

СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ТЕРМОПЛАСТІВ НА ЯКІСТЬ ЕКСТРУДОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Розглянуто процеси екструзійного формування безперервних виробів із термопластичних матеріалів та устаткування для їх реалізації. Проаналізовано проблеми, що виникають під час екструзійного формування, і засобів їх усунення, запропоновано шляхи удосконалення існуючих формувальних пристроїв.

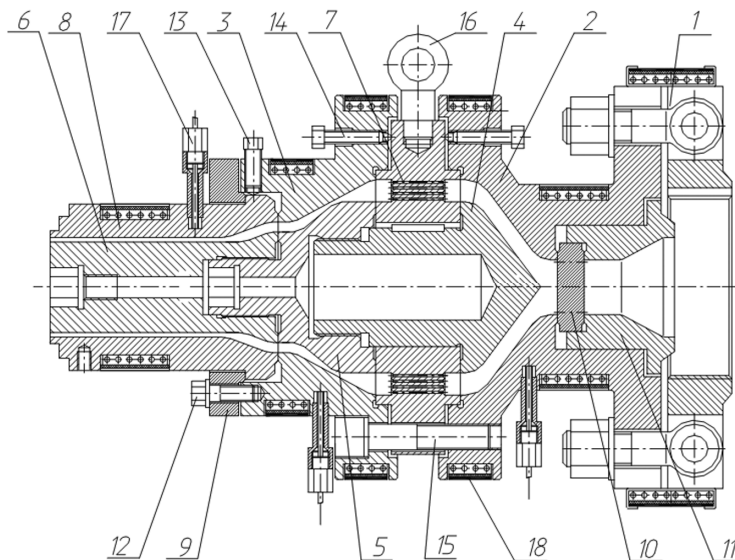
Ключові слова: полімери, екструзія, формування, дефекти.

© Сокольський О. Л., 2014.

Постановка проблеми. Попит на вироби з полімерних матеріалів безперервно зростає [1]. Одночасно підвищуються складність полімерних виробів, а також вимоги до їхньої якості, зокрема точності розмірів і фізико-механічних показників тощо. Задоволення потреб у вітчизняних виробках складної геометричної форми з пластмас неможливе без оптимізації конструктивних і технологічних параметрів устаткування і процесів переробки полімерів і композицій з їхнім використанням. Остаточних параметрів (форма, розміри, фізико-механічні властивості) продукція з полімерних і композиційних матеріалів набуває у формуальному інструменті, яким споряджається технологічне обладнання для підготовки перероблюваного матеріалу до формування. Під час проектування формуального устаткування потрібно враховувати, що його робочі канали можуть мати різну геометрію, а матеріал – перероблятися за різних гідродинамічних і теплових режимів. Усе це пов'язано зі зміною реологічних властивостей перероблюваного матеріалу на стадіях пластикації та формування [2].

Метою статті є аналіз основних чинників, що впливають на якість процесу формування полімерних виробів методом екструзії, та засобів усунення дефектів екструдованих виробів.

Виклад основного матеріалу. Геометричні параметри формувальних каналів, отже конструктивне оформлення головки, визначаються реологічними й теплофізичними властивостями розплаву й вимогами до виробу [2–6].



1 – фланець; 2 і 3 – частини роз'ємного корпусу;
 4 – розсікач; 5 – проміжний дорн; 6 – формувальний дорн;
 7 – дорнотримач; 8 – матриця; 9 – кільце; 10 – фільтрувальна решітка; 11 – втулка; 12, 14, 15 – болти кріпильні; 13 – болт регульовальний; 16 – рим-болт; 17 – терморара; 18 – нагрівники

Рис. 1 – Приклад конструкції головки для виробництва труб

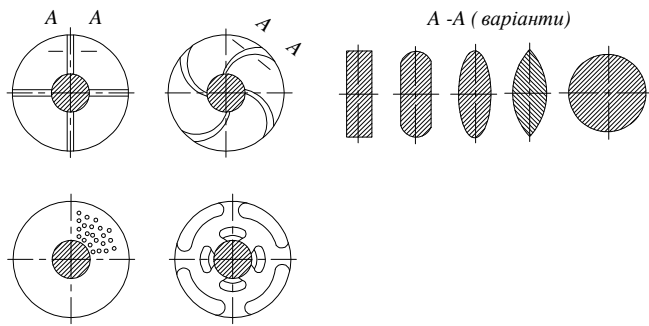


Рис. 2 – Конструктивне виконання дорнотримачів

типорозміру машини, геометрії черв'яка й технологічних режимів із геометрією виробу, каналів головки й потрібною продуктивністю.

