



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **81467** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
**G01N 11/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 02113**  
(22) Дата подання заявки: **20.02.2013**  
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.06.2013**  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.06.2013, Бюл.№ 12**

(72) Винахідник(и):  
**Колосов Олександр Євгенович (UA),  
Сівецький Володимир Іванович (UA),  
Сідоров Дмитро Едуардович (UA),  
Сокольський Олександр Леонідович (UA),  
Пристаїлов Сергій Олегович (UA),  
Борщик Сергій Олександрович (UA),  
Колосова Олена Петрівна (UA),  
Кушнір Михайло Сергійович (UA),  
Коваленко Ксенія Геннадіївна (UA),  
Радич Юлія Володимирівна (UA),  
Куриленко Валерій Миколайович (UA),  
Педченко Анатолій Юрійович (UA),  
Романченко Марія Анатоліївна (UA)**

(73) Власник(и):  
**Колосов Олександр Євгенович,  
вул. Кошиця, 9, кв. 289, м. Київ-68, 02068 (UA)**

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕЧІЇ РОЗПЛАВІВ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ В КАНАЛАХ ДОВІЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

### (57) Реферат:

Спосіб визначення реологічних параметрів течії розплавів термопластичних полімерів в каналах довільної геометрії, зокрема напружень зсуву та ефективного градієнта зсуву, що полягає у визначенні реологічних властивостей розплаву полімеру у вигляді залежності напружень зсуву від градієнта швидкості, заданні геометричних параметрів каналів, а саме їх довжини і поперечного перерізу, а також варіюванні об'ємної витрати  $Q$  течії розплаву полімеру в досліджуваних каналах для подальшої побудови експериментально-розрахунковим шляхом кривих течії розплавів термопластичних полімерів в досліджуваних каналах з урахуванням їх геометрії та реологічних властивостей розплавів термопластичних полімерів.

UA 81467 U



Корисна модель належить до способів визначення реологічних параметрів течії розплавів термопластичних полімерів в каналах довільної геометрії і може бути використана при дослідженні реологічних властивостей розплавів полімерів при їх течії у каналах довільного перетину, зокрема напружень зсуву і ефективного градієнта зсуву, а також гідравлічного та реологічного радіусів.

Використання гідравлічного радіусу при розрахунку каналів як методу переходу від каналів прямокутного поперечного перерізу до круглих каналів при течії розплавів полімерів призводить до побудови кривих течії, які неінваріантні відносно гідравлічного радіуса каналу [1-6]. Зокрема, це необхідно для забезпечення можливості використання даних капілярної віскозиметрії при гідравлічному розрахунку каналів з некруглим поперечним перерізом. При цьому інваріантність кривих - це властивість деяких кривих залишатися незмінними при перетвореннях певного типу (наприклад, використанні каналів різних поперечних перерізів).

Відомий спосіб визначення реологічних параметрів течії розплавів термопластичних полімерів в каналах шляхом побудови сімейства кривих течії розплавів полімерів у каналах круглого перерізу з використанням поняття гідравлічного радіуса, знайденого розрахунково, і наступне використання отриманих результатів при емпіричній побудові кривих течії розплавів полімерів у каналах довільного перерізу на основі порівняння значень знайденого гідравлічного радіуса для обох вищезазначених типів каналів [1].

Недоліком способу аналога є його трудомісткість, висока затратність, а також невисока достовірність визначення реологічних властивостей розплавів полімерів при їх течії у каналах довільного перерізу на основі аналізу побудованих реологічних кривих течії розплавів полімерів.

Як найбільш близький аналог вибраний спосіб побудови сімейства кривих течії розплавів полімерів, який, зокрема, передбачає знаходження реологічних параметрів течії розплавів термопластичних полімерів в круглих і плоскощільних каналах [6]. Цей спосіб здійснюється шляхом визначення швидкості ковзання і істинної кривої течії полімерів за неінваріантними реологічними характеристиками, серед яких напруження зсуву і ефективний градієнт зсуву, а також гідравлічний та реологічний радіуси. Зокрема, визначається залежність швидкості ковзання на стінках круглого і плоскощільного каналів від напруження зсуву, після чого здійснюється побудова істинних кривих течії за неінваріантними відносно поперечних розмірів каналів залежностями градієнта швидкості від напруження зсуву, які були отримані експериментально звичайними методами [6].

