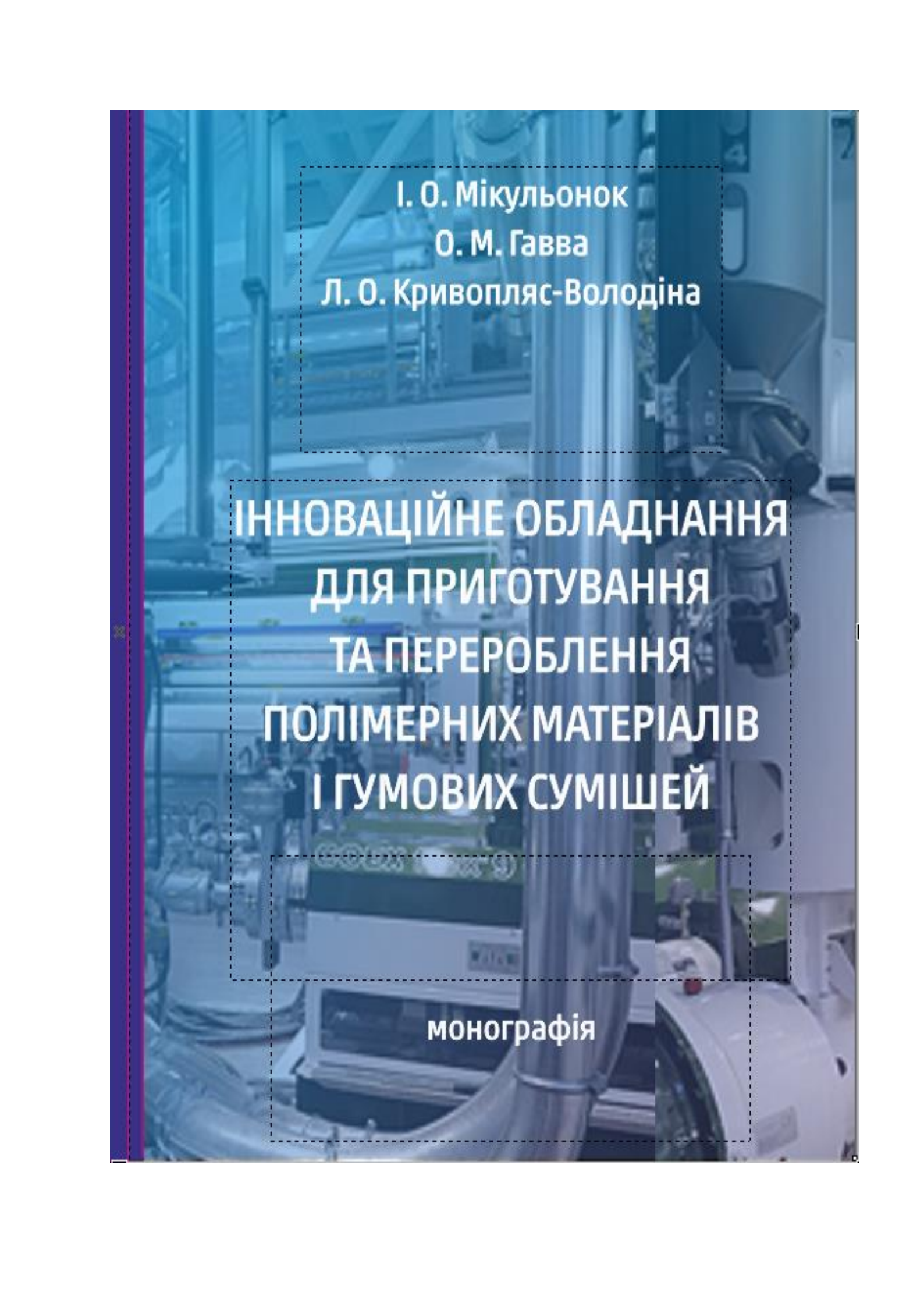




І. О. Мікульонок
О. М. Гавва
Л. О. Кривопляс-Володіна

**ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ
ТА ПЕРЕРОБЛЕННЯ
ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ
І ГУМОВИХ СУМІШЕЙ**

монографія

*І. О. Мікульонок
О. М. Гавва
Л. О. Кривопляс-Володіна*

**ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ
ТА ПЕРЕРОБЛЕННЯ
ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ
І ГУМОВИХ СУМІШЕЙ**

Монографія

Київ
Національний університет харчових технологій
2022

УДК 678.05(048.83)
М59

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного університету харчових технологій
(Протокол № 2 від 29.09.2022 р.)*

Рецензенти: *В. Г. Мирончук*, д-р техн. наук, проф.,
Національний університет харчових технологій
В. Ю. Сухенко, д-р техн. наук, проф.,
Черкаський державний технологічний університет
О. Л. Сокольський, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Мікульонок І.О.

М59 Інноваційне обладнання для приготування та перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей [Текст]: монографія / І. О. Мікульонок, О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна. Київ: Національний університет харчових технологій, 2022. – 139 с.: іл. – Бібліогр.: с. 126–135.

ISBN 978-617-676-190-7

У монографії розглянуто конструкції інноваційного змішувального, перероблювального та оброблювального обладнання для виготовлення продукції з полімерних матеріалів, зокрема рукавних полімерних пакувальних плівок, розроблених науковцями й винахідниками провідних країн світу за останні два століття.

Запропоновано розгорнуті класифікації найбільш поширених видів обладнання для приготування та перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей, які дають змогу розробникам нової техніки й технології окреслити шляхи можливої модернізації існуючих та створення принципово нових зразків технологічного й допоміжного обладнання для приготування та перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей. Докладно розглянуто основні конструктивні елементи роторних змішувачів закритого типу для пластичних мас і гумових сумішей, екструдерів, валкових машин, обладнання для оброблення відформованих матеріалів і виробів, а також обладнання для подрібнення полімерних і гумових відходів.

Для фахівців харчового й хімічного апарато- та машинобудування і споріднених галузей виробництва, а також викладачів, аспірантів і студентів закладів вищої освіти.

УДК 678.05:658.589](02)

ISBN 978-617-676-190-7

© І. О. Мікульонок, О. М. Гавва,
Л. О. Кривопляс-Володіна, 2022
© Національний університет харчових технологій, 2022

ВСТУП

Полімери та еластomers, а також матеріали з їх застосуванням мають комплекс унікальних властивостей, що забезпечують ефективні експлуатаційні характеристики полімерних і гумових виробів, які широко використовуються у найрізноманітніших галузях промисловості, сільського господарства, медицині та побуті. До основних переваг полімерних матеріалів належать технологічність, низька матеріало- та енергоємність, можливість одержання за один цикл формування відразу декількох виробів, у тому числі складної конфігурації, високий рівень автоматизації їх одержання та перероблення.

При цьому велика номенклатура продукції з полімерних матеріалів передбачає і різноманітність методів їх перероблення у вироби, а також відповідного технологічного й допоміжного обладнання.

Обладнання для приготування та перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей постійно вдосконалюється, особливо це стосується змішувального обладнання та високопродуктивного обладнання для неперервного формування – екструзійного та валкового.

У науково-технічній літературі зазвичай розглядаються лише класичні конструкції технологічного обладнання для приготування та перероблення полімерів і матеріалів з їх застосуванням, а уваги новим інноваційним розробкам майже не приділяється, тому її актуальність стає проблематичною.

У зв'язку із зазначеним постає завдання дослідження сучасного стану питання конструктивного оформлення обладнання для приготування та перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей, їх ґрунтовної класифікації та визначення шляхів його вдосконалення.

У пропонованій монографії розглянуто численні розробки конструктивного оформлення інноваційного змішувального, перероблювального та оброблювального обладнання для виготовлення продукції з полімерних матеріалів, розроблених науковцями й винахідниками провідних країн світу за останнє сторіччя.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

а. с. – авторське свідоцтво СРСР на винахід;
пат. – патент;
ПКМ – полімерний композиційний матеріал;
СА – Канада;
CH – Швейцарія;
CN – Китай;
DE – Німеччина;
EP – Європейське патентне відомство;
FR – Франція;
GB – Велика Британія;
IT – Італія;
JP – Японія;
KR – Республіка Корея;
PL – Польща;
RU – Російська Федерація;
SK – Словаччина;
SU – Союз Радянських Соціалістичних Республік;
UA – Україна;
US – Сполучені Штати Америки;
WO – стосується міжнародної заявки, опублікованої відповідно до Договору про патентну кооперацію (англ. *Patent Cooperation Treaty, PCT*).

1. ЗМІШУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ І ГУМОВИХ СУМІШЕЙ

1.1. Класифікація змішувального обладнання

Багаторічна практика використання полімерів та еластомерів свідчить, що потреба споживача в матеріалах з певним комплексом властивостей задовольняються здебільшого не стільки розробкою нових високомолекулярних сполук, скільки створенням на основі вже існуючих полімерів нових матеріалів і насамперед полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) [1–6].

Численні ПКМ, крім одного або декількох полімерів, у своєму складі містять найрізноманітніші компоненти: наповнювачі, барвники, пігменти, пластифікатори, стабілізатори, антипірени, антистатики та інші добавки, які в більшості випадків необхідно якомога більш рівномірно розподілити в об'ємі одержуваної композиції перед її формуванням [7–10].

У зв'язку з цим стає зрозумілим значення процесу змішування, від якого залежать технологічні властивості перероблюваної композиції, а також експлуатаційні властивості виготовленої з неї продукції.

Незважаючи на існування різних способів змішування компонентів ПКМ [11], найбільшого поширення набув процес отримання композиції у в'язкотекучому стані. Це пояснюється насамперед тим, що змішування у в'язкотекучому стані (найчастіше змішування в розплаві) можна успішно реалізувати перед формуванням з приготованої композиції виробу, напівфабрикату або гранул для подальшого перероблення не лише у складі технологічних ліній, а й навіть безпосередньо в переробному обладнанні, зокрема екструзійному [5].

На рис. 1.1 наведено класифікацію найбільш поширеного обладнання для приготування та перероблення ПКМ у в'язкотекучому стані.

Лінії з виробництва безперервних та погонних виробів з ПКМ можна поділити на три групи: каландрові, екструзійні та комбіновані [5].

Каландрові лінії застосовуються для виробництва листових, рулонних і плівкових виробів та характеризуються високою продуктивністю (понад 10 млн м²/рік). Однак необхідність наявності у складі цих ліній спеціального змішувального та змішувально-підігрівального обладнання (двороторних змішувачів та вальців) значно їх ускладнює та збільшує їхню вартість. Крім того, лінії на базі каландрів можуть забезпечити досить обмежений асортимент продукції, тому їх зазвичай використовують лише в багатотоннажних виробництвах.

Екструзійні лінії, хоч і мають меншу, порівняно з каландровими, продуктивність, вирізняються безперечними перевагами: поєднанням багатьох функцій в одній машині (плавлення полімеру, змішування, дегазація,

формування ПКМ), можливістю швидкого переходу на випуск виробів інших типорозмірів (шляхом заміни екструзійної головки), універсальністю (можливістю отримання профільних, листових, рулонних та плівкових виробів).

Комбіновані лінії займають проміжне положення між каландровими та екструзійними.



Рис. 1.1. Класифікація змішувачів для отримання ПКМ у в'язкотекучому стані [6]

Як бачимо, переваги технологічних ліній на базі екструдерів безперечні, і завдання полягає головним чином у правильному виборі базової машини, визначенні послідовності подачі компонентів одержуваної композиції, а також агрегатного стану полімеру під час його контакту з наповнювачем.

Аналіз сучасних конструкторських рішень у технології безперервного формування продукції з ПКМ дає змогу виділити такі прийнятні варіанти реалізації процесу (рис. 1.2).

Екструзійна установка на базі одночерв'ячного екструдера.

Корпус екструдера має два рознесені по його довжині завантажувальні отвори (рис. 1.2, а). У перше подають гранули полімеру. Наповнювач крізь другий завантажувальний отвір корпусу дозується безпосередньо в підготовлений розплав полімеру. Далі здійснюється змішування розплаву полімеру з наповнювачем, а також дегазація одержуваної композиції (кількість зон дегазації зазвичай становить від однієї до трьох). Потім суміш остаточно гомогенізується та продавлюється крізь екструзійну головку.

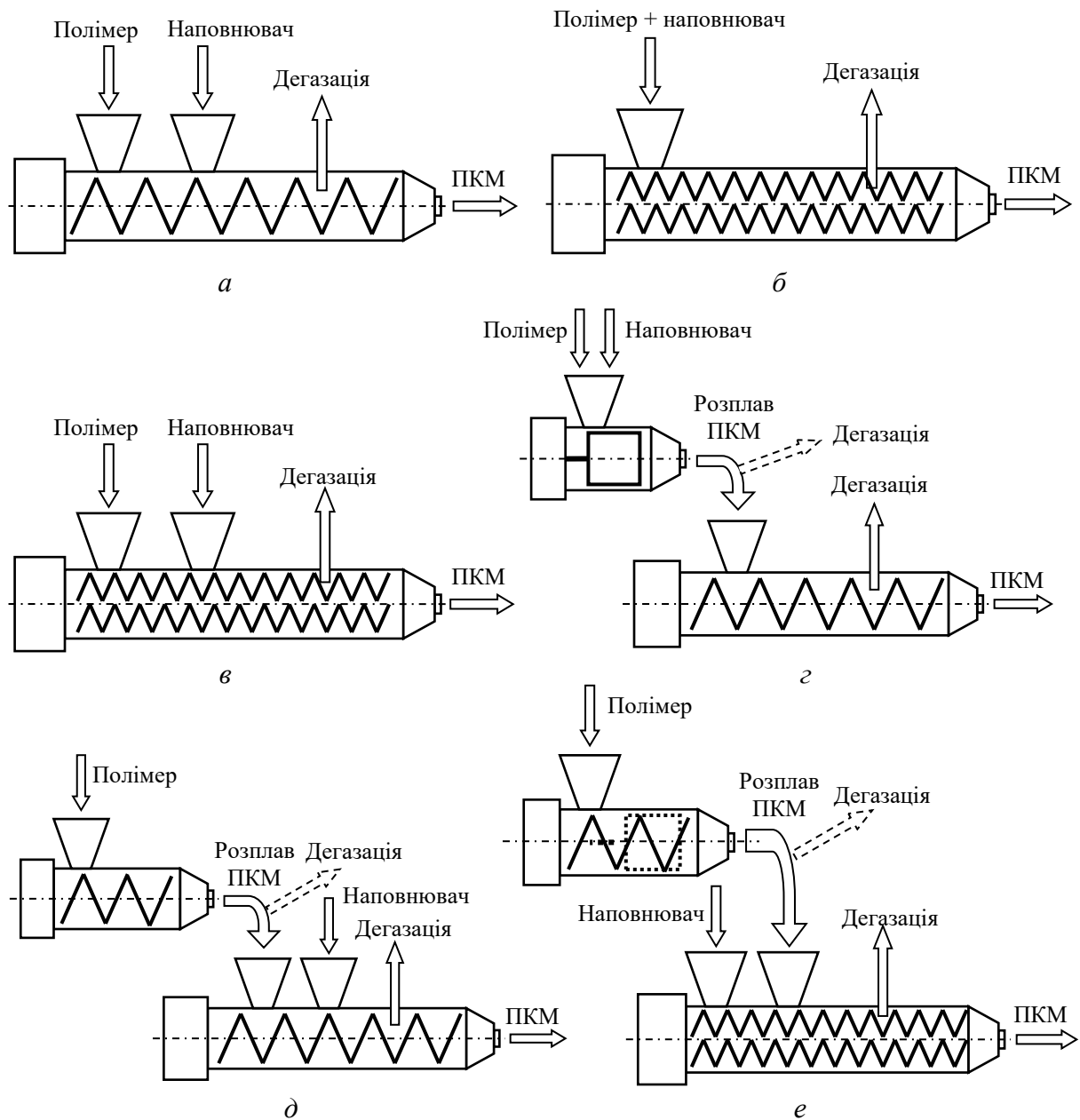


Рис. 1.2. Варіанти реалізації процесу екструзійного формування ПКМ [12]:
 а – з одночерв'ячним екструдером; б, в – із двочерв'ячним екструдером;
 г – з дисковим розплавником та двочерв'ячним екструдером;
 д – з одночерв'яним розплавником та одночерв'яним екструдером;
 е – з одночерв'яним (дисковим) розплавником та двочерв'ячним екструдером

Основна перевага установки – достатньо проста конструкція. Недоліки – відносно велика довжина черв'яка та необхідність використання додаткових змішувальних елементів [13].

