

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 678.057

Івіцький І.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Сокольський О.Л.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ПОЛІМЕРУ

На базі віскозиметра типу «конус-площина» створена установка для дослідження процесу плавлення гранульованих термопластів. Запропоновано методика проведення експериментальних досліджень. Експериментально досліджено динаміку зміни частки твердої фази в суміші гранульованих термопластів із розплавом. Досліджено залежності в'язкості суміші твердих часток полімеру в розплаві від їх концентрації. Встановлено, що для різних полімерів за певних температурно-деформаційних режимів спостерігається максимум ефективної в'язкості суміші твердих часток із розплавом.

Ключові слова: дослідження, плавлення, віскозиметр, в'язкість, термопласт.

Постановка проблеми. Наявні моделі плавлення полімерів у робочих каналах полімерного обладнання в низці випадків показують якісно прийнятні результати [1–6], але не в змозі врахувати локальні зміни реологічних і теплофізичних властивостей полімерів, які можуть впливати на дійсний перебіг процесів перероблення. Крім того, для виробництва сучасних функціональних полімерних матеріалів важливо мати точну інформацію про характеристики процесу, оскільки введення функціональних компонентів у суміш відбувається під час плавлення [7–8]. Тому важливим є також експериментальне встановлення характеристик, які наразі не можуть бути визначені теоретично. Ці уточнені значення можуть бути використані у подальших аналітичних або числових розрахунках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розплави полімерів, на відміну від інших в'язкотекучих середовищ, мають малу питому вагу і коефіцієнт теплопровідності, але великі значення коефіцієнта ефективної в'язкості, тому для них характерні малі значення критерію Рейнольдса (набагато менші за одиницю). Водночас,

внаслідок великих значень коефіцієнта ефективної в'язкості, течія розплавів полімерів у каналах характеризується значним виділенням тепла дисипації, тому сили тертя в декілька раз перевищують масові й інерційні сили. Тепловий потік уздовж осі каналу, зумовлений теплопровідністю, малий порівняно з конвективним тепловим потоком. Як витікає з робіт [1–6], якщо температура внутрішньої стінки каналу екструдера лінійно зростає з певного значення довжини каналу, за рахунок внутрішнього тертя відбувається інтенсивний розігрів полімеру, зумовлений дисипацією і теплообміном зі стінкою. Біля стінки розігрів є найбільш інтенсивним. Величина дисипативного розігріву значною мірою залежить від тертя полімеру по стінці каналу, яке, у свою чергу, залежить від фазового стану, температури полімеру, його фізико-механічних властивостей і режиму руху [9]. Крім того, було встановлено [10], що внаслідок зменшення в'язкості полімеру біля стінки розігрів полімеру зконцентровано в області, яка прилягає до стінки, про що говорить максимум температури в цій зоні, у той час як температура стінки буде меншою. Це показує, що у разі вимі-

рювання температури розплаву полімеру поверхневими термопарами за великих швидкостей зсуву можна отримати велику помилку, оскільки максимум температури знаходиться на деякій відстані від стінки. Проте вимірювання температур у потоці полімеру ускладнене і не завжди можливе. Тому необхідно встановлювати певні еквівалентні величини температури, в'язкості та ін., залежні від матеріалу та параметрів процесу.

Крім того, процес плавлення полімеру у каналі переробного обладнання має великий вплив на пристінні ефекти, які можуть призводити до суттєвих нестабільностей течії розплаву та дефектів готових виробів [11–14].

Постановка задачі. Задачею досліджень, що проводяться, є експериментальне отримання залежності в'язкості суміші твердих часток полімеру в розплаві від концентрації, динаміки зміни концентрації твердих часток у розплаві та на їх основі – дослідження динаміки процесу плавлення.

Виклад основного матеріалу дослідження.
Експериментальна установка та методика досліджень. Для вимірювання в'язкості полімеру та дослідження динаміки процесу плавлення була створена експериментальна установка на базі віскозиметра типу «конус – площина». Схема установки наведена на рис. 1. Вона складається зі станини 1, регулятора підняття ємності 2, підйомної плити 3, нагрівної ємності 4, ротора 5, індикатора годинникового типу 6, кулачкового патрона 7, редуктора 8 й електродвигуна 9.