Недоліком способу найближчого аналога є його трудомісткість, відсутність ефективної послідовності процедур виконання способу, а також невисока достовірність визначення реологічних властивостей розплавів полімерів при їх течії у каналах довільного перерізу на основі аналізу побудованих реологічних кривих течії.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення достовірності способу визначення реологічних параметрів течії розплавів термопластичних полімерів в каналах довільної геометрії шляхом виконання ефективної послідовності процедур реалізації способу, зокрема вибору еталонного каналу і визначення реологічних властивостей при течії розплавів термопластичних полімерів всередині нього.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення реологічних параметрів течії розплавів термопластичних полімерів в каналах довільної геометрії, зокрема напружень зсуву та ефективного градієнта зсуву, що полягає у визначенні реологічних властивостей розплаву полімеру у вигляді залежності напружень зсуву від градієнта швидкості, заданні геометричних параметрів каналів, а саме їх довжини і поперечного перерізу, а також варіюванні об'ємної витрати  $Q$  течії розплаву полімеру в досліджуваних каналах для подальшої побудови експериментально-розрахунковим шляхом кривих течії розплавів термопластичних полімерів в досліджуваних каналах з урахуванням їх геометрії та реологічних властивостей розплавів термопластичних полімерів, новим є те, що вибирають модельний канал прямокутного перерізу і заданих розмірів, здійснюють побудову експериментальної кривої течії розплаву термопластичного полімеру у модельному каналі і у довільному  $i$ -му каналі, розраховують змочений периметр довільного  $i$ -го каналу  $\chi_i$ , далі здійснюють розрахунок гідравлічного радіуса  $R_{\Gamma i}$  довільного  $i$ -го каналу, напружень зсуву на стінці довільного  $i$ -го каналу  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  та ефективного градієнта зсуву  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$  довільного  $i$ -го каналу відповідно до залежностей

$$R_{\Gamma i} = \frac{S_i}{\chi_i},$$

$$\tau_{R_{\Gamma i}} = \frac{\Delta P_i \cdot R_{\Gamma i}}{L_i},$$

$$\Gamma_{R_{\Gamma i}} = \frac{Q_i}{2\pi \cdot R_{\Gamma i}^3},$$

де  $S_i$  - площа нормального перерізу довільного  $i$ -го каналу,  $\text{м}^2$ ,

$\chi_i$  - змочений периметр довільного  $i$ -го каналу,  $\text{м}$ ,

5  $\Delta P_i$  - перепад тиску на ділянці довільного  $i$ -го каналу,  $\text{Па}$ ,

$L_i$  - довжина ділянки довільного  $i$ -го каналу,  $\text{м}$ ,

$Q_i$  - об'ємна витрата полімеру через довільний  $i$ -й канал,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,

по експериментальній кривій течії для модельного каналу визначають величину напруження

10 зсуву  $\tau_x$ ,  $\text{Па}$ , яке відповідає значенню градієнта швидкості на стінці довільного  $i$ -го каналу  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$ , далі знаходять напруження зсуву на стінці довільного  $i$ -го каналу по формулі

$$\tau_{R_{\Gamma i}} = \tau_x \left( \frac{R_{\Gamma i}}{R_{Ri}} \right)^{3n},$$

де  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  - напруження зсуву на стінці довільного  $i$ -го каналу,  $\text{Па}$ ,

$\Gamma_{R_{\Gamma i}}$  - ефективний градієнт швидкості на стінці довільного  $i$ -го каналу,