Розподіл швидкості розплаву на виході з головки має бути однорідним. Невиконання цієї умови призводить до різнотовщинності виробу, утворення складок і вигинів профілю у напрямі ділянок із меншою швидкістю.

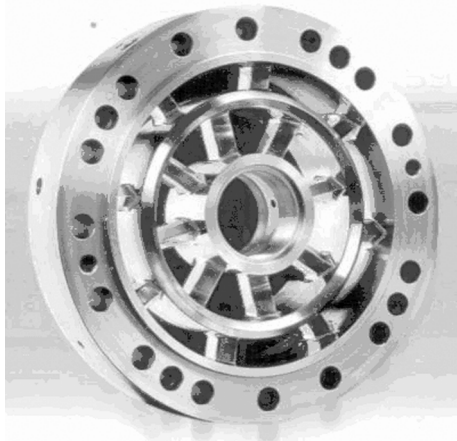
Частково ці явища можна компенсувати, приймаючи виріб з більшою швидкістю, аніж максимальна швидкість виходу розплаву з формувальної щілини (фільерна витяжка), застосовуючи пристрої регулювання товщини щілини чи встановлюючи додаткові калібрувальні пристрої.

Фільерна витяжка не має перевищувати певної величини (зазвичай 10...20 %, хоча буває і більше – до 100 %), щоб уникнути розривів профілю і появи залишкових напружень, що призводить до викривлення виробу та зміни його форми.

Розміри формувальних каналів мають проектуватися з урахуванням витяжки, усадки й розбухання екструдату.

Для стабілізації течії й релаксації внутрішніх напружень в розплаві довжина калібрувального каналу постійного поперечного перерізу на виході має відповідати 10...30 товщинам виробу. Для зменшення маси головок для труб великого типорозміру дорн можуть виконувати порожнистим, встановлюючи в ньому нагрівники. Дорн кріпиться на дорнотримачах у вигляді стійок («павукові ноги»), решіток або кілець (рис. 2). Довжина стійок становить 30...80 мм, ширина – 9...12 мм. Розтинаючи потік розплаву, дорнотримачі створюють так звані лінії зварювання потоків, що істотно ослаблюють виріб у разі погані зварюваності перероблюваного полімеру.

Для запобігання зниження міцності труби через «спайки» їх можна розподілити не перпендикулярно стінці труби, а за спіраллю (рис. 3). Такі труби виходять майже звитими з тонких шарів полімеру, що також покращує їхні механічні властивості, оскільки неоднорідність розплаву зосереджується не вузьким подовжнім місцем на трубі за товщиною стінки, а розподіляється вузьким шаром у товщині стінки за її поперечним перерізом (рис. 3, б).



a

Більшість екструзійних головок мають канали, що складаються із вхідних, розподільвальних і формувальних ділянок. Кінцеві форма й розміри профілю екструзійних виробів оформлюються мундштуком, що складається з матриці й дорна для формування зовнішніх і внутрішніх поверхонь виробу, відповідно (рис. 1).

Гідравлічний опір каналів головки має перебувати в області оптимальних робочих характеристик екструдера. Це означає необхідність узгодження

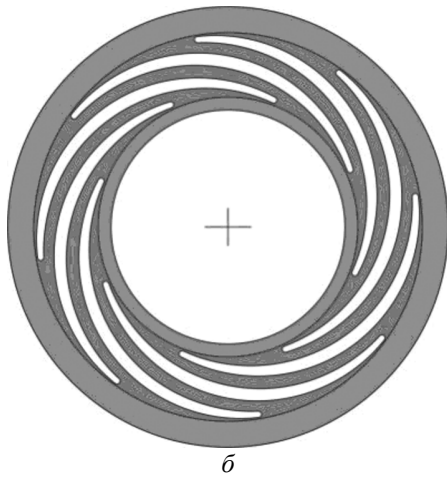


Рис. 3 – Спіральний дорнотримач (а) і розподіл розплаву в каналі головки (б)