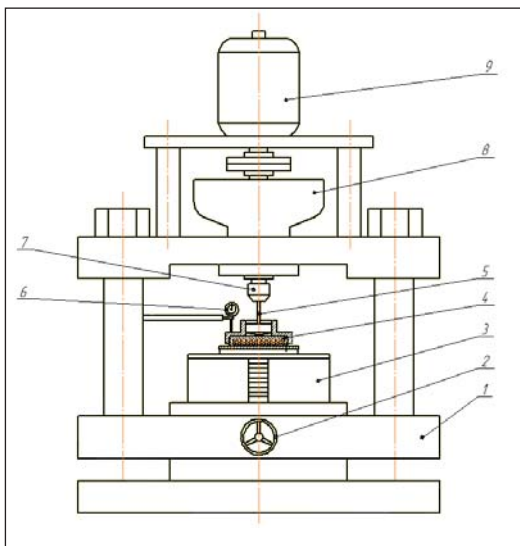


Рис. 1. Експериментальна установка

У свою чергу, нагрівна ємність, зображена на рис. 2, складається зі стола 1, на яку встановлено нерухому плиту 2 з нагрівними елементами 3, на

яку нагвинчується рухома плита 4, у яку встановлюється ротор 5 і термопара 6.

Температура підтримувалася за допомогою одноканального ПД-регулятора температури МікРа 600. Для зворотного зв'язку була використана хромель-алюмелева термопара. Переміщення нагрівної ємності, з якої вираховувалася зміна об'єму, фіксувалося за допомогою індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Швидкість обертання ротора вимірювалася за допомогою лазерного тахометра DT-2234С. Потужність, споживана електродвигуном, вимірювалася за допомогою лабораторного вимірювального комплексу К-50.

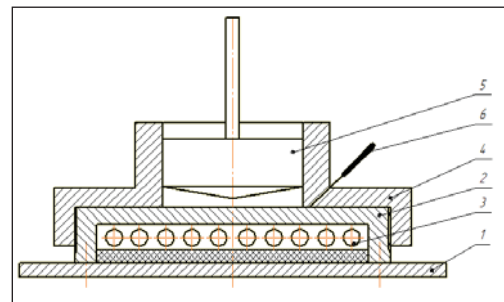


Рис. 2. Нагрівна ємність

Під час проведення натурного експерименту за допомогою терморегулятора нагрівалася ємність, у яку засипалися гранули полімеру, після чого ємність стискалася з постійним зусиллям, а полімер піддавався певній швидкості зсуву за допомогою ротора, закріпленого на електродвигуні. Фіксувалися такі параметри: зміна об'єму полімеру внаслідок плавлення (переміщенням нагрівної ємності), швидкість обертання ротора та потужність, споживана електродвигуном.

У ході експерименту було проведено ряд дослідів із різними гранульованими полімерними матеріалами за різних температур. Було використано такі матеріали:

1. Поліетилен високої густини марки 15803-020;
2. Поліетилен низької густини марки 10802-020;
3. Полістирол марки ПС-С-1-3.

Під час проведення експерименту вимірювалася частота обертання ротора (n , об/хв), потужність (N , Вт) і переміщення рухомої плити (δ , мм).

Крутний момент на роторі

$$M = \frac{9,549 \cdot N}{n} - M_0,$$

де M_0 – крутний момент холостого ходу, необхідний для подолання тертя між ротором і ємністю, встановлювався для кожної швидкості обертання попередніми вимірюваннями.

Кутова швидкість ротора

$$\dot{\epsilon} = 2\lambda \frac{n}{60}$$

Швидкість зсуву

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\epsilon}}{\tan \alpha}$$
,
 де α – кут конусності, $\alpha = 158$.

Напруження зсуву

$$\tau = \frac{3M}{2\pi R^3}$$

де R – радіус при основі конуса, $R = 22,5$ мм.
 В'язкість

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Під час проведення дослідів в установку засипався один і той самий об'єм полімеру – 1,5·104мм3. Об'єм полімеру вираховувався із переміщення рухомої плити

$$V = \pi R^2 \left(h_0 - \delta - \frac{1}{3} h_k \right),$$

де h_0 – початкова відстань від ротора до площини, $h_0 = 11,44$ мм;

h_k – висота конусної частини, $h_k = 6,03$ мм.