15  $n$  - індекс течії або тангенс кута нахилу кривих течії на стінці довільного  $i$ -го каналу в логарифмічних координатах, що дорівнює

$$n = \frac{d \ln \tau_{R_{\Gamma i}}}{d \ln \Gamma_{R_{\Gamma i}}},$$

далі по кривій течії довільного  $i$ -го каналу визначають величину напруження зсуву  $\tau_{R_{\Gamma i}}$ , а

також величину ефективного градієнта швидкості  $\Gamma_{R_{Ri}}$  по залежності

$$\Gamma_{R_{Ri}} = \Gamma_{R_{\Gamma i}} \sqrt[n]{\frac{\tau_{R_{\Gamma i}}}{\tau_x}},$$

20 причому знайдені для кривої течії модельного каналу величини  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  та  $\Gamma_{R_{Ri}}$  приймають відповідно як середні за периметром напруження тертя на стінці та ефективний градієнт швидкості, які характеризують напружений стан довільного  $i$ -го каналу.

Величину напруження зсуву  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  по кривій течії довільного  $i$ -го каналу визначають за прийнятого масштабу як вертикальну координату точки перетину прямих, одна з яких

25 перпендикулярна до осі ефективних градієнтів швидкості у точці  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$ , а друга пряма

перпендикулярна до осі напружень зсуву у точці  $\tau_{R_{\Gamma i}}$ , а величину напруження зсуву  $\tau_{R_{Ri}}$

визначають на експериментальній кривій течії модельного каналу шляхом проведення

горизонтального відрізка з точки  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  до перетину з цією кривою, тобто забезпечуючи виконання

умови  $\tau_{R_{Ri}} = \tau_{R_{\Gamma i}}$ .

30 Вибирають модельний канал прямокутного перерізу розмірами  $(2 \times 32)$   $\text{мм}$  і довжиною  $50$   $\text{мм}$ .

Перераховані ознаки способу складають суть корисної моделі.

Наявність причинно-наслідкового зв'язку між сукупністю істотних ознак корисної моделі і технічним результатом, що досягається, полягає в наступному.

35 Питання про використання поняття гідравлічного радіуса, як адекватного способу переходу від циліндричних каналів некруглого поперечного перерізу до круглих каналів при течії

неньютонівських рідин, зокрема розплавів полімерів, являє собою значний практичний інтерес у зв'язку із розповсюдженням таких каналів у обладнанні для отримання виробів із полімерів та устаткування для інших процесів хімічної технології.

Для каналів з прямокутним поперечним перерізом в роботах [1, 2] було встановлено неінваріантність кривих течії розплавів полімерів відносно гідравлічного радіуса каналу, а також

отримані співвідношення, які дозволяють визначити уточнений радіус каналу  $R_R$ , який умовно названо реологічним [3]. Розміри досліджуваних каналів були вибрані співпадаючими із промисловими каналами. Висоту прямокутних каналів було вибрано 2 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм, 16 мм та 32 мм, а ширина залишалася сталою і дорівнювала 32 мм.

Нерозв'язаною раніше частиною загальної проблеми є застосування реологічного радіуса каналу  $R_R$  для приведення кривих течії розплавів полімерів, неінваріантних відносно гідравлічного радіуса каналу, до інваріантного виду.

При гідравлічному розрахунку некруглих каналів гідравлічний опір циліндричних або призматичних каналів складного профілю визначають шляхом порівняння опору цих каналів з еквівалентним їм за опором каналом круглого поперечного перерізу, у якої за радіус приймається "гідравлічний радіус"  $R_G$  [1]:

$$R_G = \frac{S}{\chi}, \quad (1)$$

де  $S$  - площа нормального перерізу каналу,  $\text{м}^2$ ,  
 $\chi$  - змочений периметр, м.

Якщо використати поняття гідравлічного радіуса, то середнє за периметром напруження тертя або, інакше, напруження зсуву на стінці каналу дорівнює

$$\tau_R = \frac{\Delta P \cdot R_G}{L}, \quad (2)$$

де  $\Delta P$  - перепад тиску на ділянці каналу, Па,  
 $L$  - довжина ділянки каналу,

$\tau_R$  - напруження зсуву, Па.

