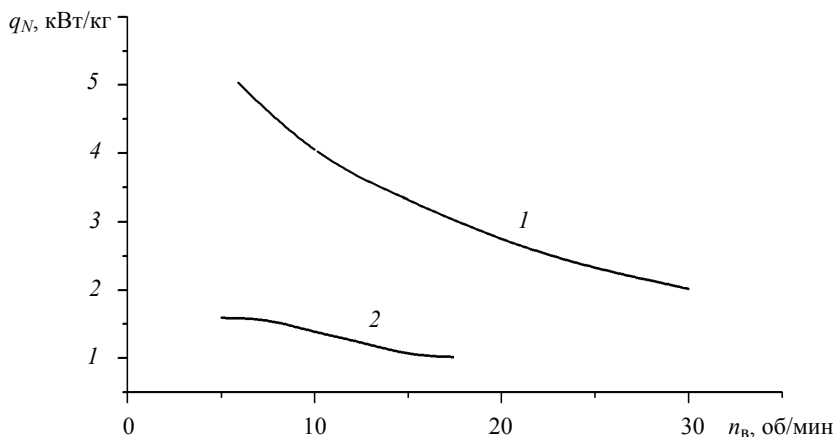


Рис. 6. Зависимость удельной мощности q_N , затрачиваемой на получение 1 кг продукции от частоты вращения валцов n_B : 1 – боковое отборочно-гранулирующее устройство; 2 – валково-шнековый агрегат

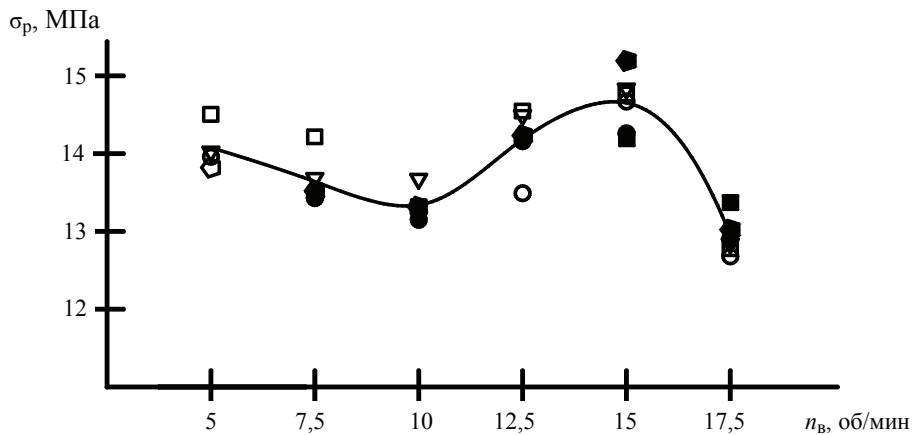


Рис. 7. Зависимость прочности при разрыве σ_p от частоты вращения валков n_B при различной частоте вращения шнека $n_{ш}$, об/мин: \diamond – 35; \circ – 42; \square – 49; ∇ – 56; \blacklozenge – 63; \bullet – 70; \blacksquare – 77

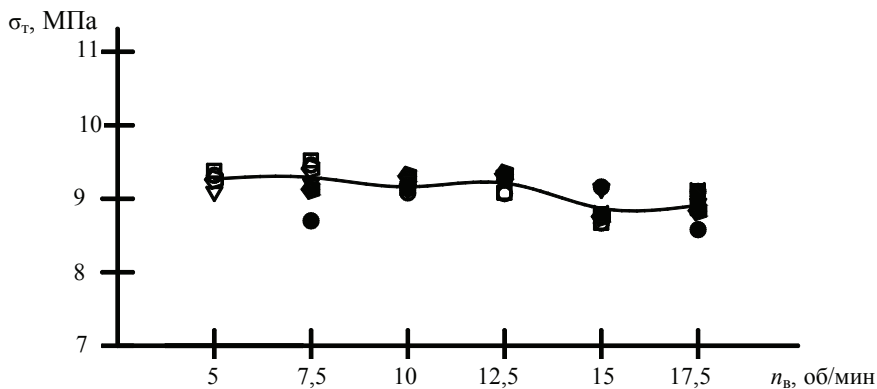


Рис. 8. Зависимость предела текучести σ_T от частоты вращения валков n_B при различной частоте вращения шнека $n_{ш}$, об/мин: \diamond – 35; \circ – 42; \square – 49; ∇ – 56; \blacklozenge – 63; \bullet – 70; \blacksquare – 77