Аналіз результатів досліджень. Для підтвердження адекватності отриманих даних було зроблено порівняння залежності в'язкості полістиролу ПС-С-1-3 від швидкості зсуву, отриманої під час експерименту з довідковими даними [15] (рис. 3).

Як видно з рис. 3, експериментальні дані лежать у межах довідкових залежностей, що свідчить про адекватність отриманих даних. Незначні відмінності у залежностях пов'язані з використанням різних марок полімерних матеріалів і відмінностями у методиці проведення досліджень.

У розрахунку в'язкості полімерного матеріалу було використано уточнену методику оброблення експериментальних даних капілярної віскозиметрії [16].

Обробка експериментальних даних дала змогу отримати графіки, що демонструють динаміку зміни об'єму гранульованого матеріалу внаслідок плавлення поліетилену високої густини (рис. 4), поліетилену низької густини (рис. 5) та полістиролу (рис. 6) за різних температур.

З рис. 4–6 можна зробити висновок, що, за винятком початкового періоду, об'єм із часом зменшується майже лінійно.

У кожній точці була обрахована в'язкість, завдяки чому були отримані графіки, що демонструють динаміку зміни в'язкості внаслідок плавлення поліети-

лену високої густини (рис. 7), поліетилену низької густини (рис. 8) та полістиролу (рис. 9) за різних температур.

Рис. 7–9 демонструють, що після досягнення деякої товщини плівки розплаву на роторі, що характеризується максимумом на графіках, в'язкість суміші зменшується, а потім стабілізується на величині, яка відповідає в'язкості розплаву. Проведені дослідження дозволять обґрунтувати коефіцієнти стиснення та геометрію зони плавлення черв'яків екструдерів для перероблення різних термопластів.

Висновки. Створено установку для дослідження процесу плавлення гранульованих термопластів із використанням віскозиметра типу «конус-площина».

Запропоновано методику проведення експериментальних досліджень процесу плавлення гранульованих термопластів.

Експериментально досліджено динаміку зміни частки твердої фази в суміші гранульованих термопластів із розплавом. Результати досліджень різних полімерів показали, що, за винятком початкового періоду розігріву, об'єм суміші з часом зменшується майже лінійно.