Рівняння (2) можна використовувати для будь-яких суцільних середовищ, які рухаються у циліндричних каналах, зокрема при русі неньютонівських рідин.

Недоліком цього методу є те, що при використанні гідравлічного радіуса  $R_G$  необхідно враховувати, що цей метод має сенс тільки у тому випадку, якщо у каналів, які порівнюють за опором, перерізи геометрично близькі один до одного.

У реології неньютонівських рідин величина  $\tau_R$  використовується для побудови кривої течії рідин, яка є графічним виразом залежності напруження зсуву на стінці каналу від градієнта швидкості розплаву на стінці каналу (так званого ефективного градієнта швидкості), тобто  $\tau_R = f(\Gamma_R)$ . При цьому величина ефективного градієнта швидкості  $\Gamma_R$  може бути обчислена за формулою

$$\Gamma_R = \frac{Q}{2\pi R_G^2}, \quad (3)$$

де  $Q$  - об'ємні витрати розплаву в каналі,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Було експериментально досліджено течію неньютонівської рідини у прямокутних каналах розмірами (2×32) мм, (4×32) мм, (8×32) мм, (16×32) мм та (32×32) мм. Величини гідравлічного радіуса  $R_G$  були визначені за формулою (1).

Для дослідження був використаний модифікований віскозиметр сталих швидкостей, який дозволяє реалізувати усталений потік розплавів полімерів у широкому діапазоні зміни швидкостей течії у каналах із геометрією та розмірами, які фактично використовуються у конструкціях головок черв'ячних машин [5].

Для віскозиметричних досліджень зазвичай використовують круглі канали. Якщо неньютонівська рідина не виявляє пристінних ефектів, то криві течії, які були отримані на

круглих каналах різних діаметрів, накладаються одна на одну і практично є інваріантними відносно діаметра каналу.

З цієї точки зору, використання поняття гідравлічного радіуса  $R_{\Gamma}$  для розрахунку каналів із перерізом некруглої форми повинно було б забезпечити інваріантність їх реологічних

5 характеристик відносно величини гідравлічного радіуса  $R_{\Gamma}$  каналу.

Спосіб ілюструється кресленням, де суцільними лініями показані консистентні криві течії розплаву удароміцного полістиролу марки УП-1ЛА для каналів перерізом (2×32) мм та перерізом (4×32) мм за температур  $T = 150^{\circ}\text{C}$  та  $190^{\circ}\text{C}$ , отримані в результаті дослідів, які порівнюються із розрахунковими даними.

10 Спосіб реалізується у дві стадії наступним чином. На першій стадії з використанням знайдених розрахункових значень гідравлічного радіуса  $R_{\Gamma i}$  будують криві течії полімерів, які неінваріантні відносно гідравлічного радіуса каналів. Другу стадію проводять з використанням

знайдених експериментально-розрахунковим шляхом значень реологічного радіуса  $R_{Ri}$  довільного і-го каналу і завершують графічним приведенням кривих течії, неінваріантних гідравлічного радіуса каналів, до інваріантного виду шляхом перерахунку реологічних параметрів. Тобто:

15 I. На першій стадії вибирають модельний канал прямокутного перерізу і наперед заданої довжини, здійснюють побудову експериментальної кривої течії досліджуваного розплаву полімеру в модельному каналі, а також здійснюють побудову експериментальної кривої течії  
20 довільного і-го каналу.

Далі знаходять за формулою (1) змочений периметр і-го каналу,  $\chi_i$ , м: наприклад, для прямокутного перетину зі сторонами  $a$  і  $b$  він дорівнює  $2 \cdot (a+b)$ .

