

Науково-технічні засади проектування обладнання для формування виробів з полімерних композицій із врахуванням їх в'язкопружних властивостей

Научно-технические основы проектирования оборудования для формования изделий из полимерных композиций с учетом их вязкоупругих свойств

Scientific and technical principles of designing equipment for molding products from polymeric compositions on account of their viscoelastic properties

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0115U000178.**
- 2. Науковий керівник -** д.т.н., проф. Мікульонюк І.О., Микулёнок И.О., Mikulyonok Ihor O.

3. Суть розробки, основні результати. **(укр.)**

Застосовано комплексний підхід до моделювання різних стадій процесів екструзії – формування та охолодження виробів з урахуванням зміни реологічних властивостей розплаву і в'язкопружних ефектів у ньому, які впливають на кінцеву конфігурацію виробів. Розроблений методологічний підхід дозволяє здійснювати числове моделювання процесів формування виробів з полімерних матеріалів, проектування екструзійно-формуального обладнання з урахуванням деформацій виробів від в'язкопружних ефектів та здійснювати коригування конструктивних і технологічних параметрів для досягнення форми виробів, більш відповідної заданій.

Встановлено в'язкопружні параметри полімерних матеріалів в процесі переробки. Створено математичну модель та методику розрахунку напружено-деформованого стану полімерних виробів від дії технологічних напружень. Визначено поля розподілу швидкості, температури, тиску та інших параметрів процесів, що проходять у робочих каналах обладнання для переробки в'язкопружних полімерних матеріалів. Обґрунтовано нові технологічні параметри процесів формування виробів з в'язкопружних полімерних матеріалів. Розроблено методики моделювання процесу формування та врахування впливу в'язкопружних параметрів полімерних композицій і технологічних напружень на зміну заданої геометрії формуючих каналів. Надано технічні рекомендації з проектування формуючої оснастки полімерного обладнання та розроблена технічна документація.

Удосконалені математичні моделі та алгоритм розрахунку охолодження полімерних труб та кабельних виробів, що забезпечують можливість скоротити час охолодження, зменшити енергоємність процесу, а також поліпшити якість одержуваних виробів за рахунок мінімізації утворюваних у них технологічних напружень.

(рос.)

Применен комплексный подход к моделированию различных стадий процессов экструзии – формование и охлаждения изделий с учетом изменения реологических свойств расплава и вязкоупругих эффектов в нем, которые влияют на конечную конфигурацию изделий. Разработанный методологический подход позволяет осуществлять численное моделирование процессов формования изделий из полимерных материалов, проектирование экструзионно-формующего оборудования с учетом деформаций изделий от вязкоупругих эффектов и осуществлять корректировку конструктивных и технологических параметров для достижения формы изделий, более соответствующей заданной.

Установлены вязкоупругие параметры полимерных материалов в процессе переработки. Создана математическая модель и методика расчета напряженно-деформированного состояния полимерных изделий от воздействия технологических напряжений. Определены поля распределения скорости, температуры, давления и других параметров процессов, проходящих в рабочих каналах оборудования для переработки вязкоупругих полимерных материалов. Обоснованы новые технологические параметры процессов формования изделий из вязкоупругих полимерных материалов. Разработаны методики моделирования процесса формования и учета влияния вязкоупругих параметров

полимерных композиций и технологических напряжений на изменение заданной геометрии формирующих каналов. Предоставлены технические рекомендации по проектированию формирующей оснастки полимерного оборудования и разработана техническая документация.

Усовершенствованы математические модели и алгоритм расчета охлаждения полимерных труб и кабельных изделий, обеспечивающие возможность сократить время охлаждения, уменьшить энергоемкость процесса, а также улучшить качество получаемых изделий за счет минимизации создаваемых в них технологических напряжений.

(англ.)

Applied a comprehensive approach to modeling various stages of the process of extrusion - forming and cooling products to the changing rheology and melt viscoelastic effects in it, that affect the final product configuration. The methodological approach allows the numerical simulation of the formation of products from polymeric materials, design extrusion-forming equipment based viscoelastic deformation effects of products and make adjustments to the design and process parameters to achieve the form of products, more relevant given.