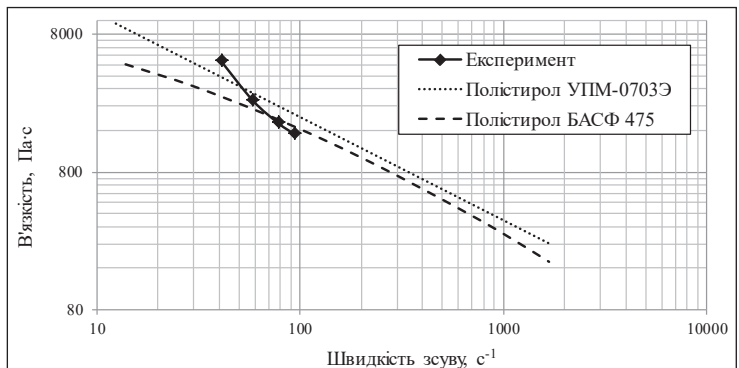


Рис. 3. Порівняння залежності в'язкості від швидкості зсуву

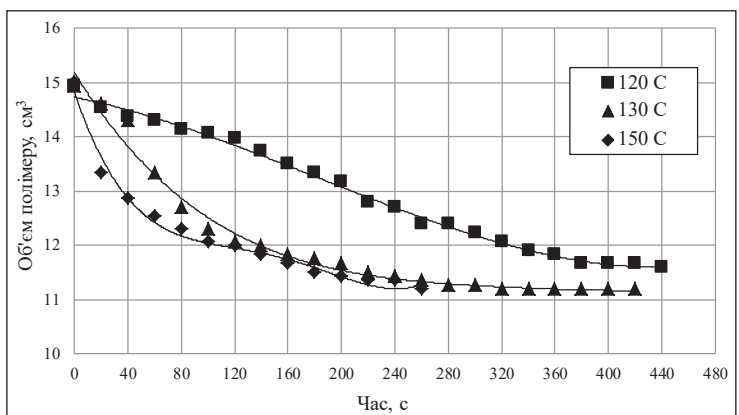


Рис. 4. Динаміка зміни об'єму гранульованого поліетилену високої густини

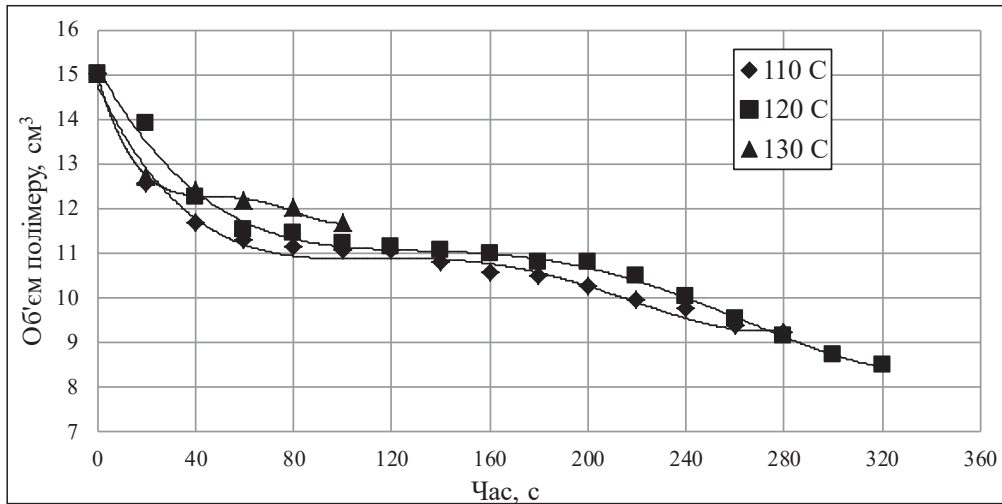


Рис. 5. Динаміка зміни об'єму гранульованого поліетилену низької густини

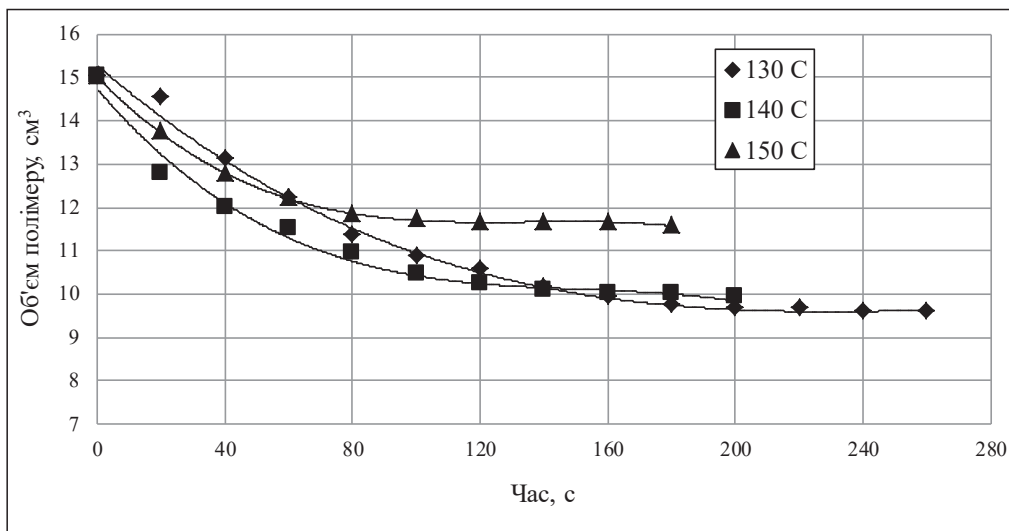


Рис. 6. Динаміка зміни об'єму гранульованого полістиролу

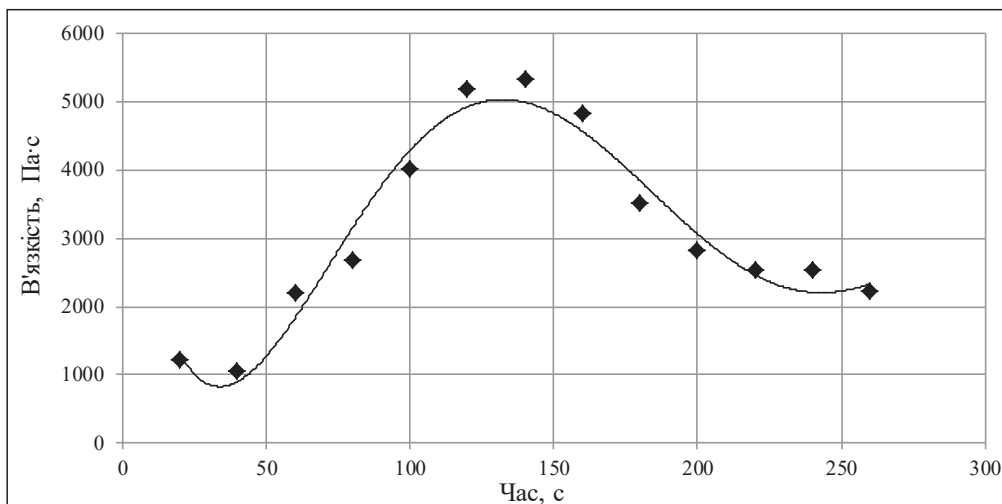