Після цього здійснюють розрахунок наступних параметрів: гідравлічного радіуса  $R_{\Gamma i}$  і-го каналу, напружень зсуву на стінці і-го каналу  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  та ефективного градієнта зсуву  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$  і-го каналу. Для цього використовують такі співвідношення [3]:

$$R_{\Gamma i} = \frac{S_i}{\chi_i}, \quad 1)$$

$$\tau_{R_{\Gamma i}} = \frac{\Delta P_i \cdot R_{\Gamma i}}{L_i}, \quad 2)$$

$$\Gamma_{R_{\Gamma i}} = \frac{Q_i}{2\pi \cdot R_{\Gamma i}^3}, \quad 3)$$

де  $S_i$  - площа нормального перерізу і-го каналу,  $\text{м}^2$ ,

30  $\chi_i$  - змочений периметр і-го каналу, м,

$\Delta P_i$  - перепад тиску на ділянці і-го каналу, Па,

$L_i$  - довжина ділянки і-го каналу, м,

$Q_i$  - об'ємна витрата полімеру через і-й канал,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

35 II. На другій стадії, тобто при графічному приведенні кривих течії, неінваріантних до гідравлічного радіуса каналів, до інваріантного виду шляхом перерахунку реологічних параметрів для модельного каналу, використовують співвідношення, наведені у роботі [3]. Процедура реалізації розробленого способу на цій стадії складається з наступних операцій.

II.1. З використанням співвідношення (1) для гідравлічного радіуса  $R_{\Gamma i}$  і-го каналу із співвідношення (3) визначають ефективний градієнт швидкості і-го каналу, тобто  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$ ,  $\text{с}^{-1}$ .

40 II.2. З використанням ефективного градієнта швидкості  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$  і-го каналу, визначеного за рівнянням (3), на кривій течії модельного каналу (2 × 32) мм знаходять величину напруження зсуву  $\tau_x$ , яка відповідає значенню градієнта швидкості на стінці і-го каналу  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$ , Па.

II.3. Знаходять напруження зсуву на стінці і-го каналу [3]

$$\tau_{R_{\Gamma i}} = \tau_x \left( \frac{R_{\Gamma i}}{R_{Ri}} \right)^{3n}, \quad (4)$$

де  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  - напруження зсуву на стінці і-го каналу, Па,

$\Gamma_{R_{\Gamma i}}$  - ефективний градієнт швидкості на стінці і-го каналу,

а  $n$  - індекс течії (безрозмірна величина), тобто логарифмічна похідна, або тангенс кута нахилу кривих течії на стінці і-го каналу в логарифмічних координатах, що дорівнює

$$n = \frac{d \ln \tau_{R_{\Gamma i}}}{d \ln \Gamma_{R_{\Gamma i}}}.$$

II.4. На кривій течії і-го каналу визначають величину напруження зсуву  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  як вертикальну ординату точки перетину прямих, одна з яких перпендикулярна до осі ефективних градієнтів швидкості у точці  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$ , а друга пряма перпендикулярна до осі напружень зсуву у точці  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  (див. кресл.).

II.5. Визначають на кривій течії модельного каналу перерізом (2 × 32) мм величину напруження зсуву  $\tau_{R_{Ri}}$  шляхом проведення горизонтального відрізка з точки  $\tau_{R_{\Gamma i}}$ , тобто  $\tau_{R_{\Gamma i}} = \tau_{R_{Ri}}$ .

II.6. Визначають величину ефективного градієнта швидкості  $\Gamma_{R_{Ri}}$  відповідно до [3]:

$$\Gamma_{R_{Ri}} = \Gamma_{R_{\Gamma i}} \sqrt[n]{\frac{\tau_{R_{\Gamma i}}}{\tau_x}}. \quad (5)$$

Вищевизначені величини  $\tau_{R_{\Gamma i}} = \tau_{R_{Ri}}$  та  $\Gamma_{R_{Ri}}$ , які визначені за співвідношенням (4) та (5) для кривої течії модельного каналу, приймають відповідно як середні за периметром напруження тертя на стінці та ефективний градієнт швидкості для довільного і-го каналу, і надалі використовують для побудови (приведення) інваріантних кривих течії розплавів термопластичних полімерів для довільного і-го каналу наперед заданої геометрії.