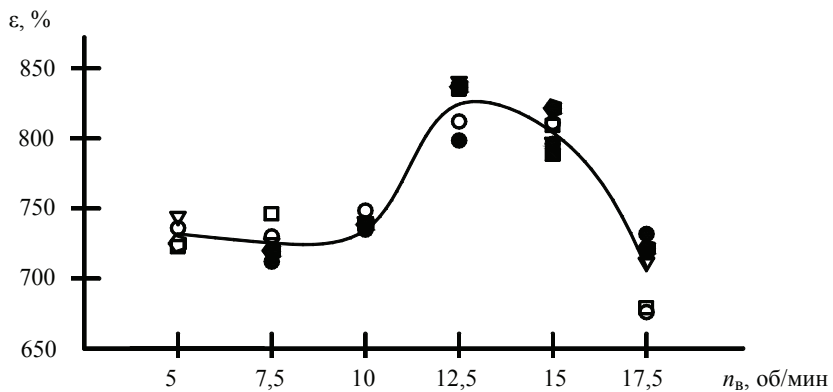


Рис. 9. Зависимость относительного удлинения при разрыве ε от частоты вращения валков вальцов $n_{в}$ при различной частоте вращения шнека $n_{ш}$, об/мин: \diamond – 35; \circ – 42; \square – 49; ∇ – 56; \blacklozenge – 63; \bullet – 70; \blacksquare – 77

Анализ зависимостей показывает, что основное сдвиговое воздействие на материал со стороны технологического оборудования в процессе вторичной переработки осуществляется на валковом пластикаторе.

На основании проведенных экспериментальных исследований, а также с учетом величины суммарной деформации сдвига для процесса валково-шнековой утилизации, была получена графическая зависимость (рис. 10).

Анализ зависимости позволяет сделать вывод, что наилучшие показатели по прочности вторичного термопластичного материала, как и для традиционных процессов вальцевания и экструзии, наблюдаются в диапазоне величины суммарной деформации сдвига $\gamma_{сум} = 2100 \dots 2250$.

В связи с этим достижение заданного значения величины суммарной деформации сдвига позволяет проектировать технологическое оборудование различной производительности с заданным качеством вторичного гранулята.

При этом сравнительный анализ прочности при разрыве σ_p получаемого вторичного термопластичного материала с первичным ПЭВД 15803-020 показал, что в процессе вторичной переработки происходит структурирование полимера.

Проведенные дополнительные исследования методом ИК-спектроскопии (рис. 11) и по определению молекулярной массы (рис. 12) подтвердили предположение, что повышение прочности при разрыве σ_p связано со структурированием вторичного термопластичного материала в процессе вторичной переработки на

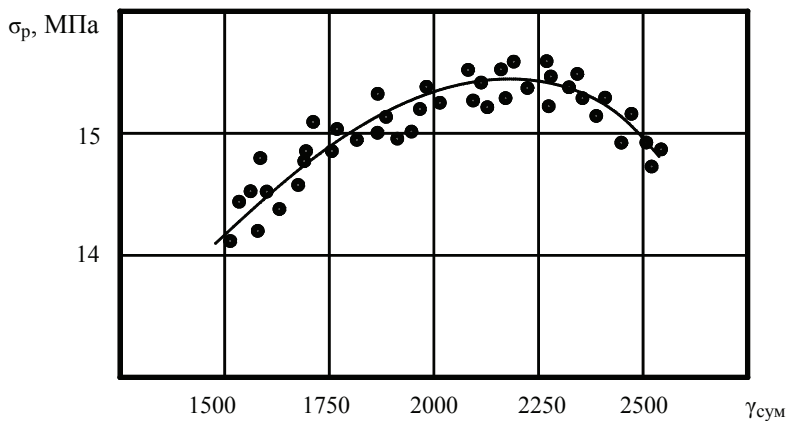


Рис. 10. Зависимость прочности при разрыве σ_p от величины суммарной деформации сдвига $\gamma_{сум}$ при переработке термопластов на валково-шнековом агрегате