Established parameters viscoelastic polymeric materials during processing. A mathematical model and method of calculation of stress-strain state of polymer products of the technological stresses. Defined field distribution rate, temperature, pressure and other parameters of the processes taking place in the working channel processing equipment viscoelastic polymer material. Grounded new technological parameters of the formation of the viscoelastic products of polymer materials. The methods of modeling the formation process and the influence of parameters of viscoelastic polymer compositions and process stress given to changing the geometry forming channels. Provided technical advice on the design of the polymer forming equipment and tooling developed technical documentation.

Advanced mathematical models and calculation algorithm cooling plastic pipes and cable products, providing the opportunity to shorten the cooling process to reduce energy consumption and improve the quality of the products generated by minimizing stress in their technology.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Одночерв'ячний екструдер: Пат. № 97165U (UA): МПК В29С 47/38 / Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Сівецький В.І., Кушнір М.С. – Бюл. № 5/2015, 10.03.2015.
2. Екструзійна головка для нанесення полімерного покриття на осердя: Пат. № 97381U (UA): МПК В29С 47/02 / Мікульонок І.О., Сокольський О.Л., Соколенко В.В. – Бюл. № 5/2015, 10.03.2015.
3. Дисківий екструдер: Пат. № 97551 U (UA): МПК В29С 47/52 / Мікульонок І.О. – Бюл. № 6/2015, 25.03.2015.
4. Черв'ячна машина для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук: Пат. № 98758U (UA): МПК В29С 47/38 / Мікульонок І.О., Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Куриленко В.М. – Бюл. № 9/2015, 12.05.2015.
5. Машина для лиття під тиском: Пат. № 98878 U (UA): МПК В29С 45/46 / Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Куриленко В.М., Івіцький І.І., Крот А.О. – Бюл. № 9/2015, 12.05.2015.
6. Черв'ячний екструдер: Пат. № 98920 U (UA): МПК В29С 47/36 / Мікульонок І.О. – Бюл. № 9/2015, 12.05.2015.
7. Черв'ячний екструдер: Пат. № 98975 U (UA): МПК В29С 47/38 / Сівецький В.І., Куриленко В.М., Мікульонок І.О., Сокольський О.Л. – Бюл. № 9/2015, 12.05.2015.
8. Спосіб виготовлення кабельного виробу: Пат. № 99369 U (UA): МПК Н01В 13/14 / Мікульонок І.О., Сокольський О.Л., Романченко М.А., Соколенко В.В. – Бюл. № 10/2015, 25.05.2015.
9. Співекструзійна головка для формування багатошарового виробу або покриття: Пат. № 99531 U (UA): МПК В29С 47/04 / Сокольський О.Л., Романченко М.А., Мікульонок І.О., Горбань І.А. – Бюл. № 11/2015, 10.06.2015.
10. Пристрій для охолодження рукавної полімерної плівки: Пат. № 99855 U (UA): МПК В29С 47/88 / Мікульонок І.О. – Бюл. № 12/2015, 25.06.2015.