Такі перетворення можливі для будь-якого і-го каналу, внаслідок чого значення напружень зсуву  $\tau_{R_{Ri}}$  на кривій течії модельного каналу відповідають значенню ефективного градієнта швидкості у точці  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$  для довільного і-го каналу будь-якого перерізу. Тобто за розробленим способом приведення криві течії розплавів полімерів, що рухаються в каналах різних перерізів, внаслідок вищенаведених процедур стають інваріантними відносно розмірів поперечного перерізу каналу.

В табл. 1 наведені розрахункові дані для кривої течії розплаву удароміцного полістиролу у каналі перерізом (4 × 32) мм.

Параметри течії удароміцного полістиролу марки  
УП-1ЛА у каналі перерізом (4 × 32) мм за температур 150 °С та 190 °С

температура розплаву T, °С	гідравлічний радіус $R_{Г4 \times 32}$ см	реологічний радіус $R_{R4 \times 32}$ см	напруження зсуву $\tau_{R_{Г4 \times 32}}$ , Н/см <sup>2</sup>	напруження зсуву $\tau_X$ , Н/см <sup>2</sup>	ефективний градієнт швидкості $\Gamma_{R_{Г4 \times 32}}$ с <sup>-1</sup>	ефективний градієнт швидкості $\Gamma_{R_{R4 \times 32}}$ с <sup>-1</sup>	логарифмічна похідна, n
150	0,176	0,1279	3,2	2,3	10	26,08	0,3443
	0,176	0,1286	4,15	3	21	53,35	0,3443
	0,176	0,1317	5,4	4	49	117,135	0,3443
	0,176	0,1293	6,6	4,8	88	221,88	0,3443
	0,176	0,1289	6,8	5,2	110	280,621	0,2867
	0,176	0,1277	8,43	6,4	200	522,57	0,2867
	0,176	0,1291	11,75	9	680	1725,52	0,2867
190	0,176	0,114	13,5	10	1100	4367,61	0,2308
	0,176	0,1259	1,65	1	13,25	36,18	0,4986
	0,176	0,129	2,15	1,35	24	60,85	0,4986
	0,176	0,1365	2,85	1,95	50	106,82	0,4986
	0,176	0,133	3,79	2,7	105	243,26	0,404
	0,176	0,138	4,5	3,35	172,5	358,02	0,404
	0,176	0,1254	6	4,4	400	1104,18	0,3057
	0,176	0,1236	8,3	6	1050	3011,16	0,3057

5 Було встановлено, що розрахунки параметрів течії з використанням поняття гідравлічного радіуса може призвести до значних відхилень від реальної картини течії полімерної рідини в каналах довільного перерізу. Поняття гідравлічного радіуса каналів некруглого перерізу при

течії неньютонівської рідини не дає змоги отримати величини  $\tau_{R_{Г}}$  та  $\Gamma_{R_{Г}}$ , які забезпечили б інваріантність кривих течії відносно геометричних розмірів каналу некруглого перерізу.

10 Тоді як використання у розробленому способі поняття реологічного радіуса дає змогу побудови кривих течії полімерів в каналах довільного перерізу за апріорної наявності таких експериментальних даних хоча б для одного модельного каналу наперед заданого перерізу.

15 Наведений спосіб дає змогу підвищити щонайменше на 15-20 % точність та достовірність визначення реологічних характеристик розплаву полімеру, зокрема удароміцного полістиролу, і використовувати результати віскозиметричного експерименту для розрахунку опорів прямокутних каналів довільного перерізу. Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку пов'язані, зокрема, з виявленням впливу індексу течії на реологічні характеристики розплаву термопластичних полімерів.

Джерела інформації:

20 1. Костюк Д.В., Беспалов А.А., Рябинин Д.Д. Особенности определения гидравлического радиуса для прямоугольных каналов при течении ударопрочного полистирола // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Сер. Машиностроение.-2009. - №55. - С. 319-324.