Екструзійна установка на базі двочерв'ячного екструдера.

У цьому разі можливі два варіанти організації процесу.

1. Попередньо змішані частинки полімеру та наповнювача одночасно дозуються в завантажувальний отвір екструдера (рис. 1.2, б). Під час

проходження суміші вздовж екструдера відбувається плавлення полімеру, змішування розплаву полімеру з наповнювачем, дегазація ПКМ, його гомогенізація та продавлювання крізь екструзійну головку.

Основні переваги установки [14–20]: відносна простота конструкції установки (наявність одного екструдера), висока якість змішування, можливість використання негранульованої полімерної сировини. Недоліки: складність конструкції двочерв'ячного екструдера та уповільнений режим плавлення полімеру внаслідок одночасної подачі полімеру та наповнювача, що призводить до збільшення довжини черв'яків.

2. Полімер (у вигляді гранул або негранульований) і частинки наповнювача незалежно дозуються у два рознесені по довжині екструдера завантажувальні отвори (рис. 1.2, в). Отриманий розплав полімеру надходить в об'єм наповнювача, розподіляючись між його частинками. Під час проходження суміші вздовж екструдера відбувається змішування розплаву полімеру з наповнювачем, дегазація ПКМ, його гомогенізація та продавлювання крізь екструзійну головку.

Основні переваги установки: відносна простота конструкції (наявність одного екструдера), підвищена порівняно з першим варіантом інтенсивність плавлення полімеру, що сприяє деякому зменшенню довжини черв'яків, висока якість змішування, можливість використання негранульованої полімерної сировини. Недоліки – складність конструкції двочерв'ячного екструдера та необхідність використання дозатора наповнювача.

Каскадна екструзійна установка на базі дискового екструдера-розплавника-змішувача та одночерв'ячного екструдера.

Полімер і наповнювач незалежно дозуються в дисковий екструдер, після чого в'язкотекучий ПКМ надходить в одночерв'ячний екструдер, в якому відбувається остаточна гомогенізація ПКМ та його продавлювання крізь екструзійну голівку (рис. 1.2, г). Дегазація композиції здійснюється або між екструдерами каскаду, або в одночерв'ячному екструдері на ділянці між місцем введення в нього в'язкотекучого ПКМ та екструзійною головкою.

Основні переваги установки: компактність та простота першого ступеня каскаду, висока якість змішування в дисковому екструдері, відносна простота конструкції другого ступеня каскаду (одночерв'яковий екструдер). Недоліки: складність конструкції установки, обмежена продуктивність першого ступеня каскаду, висока якість змішування можлива лише за умови використання спеціальних змішувальних елементів в одночерв'ячному екструдері [13], зменшення інтенсивності плавлення полімеру в присутності наповнювача (як варіант реалізації цієї установки – можна відмовитися від роздільного дозування компонентів ПКМ, забезпечуючи дозування попередньо отриманої сипучої суміші компонентів у змішувачі періодичної дії, наприклад, типу п'яна бочка [21, 22]).

Каскадна екструзійна установка на базі одночерв'яного екструдера-розплавника та одночерв'яного екструдера.

Полімер дозуються в одночерв'яковий екструдер-розплавник першого ступеня каскаду. Підготовлений розплав полімеру надходить в екструдер другого ступеня каскаду, після чого в нього дозується наповнювач. У другому екструдері відбувається змішування ПКМ, його гомогенізація та продавлювання крізь екструзійну голівку (рис. 1.2, д). Дегазація композиції здійснюється або між екструдерами каскаду, або в одночерв'ячному екструдері на ділянці між місцем введення в нього наповнювача та екструзійною головкою.

Основна перевага установки – інтенсивне плавлення полімеру в одночерв'ячному екструдері-розплавнику. Недоліки – складність конструкції установки, висока якість змішування можлива лише за умови використання спеціальних змішувальних елементів в одночерв'ячному екструдері [5].

Каскадна екструзійна установка на базі черв'ячного або дискового екструдера-розплавника та двочерв'ячного екструдера (рис. 1.2, е).

Гранульований полімер надходить в екструдер-розплавник (одночерв'ячний або дисковий) і далі у вигляді розплаву подається в екструдер двочерв'ячний після місця подачі в нього наповнювача. При цьому розплав полімеру під тиском, що розвивається екструдером першого ступеня каскаду (екструдером-розплавником), надходить в об'єм наповнювача, ефективно розподіляючись між його частинками. Подальше спільне перероблення розплаву полімеру та наповнювача у двочерв'ячному екструдері сприяє отриманню високоякісного ПКМ.

Така реалізація технології істотно зменшує енергоємність процесу, оскільки остаточна підготовка (досушування та подрібнення) наповнювача може здійснюватися безпосередньо у двочерв'ячному екструдері на ділянці його руху до місця введення в екструдер розплаву полімеру. Крім того, теплота, отримана наповнювачем під час руху в екструдері, зменшує ступінь охолодження розплаву полімеру під час їх взаємного контакту [3]. Дегазація розплаву полімеру здійснюють між екструдерами, а наповнювача – крізь перший завантажувальний отвір двочерв'ячного екструдера, а одержуваного ПКМ – на ділянці між місцем введення у двочерв'ячний екструдер розплаву полімеру та екструзійною головкою.

Основні переваги установки: можливість незалежного температурно-швидкісного режиму обох ступенів каскаду (це для всіх установок каскадного типу, наведених на рис. 1.2, з–е), окрема стадія одержання розплаву полімеру дозволяє зменшити довжину двочерв'ячного екструдера, можливість відмови від додаткового обладнання для досушування наповнювача та полімеру, високоякісне змішування ПКМ у двочерв'ячному екструдері. Недолік – складність конструкції як самої установки, так і двочерв'ячного екструдера.

Аналіз зазначених схем конструктивної реалізації екструзійної технології переробки ПКМ свідчить, що найбільш доцільним є застосування схем з попереднім плавленням полімеру та подальшим введенням у підготовлений розплав наповнювача та інших компонентів ТпКМ. При цьому для виробництва виробів з ТпКМ з точки зору співвідношення «продуктивність – якість виробів – ціна» доцільним є використання екструзійних установок на базі одночерв'ячного екструдера, а для отримання продукції з підвищеними вимогами до якості – каскадних схем з двочерв'ячним екструдером [12].

1.2. Змішувальні елементи черв'ячних екструдерів

Одним з найбільш поширених видів технологічного обладнання для формування пластичних матеріалів, і зокрема полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), є одно- і двочерв'ячні екструдери [11, 16, 19, 23, 24].

Екструдери призначені для підготовки розплаву ПКМ і його формування у вигляді плівкового, рулонного, листового виробу або безперервного профілю різного поперечного перерізу [25–28]. Для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей одержуваної продукції до перероблюваного полімеру традиційно додають різні компоненти (наповнювачі, барвники, стабілізатори, антиоксиданти, пластифікатори та ін.), які необхідно рівномірно розподілити в об'ємі полімерної матриці [26–28].

Для усереднення параметрів багато- або однокомпонентного ПКМ у його об'ємі (насамперед температури, густини, концентрацій компонентів) насамперед і призначено процес змішування. При цьому в загальному випадку в екструдері реалізуються всі основні види процесу змішування (рис. 1.3): гомогенізувальне (дистрибутивне, розподільне), диспергувальне, активувальне й комбіноване (найчастіше гомогенізувально-диспергувальне) [5, 16, 19, 29].

Основним робочим органом черв'ячного екструдера є один або два черв'яки, встановлені в його корпусі (циліндрі) з можливістю обертання. Оскільки процес змішування ПКМ зазвичай забезпечують безпосередньо в екструдері в умовах в'язкотекучого стану перероблюваного матеріалу, то змішувальні елементи та пристрої розташовують переважно в зоні гомогенізації розплаву ПКМ, тобто в третій функціональній зоні класичного черв'ячного екструдера [5, 15, 19, 23, 30].