11. Пристрій для охолодження рукавної полімерної плівки: Пат. № 99856 U (UA): МПК В29С 47/88 / Мікульонок І.О. – Бюл. № 12/2015, 25.06.2015.
12. Спосіб охолодження екструдованого матеріалу: Пат. № 101340 U (UA): МПК В29В 35/16 / Мікульонок І.О., Пишний Г.В. – Бюл. № 17/2015, 10.09.2015.
13. Спосіб виготовлення кабельного виробу: Пат. № 101451 U (UA): МПК Н01В 13/14 / Мікульонок І.О., Сокольський О.Л., Соколенко В.В. – Бюл. № 17/2015, 10.09.2015.
14. Черв'ячний екструдер: Пат. № 102092 U (UA): МПК В29С 47/38 / Сівецький В.І., Куриленко В.М., Мікульонок І.О., Івіцький І.І., Сокольський О.Л., Романюк В.В. – Бюл. № 19/2015, 12.10.2015.
15. Черв'як екструдера: Пат. № 102908 U (UA): МПК В29С 47/60 / Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Івіцький І.І. – Бюл. № 22/2015, 25.11.2015.
16. Установа для дослідження процесу охолодження одержуваного екструзією порожнистого матеріалу: Пат. № 105172 U (UA): МПК В29С 47/88 / Мікульонок І.О., Вознюк В.Т. – Бюл. № 5/2016, 10.03.2016.
17. Екструзійна головка для нанесення полімерного покриття на осердя: Пат. № 106546 U (UA): МПК В29С 47/22 / Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Мойсєєв А.О. – Бюл. № 8/2016, 25.03.2016.
18. Установа для випробування гнучкого зразка на міцність під час розтягу: Пат. № 106377 U (UA): МПК (2006.01) G05D 15/00, G01B 21/32 / Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Швачко Д.Г. – Бюл. № 8, 25.04.2016.
19. Пристрій гусеничного типу для безперервного формування виробів з термопластичних матеріалів: Пат. № 108102 U (UA): МПК (2006.01) В29С 43/24 / Мікульонок І.О., Сокольський О.Л., Івіцький І.І. – Бюл. № 13, 11.07.2016.
20. Валково-черв'ячний агрегат для перероблення полімерних матеріалів: Пат. № 108510 U (UA): МПК В29В 7/54 / Мікульонок І.О. – Бюл. № 14/2016, 25.07.2016.
21. Спосіб безперервного перероблення полімерного матеріалу: Пат. № 109733 U (UA): МПК В29В 47/00 / Мікульонок І.О. – Бюл. № 17/2016, 12.09.2016.
22. Комплект сопел капілярного віскозиметра: Пат. № 109870 U (UA): МПК G01N 11/00 / Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Івіцький І.І. – Бюл. № 17/2016, 12.09.2016.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню, а розроблені рекомендації, методики та результати розрахунків раціональних параметрів обладнання та технологічних процесів формування профільних полімерних виробів високої розмірної точності нададуть змогу істотно підвищити якість одержуваної продукції та зменшити вихід браку з можливістю випуску конкурентноздатної імпортозамінної вітчизняної погонної полімерної продукції.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Створені тривимірні моделі конструкцій та вузлів дозволяють більш точно обґрунтувати вибір їх геометричних і конструктивних параметрів та уникнути багатьох помилок. Врахування в'язкопружних властивостей дозволить покращити точність полімерних виробів та проєктованих екструзійних головок до 8%. Удосконалені математичні моделі та алгоритм розрахунку охолодження полімерних труб та кабельних виробів забезпечують можливість скорочення часу охолодження до 67%, зменшення ресурсоемності процесу виготовлення полімерних труб на 10...15% та енергоємності – до 30%, а також поліпшення якості одержуваних труб за рахунок мінімізації утворюваних у них технологічних напружень.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Можливі користувачі – підприємства полімерного машинобудування, будівельної та переробної промисловості; підприємства з виготовлення полімерної продукції та переробки полімерної сировини; підприємства з утилізації побутових та промислових полімерних відходів.

8. Стан готовності розробки.

Створено математичну модель та методику розрахунку напружено-деформованого стану полімерних виробів від дії технологічних напружень.

Удосконалені математичні моделі та алгоритм розрахунку охолодження полімерних труб та кабельних виробів.

Розроблено нові конструкції екструзійних головок, які дозволяють забезпечити компенсації пульсацій розплаву, що сприяє зменшенню частки виробів з дефектами поверхні.

9. Існуючі результати впровадження.