25 2. Кривко С.А., Беспалов А.А., Рябинин Д.Д. Про визначення реологічних характеристик поліетилену високої густини з урахуванням пристінних ефектів // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Сер. Машиностроение.-2009. - №55. - С. 181-185.

3. Рябинин Д.Д., Мотін А.М. Про реологічний аспект використання поняття гідравлічного радіуса // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Сер. Машиностроение. - Вып.41.-2001. - С. 55-59.

30 4. А.С. СССР № 1479308 А1, В29С45/47. Литьева машина. Сивецкий В.И., Сирота А.Г., Ханин Д.М., Рябинин Д.Д., Пристайлов С.О., Сидоров Д.Э., Личко В.Л. Оубл. 15.05.89, Бюл. № 18.

5. Сивецкий В.И., Сокольский О.Л., Сахаров О.С., Щербина В.Ю. Моделирование оснастки для формирования полимерных виробів. Плоскощитинні головки. - К.: НТУУ "КПГ, 2006.-131 с

35 6. Жданов Ю.А., Иванова Л.А., Рябинин Д.Д. Метод определения скорости скольжения и истинной кривой течения полимеров по неинвариантным реологическим характеристикам //



Респ. межв. научно-техн. сб. "Химическое машиностроение". - Вып. 18. - К.: Техніка, 1973. - С. 50-57.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

5

1. Спосіб визначення реологічних параметрів течії розплавів термопластичних полімерів в каналах довільної геометрії, зокрема напружень зсуву та ефективного градієнта зсуву, що полягає у визначенні реологічних властивостей розплаву полімеру у вигляді залежності напружень зсуву від градієнта швидкості, заданні геометричних параметрів каналів, а саме їх довжини і поперечного перерізу, а також варіюванні об'ємної витрати  $Q$  течії розплаву полімеру в досліджуваних каналах для подальшої побудови експериментально-розрахунковим шляхом кривих течії розплавів термопластичних полімерів в досліджуваних каналах з урахуванням їх геометрії та реологічних властивостей розплавів термопластичних полімерів, який **відрізняється** тим, що вибирають модельний канал прямокутного перерізу і заданих розмірів, здійснюють побудову експериментальної кривої течії розплаву термопластичного полімеру у модельному каналі і у довільному і-му каналі, розраховують змочений периметр довільного і-го каналу  $\chi_i$ , далі здійснюють розрахунок гідравлічного радіуса  $R_{\Gamma_i}$  довільного і-го каналу, напружень зсуву на стінці довільного і-го каналу  $\tau_{R_{\Gamma_i}}$  та ефективного градієнта зсуву  $\Gamma_{R_{\Gamma_i}}$  довільного і-го каналу відповідно до залежностей

20

$$R_{\Gamma_i} = \frac{S_i}{\chi_i},$$

$$\tau_{R_{\Gamma_i}} = \frac{\Delta P_i \cdot R_{\Gamma_i}}{L_i},$$

$$\Gamma_{R_{\Gamma_i}} = \frac{Q_i}{2\pi \cdot R_{\Gamma_i}^3},$$

де  $S_i$  - площа нормального перерізу довільного і-го каналу,  $m^2$ ,

$\chi_i$  - змочений периметр довільного і-го каналу, м,

25  $\Delta P_i$  - перепад тиску на ділянці довільного і-го каналу, Па,

$L_i$  - довжина ділянки довільного і-го каналу, м,

$Q_i$  - об'ємна витрата полімеру через довільний і-й канал,  $m^3/c$ ,

по експериментальній кривій течії для модельного каналу визначають величину напруження зсуву  $\tau_x$ , Па, яке відповідає значенню градієнта швидкості на стінці довільного і-го каналу  $\Gamma_{R_{\Gamma_i}}$ ,

30 далі знаходять напруження зсуву на стінці довільного і-го каналу по формулі

$$\tau_{R_{\Gamma_i}} = \tau_x \left( \frac{R_{\Gamma_i}}{R_{R_i}} \right)^{3n},$$