Ефективна в'язкість перероблюваних ПКМ зазвичай перевищує 10 кПа·с [31], тому процес змішування компонентів в об'ємі всього потоку ПКМ здійснюється вимушеною конвекцією й рідше – дифузією, оскільки час перебування елементарного об'єму ПКМ в екструдері незначний. Конвекційне перенесення компонентів ПКМ відбувається як під

безпосередньою дією рухомих робочих поверхонь змішувальних елементів і пристроїв (найчастіше динамічних і комбінованих змішувачів), так і під дією градієнта тиску, що генерується попередніми функціональними зонами екструдера (найчастіше статичних змішувачів).

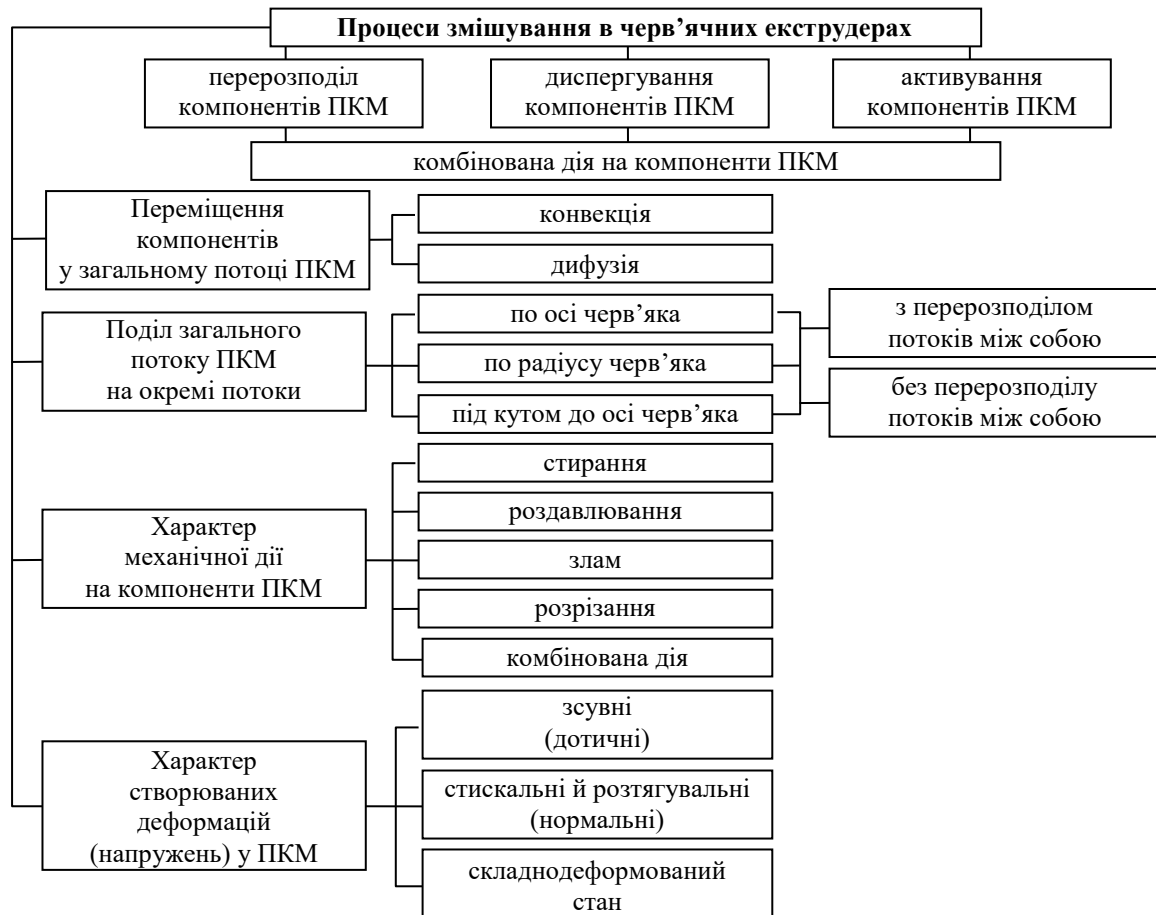


Рис. 1.3. Класифікація змішувальних ефектів в екструзійному обладнанні [13]

Більш ефективним є механізм змішування, заснований на одно- або багаторазовому розподілі загального потоку ПКМ на окремі струмені та їх подальшому злитті між собою. Утворювані струмені ПКМ рухаються в осьовому або радіальному (коловому) напрямку черв'яка, а також під кутом до його осі. Крім того, зазначені струмені можуть як перерозподілятися (зазвичай під час гомогенізувального змішування), так і не перерозподілятися (зазвичай під час диспергувального змішування) між собою.

У разі диспергувального змішування зменшення розмірів частинок компонентів ПКМ здійснюється за допомогою практично всіх відомих механізмів руйнування: стирання, роздавлювання, зламу, розрізання або їхньої спільної дії (див. рис. 1.3).

І, нарешті, процес змішування під час екструзії здійснюється переважно під дією зсувних деформацій, що приводять до виникнення в ПКМ дотичних напружень. Набагато рідше змішування відбувається під дією стискальних і

розтягувальних деформацій, що приводять до утворення нормальних напружень, або в умовах складнодеформованого стану ПКМ.

Розробниками екструзійного обладнання запропоновано різні підходи для забезпечення якісного змішування в черв'ячних екструдерах, проте в науковій і технічній літературі приділено недостатньо уваги класифікації розроблених змішувальних елементів і пристроїв.

Насамперед змішувальні елементи поділяються залежно від типу черв'ячних екструдерів: одно- чи двочерв'ячних (рис. 1.4).