поверхні, коли не вдається досягти її глянце. «Акуляча шкіра» зазвичай формується в формуючій зоні головки або на виході з неї. Вважається, що ефект утворення «акулячої шкіри» спричинений прискоренням поверхневих шарів екструдату на виході полімеру з головки [7]. Якщо швидкість витяжки екструдату надто висока, поверхневий шар полімеру може пошкоджуватися та утворювати характерні складки поверхні, схожі на шкіру акули. Такі чинники як швидкість зсуву, розміри фільтри, кути входу в формувальну зону, чистота поверхні каналу, відношення довжини до діаметра формувального каналу, матеріал деталей головки майже не впливають на появу цього дефекту.

Зазвичай цю проблему можна усунути, знижуючи швидкість екструзії, збільшуючи температуру в області формувального каналу екструзійної головки, а також додаючи до полімеру зовнішніх мастильних матеріалів.

Порушення неперервності потоку розплаву – серйозна деформація екструдату, що може набувати різної форми: спіральної, бамбукоподібної, регулярно хвилястої, випадкових розривів. Цей дефект, на відміну від поверхневого дефекту типу «акуляча шкіра», охоплює весь об'єм розплавленого екструдату.

Щоб пояснити порушення неперервності потоку розплаву, запропоновано низку механізмів:

- критичне значення пружної деформації на вході у фільтр. Чим менше кут входу в фільтр у попередніх каналів більшого перерізу, тим вищою є швидкість деформації, за якої виникає нестабільність;
- критичне напруження пружної деформації. Порушення неперервності потоку розплаву починається, коли перевищується критичне значення напруження зсуву біля стінки (0,1...0,4 МПа);
- ефект періодичного проковзування розплаву в фільтрі. Коли напруження перевищує критичне, розплаву полімеру внаслідок втрати адгезії до стінки фільтри починає періодично відриватися від стінки і ковзати по ній до вивільнення надлишкової енергії деформації, накопиченої під час течії крізь фільтр. Припускається, що параметром, що визначає коливання тиску, є критична деформація розтягування розплаву, що оцінюється мірою Генки.

Спотворення поверхні екструдату можна зменшити або усунути:

- згладжуванням каналів у головці;
- зменшенням напруження зсуву в формувальному каналі екструзійної головки, тобто роботою за напружень зсуву, менших, ніж критичне, що спричинює руйнування розплаву. Цього можна досягти підвищенням температури в формувальному каналі, роботою за нижчих швидкостей, зменшенням молекулярної маси чи в'язкості полімеру;
- використанням процесингових домішок, що полегшують перероблення матеріалу (компонентів, що зменшують в'язкість, або зовнішніх мастил, наприклад, фторполімерних еластомерів для поліетилену);
- переходом до режиму суперекструзії, за якого екструдат не спотворюється за швидкостей, що перевищують умову порушення суцільності потоку.

Згладжування каналу течії в головці завжди корисно, але воно підвищує вартість формувального інструмента. Для випуску великотоннажної продукції застосування максимально згладженою екструзійної головки зазвичай є раціональним, але для дрібносерійної – може бути економічно недоцільним.

Навіть якщо механізм нестабільності може бути до кінця і не зрозумілим, нестабільність процесу часто знижують: зменшення швидкості обертання черв'яка, температури черв'яка і температури на виході з робочого циліндра, глибини каната в зоні дозування, збільшення довжини зони стиснення, підвищення тиску в головці й температури в перших зонах робочого циліндра (з боку завантаження сировини).

Для розмивання ліній зварювання застосовують: зменшення площі поперечного перерізу за дорнотримачами в 3...5 разів; локальні звуження поперечного перерізу; обертання дорну чи матриці; виконання на ділянці дорну багатозахідної спіральної нарізки, що звужується, з глибиною, що зменшується до виходу.