На базі розробленої методики проектування створено та передано ТОВ «Водостічні системи» (м. Боярка, Київська обл.) 3D-моделі формуючого устаткування уточненої конструкції для виготовлення співекструзійних полімерних виробів. Створені тривимірні моделі конструкцій та вузлів дозволяють більш точно обґрунтувати вибір їх геометричних і конструктивних параметрів та уникнути багатьох помилок, характерних при використанні традиційних двовимірних креслень. Розроблені конструкції дозволяють регулювати співвідношення полімерних шарів у співекструзійному профільному виробі. Було встановлено, що використання запропонованої методики автоматизованого проектування і конструктивних пропозицій дозволяє вдосконалити технологічні параметри технологічних процесів та конструкції робочих органів, за яких забезпечується підвищена продуктивність та якість виробів за умов зниження ресурсоемності процесів їх виробництва та ефективного використання вторинної сировини.

На виробничій базі ТОВ «НВП «Інкос» (м. Чернігів) здійснено дослідно-промислове впровадження технічних рекомендацій по конструктивному оформленню та уточненому параметричному розрахунку екструзійного формуючого полімерного устаткування. Досліджено особливості процесів формування полімерного профільного погонажного виробу складної конфігурації і визначено конструктивні та технологічні параметри обладнання. Було встановлено, що використання розробленої методики і конструктивних пропозицій дозволяє вдосконалити технологічні параметри переробки та конструкції робочих органів формуючого обладнання, за яких забезпечується підвищена розмірна точність виробу.

10. Форма участі інвестора *(яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті%, частка від прибутку%, інше)*

11. Обсяг інвестицій *(необхідна для результатів проекту сума інвестицій в доларах США).*

12. Мета інвестицій *(розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).*

13. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ"КПІ", Інженерно-хімічний факультет, кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування,

(044) 406-84-30, cpsm@kpi.ua

14. Фото розробки



Експериментальна установка для дослідження процесу екструзії з вільним розбуханням екструдату

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

Монографії:

1. Мікульонок І.О., Радченко Л.Б. Моделювання дискових екструдерів для перероблення полімерних матеріалів. К., НТУУ «КПІ», 2015. – 104 с. (гриф НТУУ «КПІ»).
2. Микулёнок И.О., Петухов А.Д. Производство полимерных сеток. К., НТУУ «КПІ», 2016. – 72 с. (гриф НТУУ «КПІ»).
3. Івіцький І.І., Сокольський О.Л., Мікульонок І.О. Пристинні ефекти в процесах течії полімерів у каналах переробного обладнання. К.: НТУУ «КПІ», Вид-во «Політехніка», 2016. – 136 с. (гриф НТУУ «КПІ»)

Навч. посібники:

1. Мікульонок І.О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей: навч. посіб. К., НТУУ «КПІ», 2015. – 312 с. (гриф НТУУ «КПІ»).
2. Войтко С.В., Мікульонок І.О. Інтелектуальна власність для економістів: навч. посіб. К., НТУУ «КПІ», 2016. – 192 с. (гриф НТУУ «КПІ»).

Словник:

Мікульонок І.О., Сокольський О.Л. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості): термінологічний словник. К., НТУУ «КПІ», 2015. – 208 с. (гриф НТУУ «КПІ»).

Статті:

1. Микулёнок И.О. Классификация процессов и оборудования для производства непрерывных изделий из термопластичных материалов / И.О. Микулёнок //Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 1. – С. 11–14 (входить до наукометр. БД).
2. Визначення залежності швидкості полімерних матеріалів поблизу стінки круглого каналу від напруження зсуву / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, І. І. Івіцький, В. М. Куриленко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2015. – №1(14). – С. 44–46
3. Уточнена методика оброблення експериментальних даних капілярної віскозиметрії / Я. Г. Двойнос, О. Л. Сокольський, І. І. Івіцький // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2015. – №1(14). – С. 51–54.