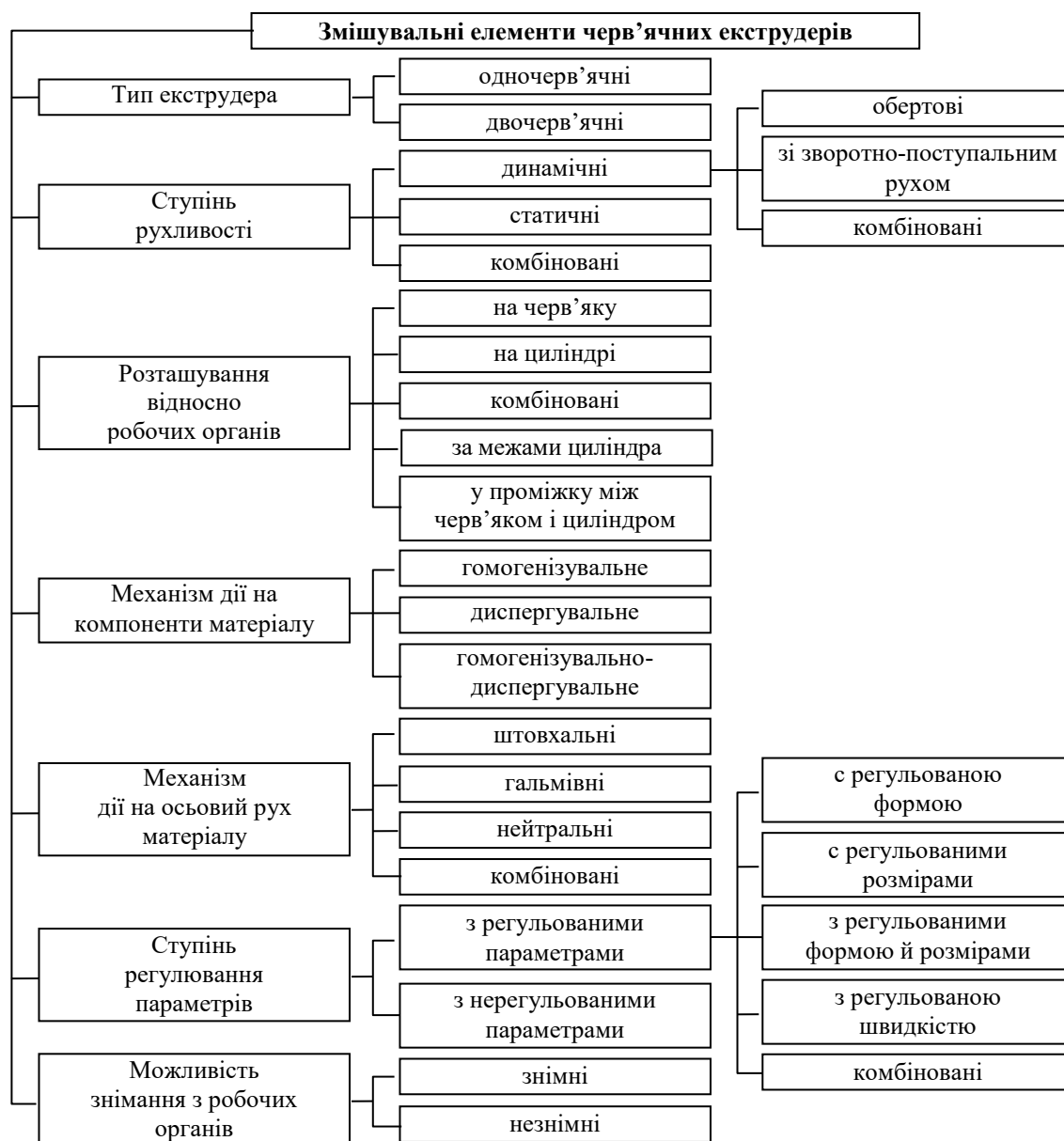


Рис. 1.4. Класифікація змішувальних елементів черв'ячних екструдерів

При цьому, незважаючи на здавалося б можливість використання зазначених елементів в обох типах екструдерів, у ряді випадків змішувальні елементи розробляються під певний тип черв'ячної машини (рис. 1.5).

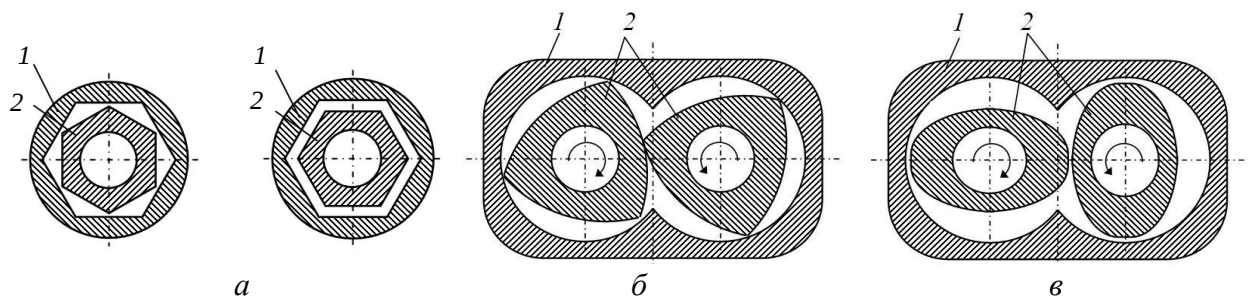


Рис. 1.5. Схема змішувальних кулачків одно- и двочерв'ячних екструдерів шестигранної (а), трикутної (б) та овальної (в) форми ([30], заявка DE102006009867A1: 1 – циліндр; 2 – кулачки

Залежно від наявності в змішувальних елементах рухомих поверхонь, що взаємодіють з перероблюваним ПКМ, їх поділяють на статичні, динамічні й комбіновані.

Статичні елементи не мають рухомих робочих поверхонь, а змішувальний ефект забезпечується передусім за рахунок багаторазового розподілу в'язкотекучого ПКМ на окремі потоки з подальшим їх злиттям (як з перерозподілом, так і без перерозподілу їх між собою). Такі елементи виконують у вигляді різноманітних решіток, сит, розсікачів, шайб тощо, крізь отвори та канали яких ПКМ рухається під впливом тиску, що генерується попередніми функціональними зонами екструдера (рис. 1.6).

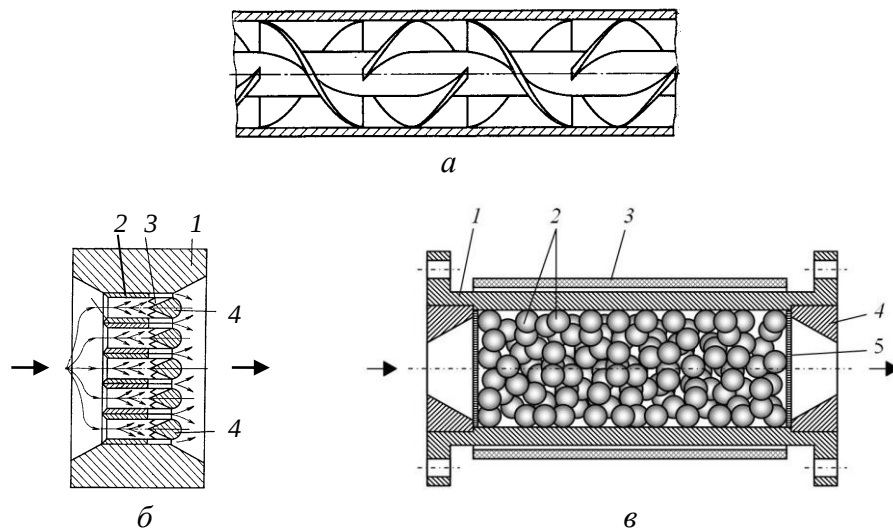


Рис. 1.6. Конструкції статичних змішувачів: а – у вигляді труби з переривчастим двозахідним шнеком [11]; б – згідно з а. с. SU1781049A1 (1 – корпус; 2 – трубка; 3 – прорізи; 4 – вставка); в – пат. № UA69843U (1 – корпус; 2 – насадкові тіла; 3 – котушка індуктивності; 4 – перехідник; 5 – перфорована перегородка)

У конструкції статичного змішувача згідно з пат. № UA69843U (див. рис. 1.6, в) порожнистий корпус виконано з немагнітного матеріалу й містить розміщені в ньому насадкові тіла, виготовлені з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі проведення процесу змішування, при

цьому із зовнішнього боку корпусу змонтовано котушку індуктивності. Перероблюваний ПКМ послідовно рухається крізь розташований на вході в корпус перехідник, а потім крізь отвори перфорованих перегородок і потрапляє до порожнини корпусу. Далі, проходячи між насадковими тілами, ПКМ багаторазово поділяється на окремі потоки, і нарешті, крізь перфоровану перегородку й перехідник на виході з корпусу видаляється за його межі.

При підключенні котушки індуктивності до джерела електричного струму елементи насадки внаслідок індукції нагріваються. За умови досягнення ними температури, що відповідає точці Кюрі матеріалу насадкових тіл, вони втрачають магнітні властивості й у результаті перестають нагріватися. За подальшого поступового охолодження матеріал насадкових тіл знову набуває магнітних властивостей, і вони знову починають нагріватися. Таким чином, без використання складної системи теплової автоматики підтримується постійна температура насадкових тіл, а отже й перероблюваного ПКМ.