За високої швидкості екструзії можуть виникнути умови досягнення граничної адгезійної міцності та внаслідок високоеластичної турбуленції виникати дефекти поверхні виробів. Це явище прогнозується по досягненню теоретичної чи експериментально визначеної критичної швидкості зсуву.

Високочастотні нестабільності процесу екструзії часто пов'язують із такими проявами течії розплаву в екструзійній головці як порушення суцільності потоку, ефект «акулячої шкіри», «апельсинова шкірка» та ін.

Ефект «акулячої шкіри» проявляється в періодичному огрубінні поверхні екструдату у вигляді дрібних рифів. Менш різка форма дефекту проявляється у вигляді матовості

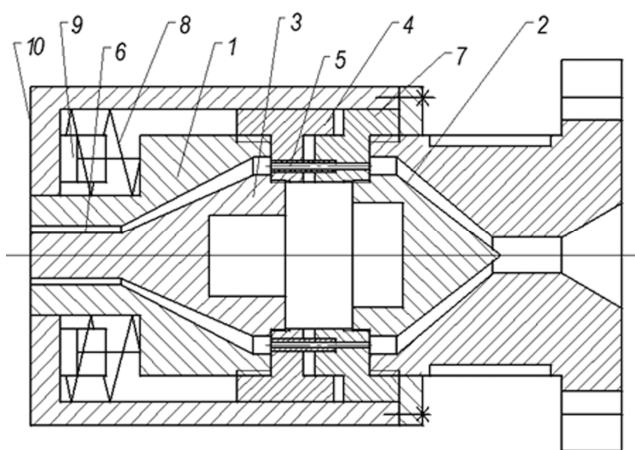


Рис. 4 – Конструктивна схема головки

Розплав, що входить у головку, потрапляє в канали 5 і 6, утворюючи осьову силу, що переміщує матрицю 1 з вихідною частиною дорна 3 і рухомою частиною дорнотримача 4 відносно нерухомої частини дорнотримача 7. При цьому довжина каналу 5 збільшується, а тиск знижується. Матриця 1, переміщуючись в осьовому напрямку, передає зусилля на кришку 10 через демпфер 9, що зменшує швидкість переміщення, і пружину 8, яка намагається відвести матрицю в початкове положення. Оскільки процес відбувається неперервно, матриця з вихідною частиною дорна виконує зворотно-поступальні рухи, поглинаючи пульсації.

Висновки. Проведений аналіз процесів та обладнання формування одержуваних екструзією неперервних виробів із термопластичних матеріалів, а також низки проблем, що виникають при цьому, і засобів їхнього усунення, нададуть можливість дослідникам, конструкторам і винахідникам системно підходити до питань розроблення нових та удосконалення існуючих формувальних пристроїв. У подальшому передбачається продовжити дослідження в цьому напрямі, звернувши увагу на підвищення якості й точності формованих полімерних виробів.

Список використаної літератури

1. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія / І. О. Мікульонок. – К. : Політехніка, 2009. – 265 с.
2. Басов Н. И. Расчет и конструирование формирующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов / Н. И. Басов. – М. : Химия, 1991. – 352 с.
3. Каплун Я. Б. Формующее оборудование экструдеров / Я. Б. Каплун, В. С. Ким. – М. : Машиностроение, 1967. – 159 с.
4. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. – М. : Химия, – 2005. – 568 с.
5. Производство изделий из полимерных материалов : учеб. пособие / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко. – СПб : Профессия, 2004. – 464 с.
6. Микулёнок И. О. Определение теплофизических свойств термопластичных композиционных материалов / И. О. Микулёнок // Пластические массы. – 2012. – № 7. – С. 9–13.
7. Раувендааль К. Выявление и устранение проблем в экструзии / К. Раувендааль, Х. Харрис, М. д. Пилар Норвега ; пер. с англ. – СПб : Профессия, 2011 – 368 с.
8. Пат. 82205U Україна. МПК В 29 С 47/14. Головка екструзійна / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, О. В. Рослов та ін. – Опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.

Надійшла до редакції 14.03.2014.

Sokolski O. L.