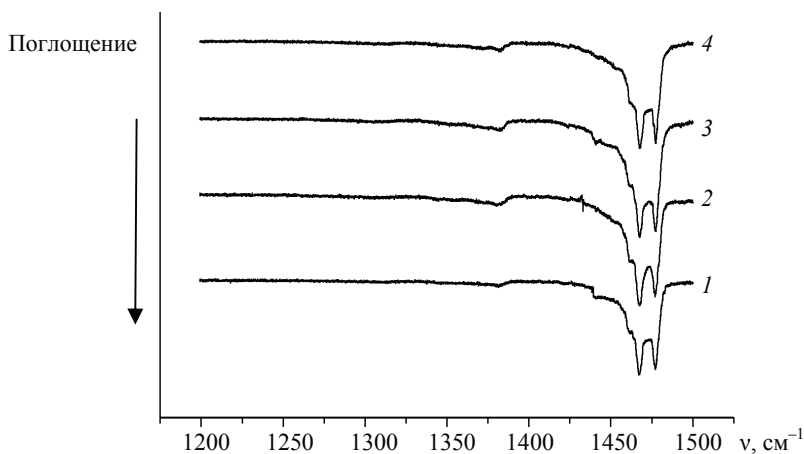


Рис. 11. ИК-спектрограммы исследуемых образцов, об/мин: 1 – исходный ПЭВД; 2 – $n_{\text{в}} = 5$, $n_{\text{ш}} = 28$; 3 – $n_{\text{в}} = 15$, $n_{\text{ш}} = 56$; 4 – $n_{\text{в}} = 17,5$, $n_{\text{ш}} = 84$

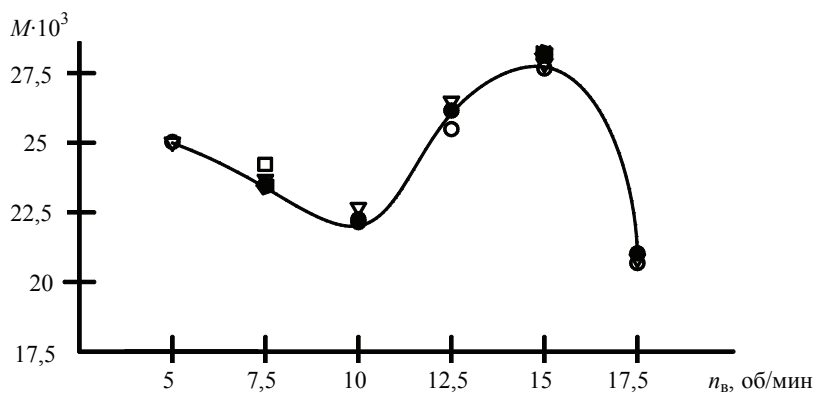


Рис. 12. Зависимость молекулярной массы M от частоты вращения валков вальцов $n_{\text{в}}$ при различной частоте вращения шнека $n_{\text{ш}}$, об/мин: \diamond – 35; \circ – 42; \square – 49; ∇ – 56; \blacklozenge – 63; \bullet – 70; \blacksquare – 77

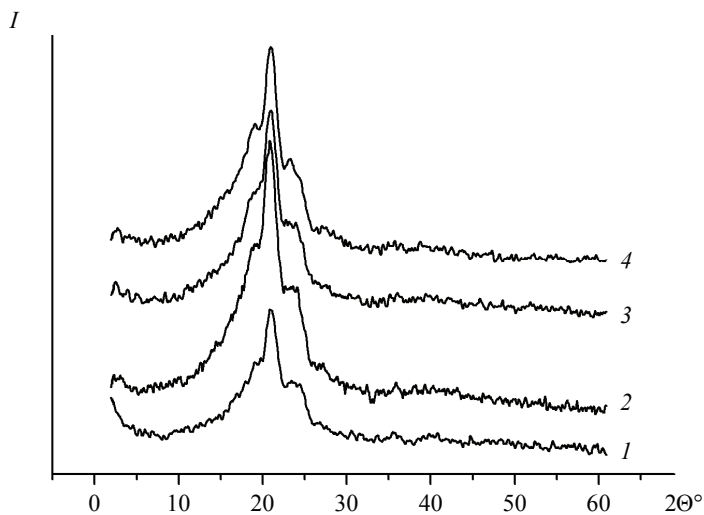


Рис. 13. Дифрактограммы образцов после: 1, 2 – валково-шнекового агрегата; 3, 4 – прессования

разработанном валково-шнековом агрегате и выражаются в изменении концентрации метильных групп в исследуемых образцах, а также в увеличении молекулярной массы на 13,5–48 %.