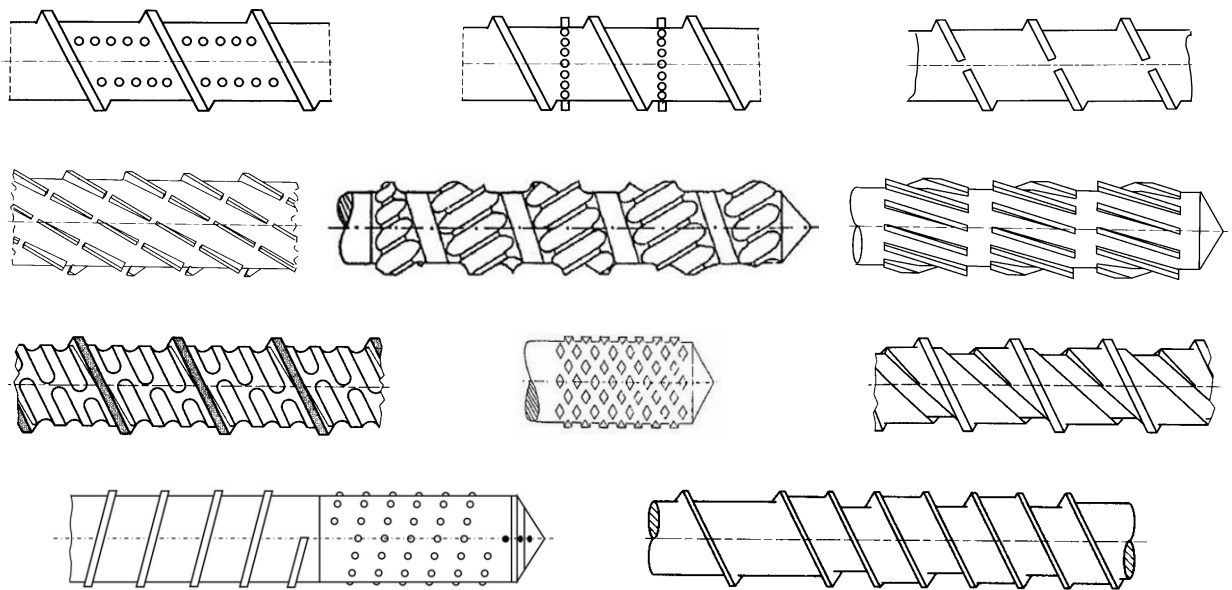
Безсумнівна перевага статичних змішувачів – відсутність рухомих елементів і досить проста експлуатація. У той самий час, вони мають деякі недоліки: значний опір, часом – невисокий змішувальний ефект, можливість утворення застійних зон і нерівномірність часу перебування елементарних об'ємів ПКМ у зоні змішування.

Найбільш поширеними є динамічні елементи, що виконуються з однією або декількома рухомими робочими поверхнями часто досить складної конфігурації. У цих пристроях процес змішування забезпечується передусім за рахунок зсувного впливу на перероблюваний ПКМ. Крім того, за допомогою динамічних елементів часто організуються досить ефективні з точки зору змішування зворотні потоки (у статичних елементах наявність зворотних потоків призводить до значного збільшення гідравлічного опору).

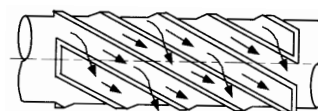
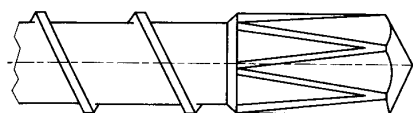
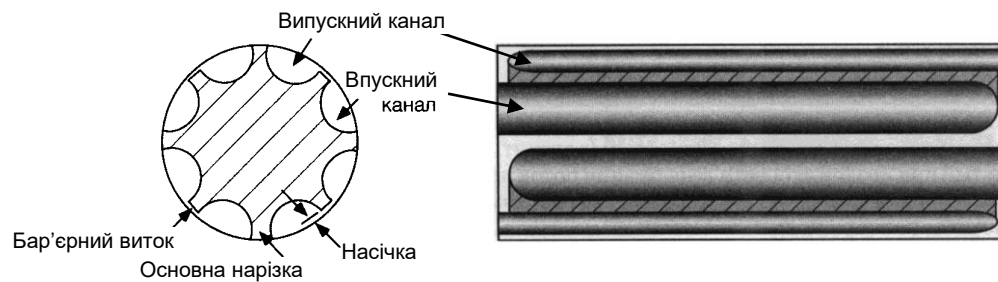
У динамічних елементах різноманітні виступи (штифти), виконані на черв'яку (рис. 1.7), можуть імітувати його дискретну нарізку: пряму (штовхальну), зворотну (гальмувальну) або нейтральну.

При цьому виконання зазначених штифтів знімними дає змогу досить просто змінювати їхні форму й розміри, а виконання їх у вигляді лопаток, що встановлюються в знімній гільзі черв'яка з можливістю повороту відносно поздовжньої осі й фіксації в потрібному положенні, дає змогу регулювати функцію утвореної дискретної нарізки (забезпечуючи штовхальну, гальмувальну або нейтральну функцію; пат. № UA53891U). Також запропоновано досить просту конструкцію штифтового черв'яка з можливістю одночасного регулювання висоти штифтів (пат. UA47082U).

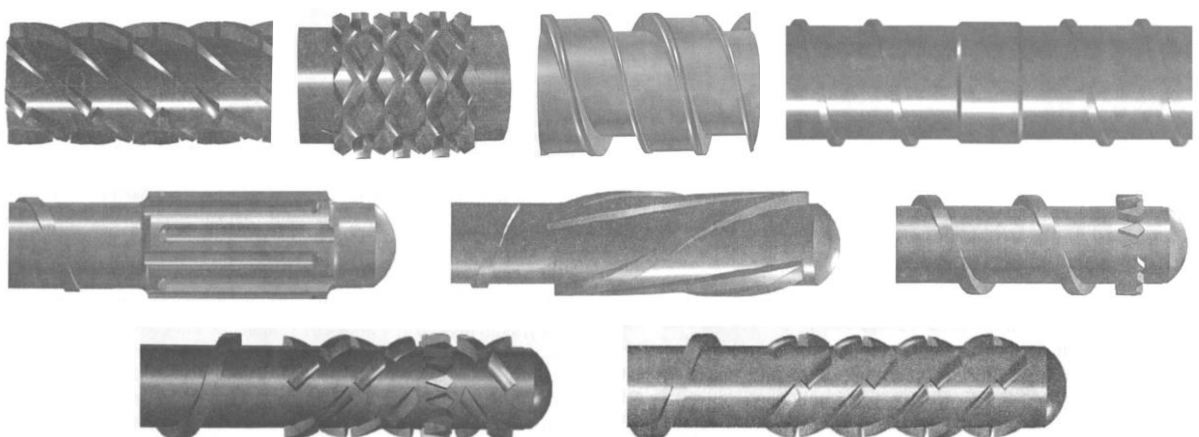
Під час перероблення різних ПКМ широкого поширення набули диспергувальні (диспергувально-гомогенізувальні) елементи, що мають два види витків нарізки: основний (штовхальний, очисний) і бар'єрний, діаметр якого менший за діаметр основного витка (див. рис. 1.7, б).



a



б



в

Рис. 1.7. Приклади деяких конструкцій динамічних елементів [26, 19, 24]:
a – гомогенізувальні елементи; *б* – диспергувальні (диспергувально-гомогенізувальні)
 елементи; *в* – об'ємний вигляд деяких конструкцій динамічних елементів черв'яка

Під час обертання такого елемента потік ПКМ у вигляді тонкого шару проходить між гребенем бар'єрного витка й стінкою циліндра екструдера і за допомогою сусіднього основного витка проштовхується в бік екструзійної головки. Під час проходження ПКМ над гребенем бар'єрного витка відбувається інтенсивне диспергування компонентів перероблюваного матеріалу.

Комбіновані змішувальні елементи мають переваги й недоліки як статичних, так і динамічних змішувачів. У цьому випадку динамічні елементи комбінованих змішувальних пристроїв часто виконуються з різними каналами: наскрізними або поверхневими (пат. № UA73358U; рис. 1.8, а).

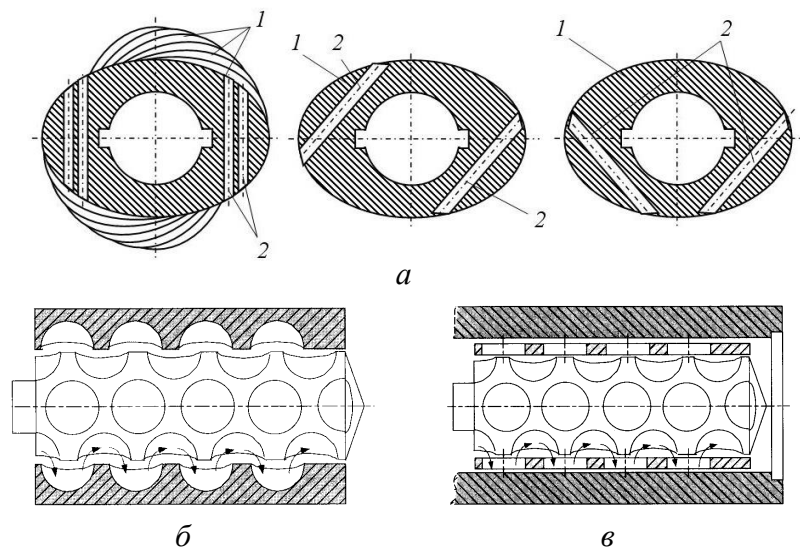


Рис. 1.8. Комбіновані змішувальні елементи (динамічно-статичні):
а – згідно з пат. № UA73358U (1 – змішувальні кулачки; 2 – наскрізні канали);
б – змішувач типу СТМ [19]; в – змішувач типу ТМР [19]

Часто також динамічні елементи комбінованих змішувальних пристроїв виконуються у вигляді конструктивної частини черв'яка, а статичні – конструктивної частини корпусу екструдера (рис. 1.8, б) [19]. На відміну від змішувача типу СТМ у змішувачі типу ТМР (рис. 1.8, в) [19] циліндр виконується без заглиблень, що спрощує його виготовлення, а їхню роль виконують наскрізні отвори, виконані у втулці, вільно розташованій між циліндром і черв'яком. Під дією перероблюваного ПКМ втулка починає обертатися; при цьому, внаслідок меншої, ніж у черв'яка швидкості обертання, здійснюється інтенсивне перемішування ПКМ.