Рис. 7. Динаміка зміни в'язкості поліетилену високої густини за температури 140°C

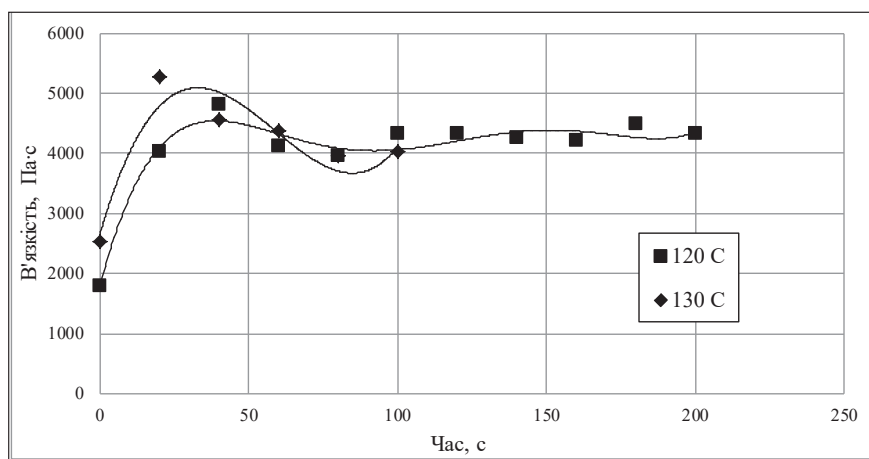


Рис. 8. Динаміка зміни в'язкості поліетилену низької густини

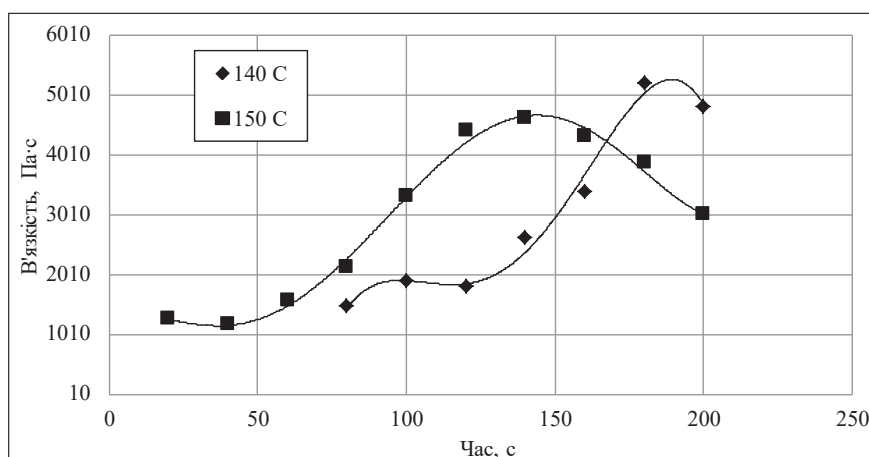


Рис. 9. Динаміка зміни в'язкості полістиролу

Досліджено залежності в'язкості суміші твердих часток полімеру в розплаві від їх концентрації. Встановлено, що для різних полімерів за

певних температурно-деформаційних режимів спостерігається максимум ефективної в'язкості суміші твердих часток із розплавом.