С целью исключения вероятности, что повышение прочности при разрыве является следствием ориентирования материала в процессе течения в формующем канале шнекового отборочного устройства, были проведены исследования методом рентгеноструктурного анализа, результаты которого представлены на рис. 13.

Проверка образцов на анизотропию показала, что структура образца в экваториальном и меридиональном направлениях не имеет существенных различий.

В результате сравнительного анализа разработанной валково-шнековой технологии утилизации полимерной тары и упаковки в гранулят с традиционными технологическими процессами по вторичной переработке, можно сделать выводы:

- использование валково-шнековой технологии позволяет значительно снизить трудовые и энергетические затраты посредством исключения из технологического процесса стадий дробления и сушки материала, которые являются наиболее энергоемкими;

- валковое оборудование, используемое в технологическом процессе, является одним из самых распространенных на заводах по переработке пластмасс и эластомеров и может быть установлено в любом месте накопления отходов;

- предлагаемые теоретические основы, методы и алгоритмы определения величины накопленной деформации сдвига при пластикации полимерных материалов открывают перспективы установления связи между технологическими и конструктивными параметрами процесса и оборудования и физико-механическими показателями получаемого гранулята, что может быть положено в методику инженерного расчета при проектировании технологического процесса и оборудования различной производительности.

Список литературы

1. Полушкин, Д.Л. Разработка конструкции валково-шнекового агрегата и совмещенного технологического процесса утилизации полимерной тары и упаковки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Д.Л. Полушкин. – Тамбов, 2008. – 16 с.

2. Применение интегральных критериев качества при переработке полимерных материалов валково-шнековым методом / А.С. Клинков [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 870–881.

3. Пат. 67017 Российская Федерация, МПК В 29 В 7/64. Шнековое отборочное устройство к валковым машинам / Д.Л. Полушкин, А.С. Клинков, М.В. Соколов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-та. – № 2006106300/12 ; заявл. 28.02.2006 ; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 28. – 2 с.

4. Шашков, И.В. Валковое оборудование и технология процесса непрерывной переработки отходов пленочных термопластов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / И.В. Шашков. – Тамбов, 2005. – 16 с.

Designing of Rolling Auger Device and Combined Engineering Process for Utilization of Plastic Containers and Packagers

D.L. Polushkin, A.S. Klinkov, P.V. Makeev, S.S. Gureev

*Department "Processing of Polymers and Packaging", TSTU;
polymers@asp.tstu.ru*

Key words and phrases: IR-spectroscopy; rolling auger device; physical and mechanical indexes of the recycled material; plastic containers and packagers utilization; total value of the shear; X-ray diffraction analysis.

Abstract: The article presents the engineering process of the plastic containers and packagers utilization into the recycled granulated material, which makes it possible to reduce the labor and energy costs to produce 1 kg of the recycled material. The laboratory stand for the study of the roll-auger utilization process is made and assembled.

Erarbeitung der Konstruktion des Walzenschneckenaggregates und des gesamten technologischen Prozesses der Verwertung der Polymerverpackung

Zusammenfassung: Es ist das technologische Prozess der Verwertung der Polymerverpackung in den Sekundärgranulat erarbeitet. Es erlaubt die Arbeits- und Energieaufwände bei der Erhaltung 1 kg der Sekundärproduktion zu senken. Es ist den Laborstand für das Erlernen des Prozesses der Walzenschneckenverwertung montiert und angefertigt.

Elaboration de la construction du dispositif à cylindre et vis extractif et du processus technologique réuni de l'utilisation de la tare et de l'emballage polymère

Résumé: Est élaboré le processus technologique réuni de l'utilisation de la tare et de l'emballage polymère en granulat secondaire permettant de diminuer les dépenses de travail et d'énergétique lors de l'obtention d'un kg des produits de récupération. Est monté et fabriqué un stand de laboratoire pour l'étude du processus de l'utilisation de cylindre et vis extractif.

Авторы: *Полушкин Дмитрий Леонидович* – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство»; *Клинков Алексей Степанович* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство»; *Макеев Павел Владимирович* – аспирант кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство»; *Гуреев Сергей Сергеевич* – аспирант кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Попов Николай Сергеевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды», проректор по международным связям, ГОУ ВПО «ТГТУ».