Комбіновані елементи досить ефективні, проте вони складні у виготовленні та експлуатації.

За розташуванням відносно робочих органів змішувальні елементи поділяють на такі, які розташовуються на черв'яку, корпусі екструдера, одночасно на черв'яку й корпусі, поза черв'яком і корпусом (у проміжку між ними й закріплені, наприклад, на екструзійній головці), а також за межами

корпуса екструдера (наприклад, під час проходження ПКМ крізь виносний змішувальний елемент за допомогою розплавопроводу, наприклад, крізь змішувально-нагнітальний шестеренний насос).

Найбільш переважними елементами є такі, які не потребують внесення істотних змін у конструкцію базової машини. Ці елементи найчастіше встановлюються на одному чи обох черв'яках або виконуються як одне ціле з ними. Виконання змішувальних або змішувально-диспергувальних елементів за одне ціле з черв'яком доцільно в разі комплектування екструдером технологічної лінії стабільного виробництва, коли немає потреби в переході на інший перероблюваний ПКМ. І навпаки, виконання знімних, легко замінюваних елементів забезпечує значну гнучкість технологічного обладнання в разі частої зміни перероблюваного матеріалу, продуктивності або типорозміру одержуваної продукції.

Найбільш поширеними змішувальними елементами, що встановлюються на корпусі екструдера, є радіально розташовані в робочому каналі й такі, що проходять крізь кільцеві розриви в нарізці черв'яка радіальні штифти (так званий екструдер зі штифтовим циліндром; рис. 1.9) [16, 23]. Наприклад, у пристрої згідно із заявкою DE102006009867A1 вказані штифти виконано у вигляді лопаток, встановлених у корпусі з можливістю їх повороту відносно поздовжньої осі та фіксації в потрібному положенні. Таке виконання штифтів дає змогу регулювати ступінь впливу на перероблюваний ПКМ і час його перебування в зоні змішування [32].

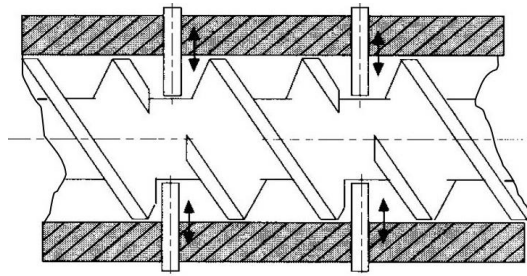


Рис. 1.9. Схема екструдера зі штифтовим циліндром

Аналогом попередньої конструкції можна вважати екструдер із змішувально-диспергувальними елементами у вигляді сукупності встановлених між черв'яком і циліндром тіл кочення, зокрема кульок (пат. № UA98920U; рис. 1.10).

Черв'ячний екструдер містить оснащений завантажувальним бункером 1 порожнистий корпус 2, розміщений в його порожнині з можливістю обертання черв'як 3, що утворює з порожниною корпуса робочий канал 4, при цьому кінцевий ділянку 5 черв'яка 3 виконано у вигляді круглого циліндра, а між зазначеною ділянкою 5 черв'яка 3 і корпусом 2 розміщено тіла обертання 6, розташовані в кільцевій проточці 7, виконаній на кінцевій ділянці 5 черв'яка 3.

Ділянка 5 черв'яка 3 може мати діаметр, рівний діаметру гребенів нарізки черв'яка 3 або трохи більше його (у цьому разі утворений дисково-циліндричний елемент на кінці черв'яка 3 істотно поліпшує диспергувально-змішувальну здатність екструдера).

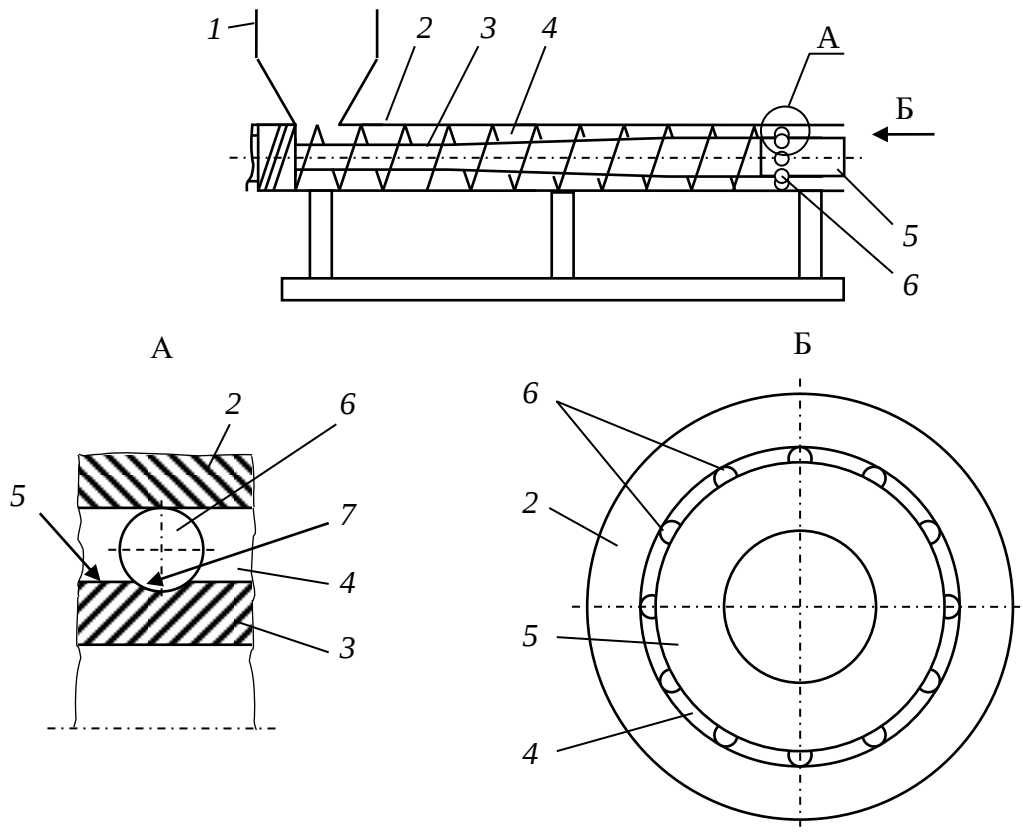


Рис. 1.10. Схема екструдера зі змішувальними кульками (пат. № UA98920U)

Матеріал, що підлягає переробленню, подають у завантажувальний бункер 1 порожнистого корпусу 2, де він захоплюється нарізкою черв'яка 3 і далі робочим каналом 4 транспортується в напрямку кінцевої ділянки 5 черв'яка 3. Під час обтікання розплавом тіл обертання 6 відбувається його гомогенізація, яка підвищує якість одержуваної продукції. Вказані тіла обертання 6 не тільки сприяють гомогенізації розплаву, але й фіксують черв'як 3 від прогину, а отже й стабільність кільцевої форми робочого каналу на виході з кінцевої ділянки 5 черв'яка 3, що забезпечує високу якість екструдату.