THE INFLUENCE OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE THERMOPLASTICS FORMING PROCESS ON EXTRUDED PRODUCTS QUALITY

Meeting the needs of geometric complicated articles of plastic is impossible without optimizing design and process parameters of equipment and processes of polymers and compositions with their use. Ultimate parameters of the polymeric and composite production are takes into forming tool.

In the design of the forming equipment we must consider that its working channels can has different geometry and processed material – different hydrodynamic and thermal regimes. All of these parameters bound to change the rheological properties of the processed material.

The aim of the paper is to analyze the main factors that affect the quality of the process of polymer products extrusion forming, and means to eliminate defects in extruded products.

For high speed extrusion the conditions for achieving marginal adhesion strength can be created and defective surface arise as a result of highly turbulence. This phenomenon is predicted to achieve a theoretical or experimentally determined critical shear rate. Typically, this problem can be eliminated by reducing the rate of

extrusion, increasing the temperature in the forming extrusion die channels, and by addition of external lubricants into the polymer.

For compensation of these effects a new extrusion die design was proposed, which structural elements can absorb vibrations occurring. Annular extrusion die contains a matrix that forms the outer surface of the polymer product, and mandrel, forms the inner surface of the product and which the input and output parts consists. The output parts of the matrix and mandrel are fixed in the moving part of mandrel support, and creates a channel for the melt flow with the output area, and besides the matrix and the output of the mandrel can move back and forth along the axis relative to the fixed part mandrel support with changing of the channel length for the melt flow. In matrix elastic and damping elements are placed that transmit force from it on the cover. The melt was included in the die, enters in the channel between the output mandrel part and the input part, and forms a pressure drop, which leads to the formation of an axial force that moves the matrix of the original part mandrel and moving parts of the mandrel support relatively fixed part of the mandrel support. The length of the channel increases, and the pressure in the die starts to decrease. Matrix, moving in the axial direction, passes through the efforts of the lid damper that reduces the speed of movement, and the spring that tries to take the matrix to its original position. As the process is continuous, as the matrix of the input part of the mandrel takes reciprocates, thereby absorbing pulsation.

Keywords: polymers, extrusion, forming, defects.

References

1. Mikulionok I. O. Obladnannia i protsesy pererobky termoplastychnykh materialiv z vykorystanniam vtorynnoi syrovyny [Equipment and processes of thermoplastic materials processing by using recycled materials] / I. O. Mikulionok. — K. : NTUU “KPI”, 2009. — 265 p.
2. Basov N. Y. Raschet y konstruyrovanye formuiushcheho ynstrumenta dlia yzghotovleniya yzdelyi yz polymernykh materyalov [Calculating and designing of the forming tool for the manufacture of polymeric materials] / N. Y. Basov. — M. : Khymyia, 1991. — 352 p.
3. Kaplun Ya. B. Formuiushchee oborudovanye ekstruderov [Forming equipment of extruders] / Ya. B. Kaplun, V. S. Kym. — M. : Mashynostroenye, 1967. — 159 p.
4. Kym V. S. Teoryia y praktyka ekstruzyy polymerov [Theory and practice of polymer extrusion] / V. S. Kym. — M. : Khymyia, 2005. — 568 p.
5. Proyzvodstvo yzdelyi yz polymernykh materyalov [Manufacture of polymeric materials] / V. K. Kryzhanovskiy, M. L. Kerber, V. V. Burlov, A. D. Panymatchenko. — SPb : Professyia, 2004. — 464 p.
6. Mykulionok I. O. Opredelenye teplofyzicheskykh svoistv termoplastychnykh kompozytsyonnykh materyalov [Determination of thermoplastic composites thermophysical properties] / I. O. Mykulionok // Plastycheskye massy. — 2012. — No 7. — P. 9–13.
7. Rauvendaal K. Vyiavlennye y ustranennye problem v ekstruzyy [Troubleshooting the extrusion process] / K. Rauvendaal, Kh. Kharrys, M. d. Pylar Noreha. — SPb : Professyia, 2011 — 368 p.
8. Pat. 82205U Ukraine. MPK B 29 C 47/14. Holovka ekstruziina [Extrusion die] / V. I. Sivetskyi, O. L. Sokolskyi, O. V. Roslov. — Opubl. 25.07.2013.