де  $\tau_{R_{\Gamma_i}}$  - напруження зсуву на стінці довільного і-го каналу, Па,

$\Gamma_{R_{\Gamma_i}}$  - ефективний градієнт швидкості на стінці довільного і-го каналу,

35  $n$  - індекс течії або тангенс кута нахилу кривих течії на стінці довільного і-го каналу в логарифмічних координатах, що дорівнює

$$n = \frac{d \ln \tau_{R_{\Gamma_i}}}{d \ln \Gamma_{R_{\Gamma_i}}},$$

далі по кривій течії довільного і-го каналу визначають величину напруження зсуву  $\tau_{R_{R_i}}$ , а також величину ефективного градієнта швидкості  $\Gamma_{R_{R_i}}$  по залежності

$$\Gamma_{R_{R_i}} = \Gamma_{R_{\Gamma_i}} \sqrt[n]{\frac{\tau_{R_{\Gamma_i}}}{\tau_x}},$$

причому знайдені для кривої течії модельного каналу величини  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  та  $\Gamma_{R_{Ri}}$  приймають відповідно як середні за периметром напруження тертя на стінці та ефективний градієнт швидкості, які характеризують напружений стан довільного  $i$ -го каналу.

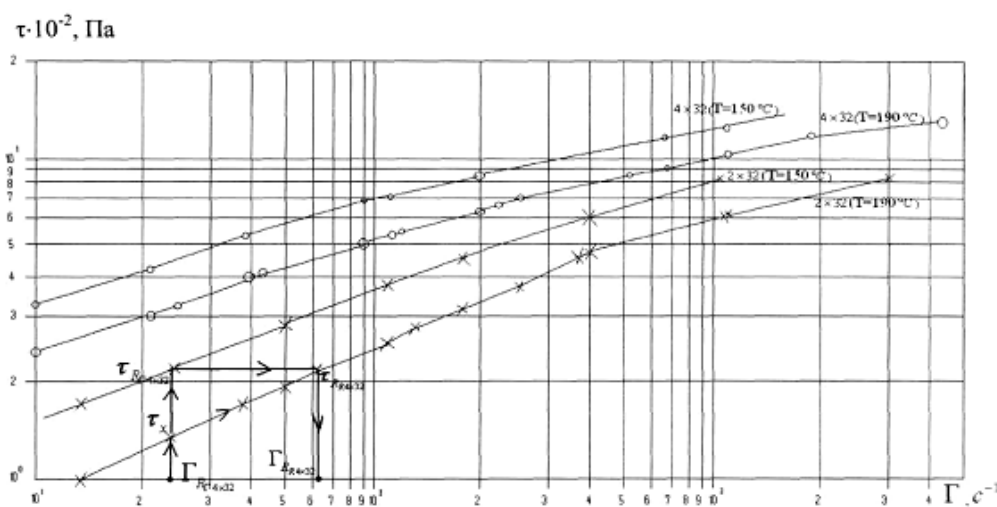
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що величину напруження зсуву  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  по кривій течії

5 довільного  $i$ -го каналу визначають за прийнятого масштабу як вертикальну координату точки перетину прямих, одна з яких перпендикулярна до осі ефективних градієнтів швидкості у точці  $\Gamma_{R_{\Gamma i}}$ , а друга пряма перпендикулярна до осі напружень зсуву у точці  $\tau_{R_{\Gamma i}}$ , а величину

напруження зсуву  $\tau_{R_{Ri}}$  визначають на експериментальній кривій течії модельного каналу шляхом проведення горизонтального відрізка з точки  $\tau_{R_{\Gamma i}}$  до перетину з цією кривою, тобто

10 забезпечуючи виконання умови  $\tau_{R_{Ri}} = \tau_{R_{\Gamma i}}$ .

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що вибирають модельний канал прямокутного перерізу розмірами (2 × 32) мм і довжиною 50 мм.



криві течії — суцільні лінії; розрахункові дані для  $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $\circ$ ; для  $T = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $\times$