4. Полімерна ізоляція кабельних виробів. Напрями забезпечення якості / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. В. Соколенко // Хімічна промисловість України. – 2015. – № 2. – С. 15–20.
5. Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials / I.O.Mikulionok // Chemical and Petroleum Engineering. – 2015. – Vol. 51, Nos 1–2 (May). – P. 14–19. **(входить до наукометр. БД).**
6. К вопросу стабилизации температуры рабочей среды в оборудовании химических производств / И.О.Микулёнок // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 5. – С. 22–23. **(входить до наукометр. БД).**
7. Мікульонок І.О. Тверді дво- і багатокомпонентні матеріали (до питання термінології) / І.О.Мікульонок // Упаковка. – 2015. – № 3. – С. 6–10.
8. Теоретичне дослідження процесу одновісного розтягування розплаву полімеру / Г.І.Ведь, А.Д.Петухов, І.О.Мікульонок, О.М.Шнирук // Упаковка. – 2015. – № 4. – С. 32–33.
9. Эффективный способ процесса охлаждения экструдированного полимерного материала / И.О.Микулёнок, А.Л.Сокольский, Н.Л.Радченко // Промышленная теплотехника. – 2015. – Т. 37, № 7. – С.135.
10. Формування полімерних матеріалів. Дослідження впливу геометричних параметрів каналів обладнання на величину пристінних ефектів / І. І. Івіцький, О. Л. Сокольський, І. О. Мікульонок, В. І. Сівецький // Хімічна промисловість України. – 2015. – №4. – С. 41–44.
11. Stabilization of the temperature of the working medium in the equipment of chemical plants / I.O.Mikulionok // Chemical and Petroleum Engineering. – 2015. – Vol. 51, Nos. 5–6 (September). – P. 324–327. **(входить до наукометр. БД).**
12. Конструктивное оформление процесса упруго-деформационного измельчения резиносодержащих отходов / И.О.Микулёнок // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 9. – С. 18–21 **(входить до наукометр. БД).**
13. Structural Implementation of the Process of Elasto-Deformation Shredding of Rubber-Containing Wastes / I.O.Mikulionok // Chemical and Petroleum Engineering. – 2016. – Vol. 51, Nos 9–10 (January). – P. 604–608. **(входить до наукометр. БД).**
14. Виготовлення рукавної полімерної плівки (деформування розплаву полімеру) / Г.І.Ведь, А.Д.Петухов, І.О.Мікульонок // Упаковка. – 2016. – № 1. – С.4–5.
15. Порівняльний аналіз ефективності стабілізації тиску із застосуванням регульованого і нерегульованого електропривода екструдера / О.М.Халімовський, О.Л.Сокольський, В.І.Сівецький, І.О.Мікульонок, А.А.Ніколаєв // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 2. – С. 80–83.
16. Вплив тиску та температури на коефіцієнт тертя гранульованих полімерних матеріалів по металевій поверхні / В.М. Витвицький, О.Л. Сокольський, І.О. Мікульонок // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12. – С. 12–16.
17. Експериментальне дослідження коефіцієнта тертя гранульованих полімерних матеріалів по металевій поверхні / В. М. Витвицький, О.Л. Сокольський, І.О. Мікульонок // Хімічна промисловість України. – 2016. – № 2. – С. 41–44.
18. Методики визначення наявності, характеру та величини пристінних ефектів при течії полімерних матеріалів / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, І. І. Івіцький // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 4. – С. 48–52 **(входить до наукометр. БД).**
19. Микулёнок И.О. К определению термина «композиционный материал» / И.О.Микулёнок // Химическая промышленность. – 2015. – Т. ХСІІ (92), № 6. – С. 297–303 **(входить до наукометр. БД).**
20. Взаємозв'язок між деякими реологічними характеристиками полімерних матеріалів / Г.І.Ведь, А.Д.Петухов, І.О.Мікульонок, О.М.Шнирук // Упаковка. – 2016. – № 5. – С.34–35.

21. Микулёнок И.О. Изготовление армированных сеткой рукавных плёнок из полиэтилена / И.О.Микулёнок, В.В. Гончаренко // Химическая промышленность. – 2016. – Т. ХСШ (93), № 5. – С. 240–248 (входит до наукометр. БД).

16. Надати ключові слова до розробки

Полімер, погонажний виріб, формування, екструзія, в'язкопружність, моделювання