Список літератури:

1. Шишлянников В.В. Исследование теплообмена при течении расплавов полимеров в круглых трубах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: Волгоград, 1974. 21 с.
2. Яхно О.М., Пищенко Л.А., Степаненко Т.С., Кривошеев В.С. Об особенностях течения резиновых смесей в цилиндрическом канале. Химическое машиностроение. 1978. Вып. 28. С. 25–29.
3. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. Москва: Химия, 1977. 461 с.
4. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров / пер. с англ. Москва: Химия, 1984. 632 с.
5. Радченко Л.Б. Переробка термопластів методом екструзії. Київ: ІЗМН, 1999. 220 с.
6. Zehev Tadmor, Costas G. Gogos. Principles of polymer processing. A JohnWiley&Sons, 2006. 964 p.
7. Ivitskiy I.I., Sokolskiy O.L., Kurilenko V.M. Simulation of Intelligent Sensors Dipping Into the Melting Polymer Composite. Technology Audit and Production Reserves. 2016. Vol. 5. № 3 (31). P. 22–26. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.81236.
8. Ivitskiy I., Sivetskiy V., Bazhenov V., Ivitska D. Modeling the Electrostatic Control Over Depth of the Introduction of Intelligent Sensors into a Polymer Composite Material. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 1. № 5 (85). P. 4–9. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.91659.
9. Сівецький В.І., Сахаров О.С., Сокольський О.Л., Рябінін Д.Д. Пристинні ефекти в процесах переробки полімерних матеріалів. Київ: Січка, 2009. 140 с.

10. Сахаров О.С., Сівецький В.І., Сокольський О.Л. Дослідження плавлення полімеру в каналі черв'ячного екструдера. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2012. № 1 (9). С. 63–67.
11. Сокольський О.Л., Івіцький І.І., Сівецький В.І., Мікульонок І.О. Визначення в'язкості пристінного шару у формуючих каналах обладнання для переробки полімерів. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2014. № 2 (94). С. 66–69.
12. Сокольський О.Л., Сівецький В.І., Мікульонок І.О., Івіцький І.І. Числове моделювання впливу пристінного шару на процес течії полімеру в переробному обладнанні. Хімічна промисловість України. 2013. № 6. С. 34–37.
13. Ivitskiy I.I. Polymer Wall Slip Modelling. Technology Audit and Production Reserves. 2014. Vol. 5. № 3 (19). P. 8–11. DOI: 10.15587/2312-8372.2014.27927.
14. Sokolskiy A.L., Ivitskiy I.I. Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment. Modern Scientific Research and their Practical application. 2014. Vol. J21410. P. 137–140.
15. Пахаренко В.А., Привалко В.П., Петрушенко Е.Ф. Теплофизические и реологические характеристики полимеров: Справочник / под ред. Ю.С. Липатова. Киев: Наукова думка, 1977. 17 с.
16. Двойнос Я.Г., Сокольський О.Л., Івіцький І.І. Уточнена методика оброблення експериментальних даних капілярної віскозиметрії. Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2015. № 1 (14). С. 51–54. DOI: 10.20535/2306-1626.1.2015.52311.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ ПОЛИМЕРА

На базе вискозиметра типа «конус-плоскость» создана установка для исследования процесса плавления гранулированных термопластов. Предложена методика проведения экспериментальных исследований. Экспериментально исследована динамика изменения доли твердой фазы в смеси гранулированных термопластов с расплавом. Исследованы зависимости вязкости смеси твердых частиц полимера в расплаве от их концентрации. Установлено, что для различных полимеров при определенных температурно-деформационных режимах наблюдается максимум эффективной вязкости смеси твердых частиц с расплавом.

Ключевые слова: исследование, плавления, вискозиметру, вязкость, термопласт.

EXPERIMENTAL STUDY OF POLYMER MELTING PROCESS

On the basis of a cone-plane type viscometer, an installation for studying the melting process of granular thermoplastics has been developed. A technique for carrying out experimental studies is proposed. Change dynamics in the fraction of the solid phase in a mixture of granular thermoplastics with a melt is studied experimentally. The dependence of the mixture viscosity of polymer solid particles in the melt on their concentration was studied. It is established that for various polymers under certain temperature-deformation regimes, the maximum effective viscosity of solid particles with a melt is observed.

Key words: research, melting, viscosimetry, viscosity, thermoplastics.