Подібне технічне рішення запропоноване й в пат. № UA119024U, у якому як змішувально-диспергувальні елементи використано поздовжні стрижні з циліндричними кінцевими ділянками, розміщеними в пазах гребеня сусідніх витків гвинтової нарізки черв'яка (рис. 1.11).

Черв'ячний екструдер містить порожнистий корпус 1, розміщений в його порожнині з можливістю обертання черв'як 2, який утворює з порожниною корпусу 1 робочий канал 3 щонайменше з однією ділянкою 4 з

розміщеними між черв'яком 2 і корпусом 1 обертовими елементами 5, при цьому кожен ділянку 4 розташовано в межах нарізки черв'яка 2, а обертові елементи 5 виконано поздовжніми з циліндричними кінцевими ділянками 6 і 7, розміщеними в пазах 8 гребенів 9 сусідніх витків нарізки черв'яка 2. Також середню частину обертових елементів 5 може бути виконано з поперечним перетином, відмінним від круглого, наприклад квадратним.

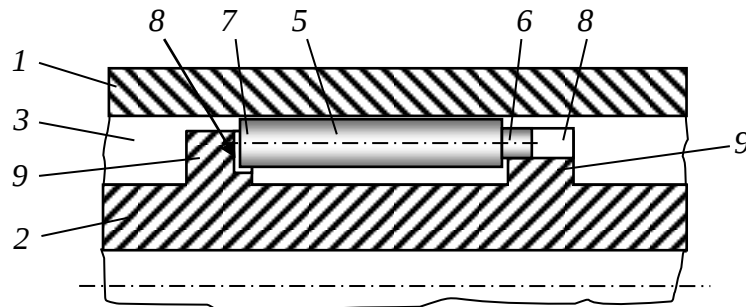


Рис. 1.11. Схема екструдера зі змішувальними стрижнями (пат. UA119024 U)

Матеріал, що підлягає переробленню, подають у завантажувальний бункер порожнистого корпусу 1, де він захоплюється нарізкою черв'яка 2 і далі робочим каналом 3 транспортується до наконечника черв'яка 2. Під час обтікання розплавом обертових елементів 5 завдяки підвищеним деформаціям зсуву відбувається його інтенсивне перемішування, а також диспергування компонентів перероблюваного матеріалу, що підвищує якість продукції. Зазначені обертові елементи 5 не тільки сприяють гомогенізації розплаву, але й фіксують черв'як 2 від прогину, а отже й забезпечують стабільність кільцевої форми робочого каналу на виході з черв'яка 2, що забезпечує рівнотовщинність одержуваних трубчастих виробів.

Комбінацію штифтового черв'яка екструдера та оснащеної дорном екструзійної головки запропоновано в пат. № UA119897U (рис. 1.12).

Одночерв'ячний екструдер містить порожнистий корпус 1 з оснащеною нерухомим дорном 2 екструзійною головкою 3, а також розміщений у порожнині корпусу 1 з можливістю обертання черв'як 4 зі змішувальною секцією 5 на його кінцевій ділянці. Змішувальну секцію 5 черв'яка 4 оснащено радіальними штифтами 6 і виконано порожнистою з можливістю розміщення в ній дорна 2 екструзійної головки 3.

При цьому дорн 2 у поперечному перерізі на ділянці розташування радіальних штифтів 6 виконано некруглої форми, наприклад, у вигляді еліпса, гіпоциклоїди, епіциклоїди або овала Кассіні, а штифти 6 розміщено в радіальних отворах 7 черв'яка 4 з можливістю зворотно-поступального руху.

Перероблюваний матеріал подають у завантажувальний бункер корпусу 1, де він захоплюється нарізкою черв'яка 4 і далі робочим каналом транспортується в напрямку його кінцевої ділянки. Під час обтікання розплавом рухомих штифтів 6 відбувається його інтенсивне перемішування, а також диспергування компонентів перероблюваного матеріалу.

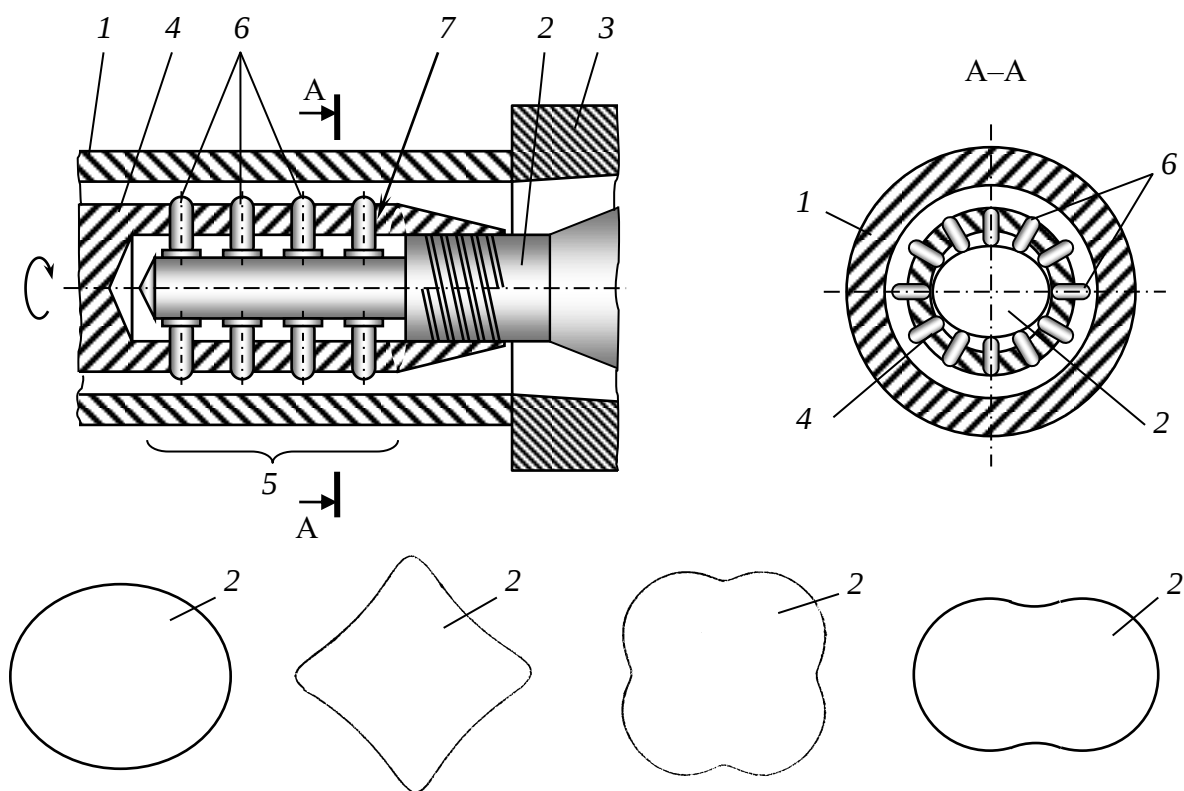


Рис. 1.12. Схема екструдера зі змішувальними стрижнями (пат. № UA119897U)

Зокрема під час обертання черв'яка 4 за рахунок контакту штифтів 6 з фігурною поверхнею нерухомого дорна 2 забезпечується їх зворотно-поступальний рух у робочому каналі екструдера (між черв'яком 4 і корпусом 1), а отже інтенсивна дія штифтів 6 на перероблюваний матеріал, що підвищує змішувально-диспергувальний ефект екструзії.

Нарешті, за рівнем регулювання параметрів змішувальні елементи поділяються на елементи з фіксованими параметрами, використовуваними в екструдерах з мало змінюваними режимами перероблення (наприклад, у великотоннажних виробництвах), і з регульованими параметрами. До регульованих параметрів насамперед належить геометричні (форма й розміри), а також швидкість рухомих поверхонь змішувальних елементів. Елементи, що є частиною черв'яка, зазвичай не дають змоги регулювати швидкість їх обертання. У той же час, ділянки корпусу, що обертаються або виконують зворотно-поступальний рух ([33], заявка № DE102006023835A1), дають змогу досить легко регулювати їхню швидкість. Також легко регулюється швидкість обертання дорнів різного типу дисипативних (зсувних) екструзійних головок (рис. 1.13) [33], істотним недоліком яких є складність їх виготовлення та експлуатації [34].

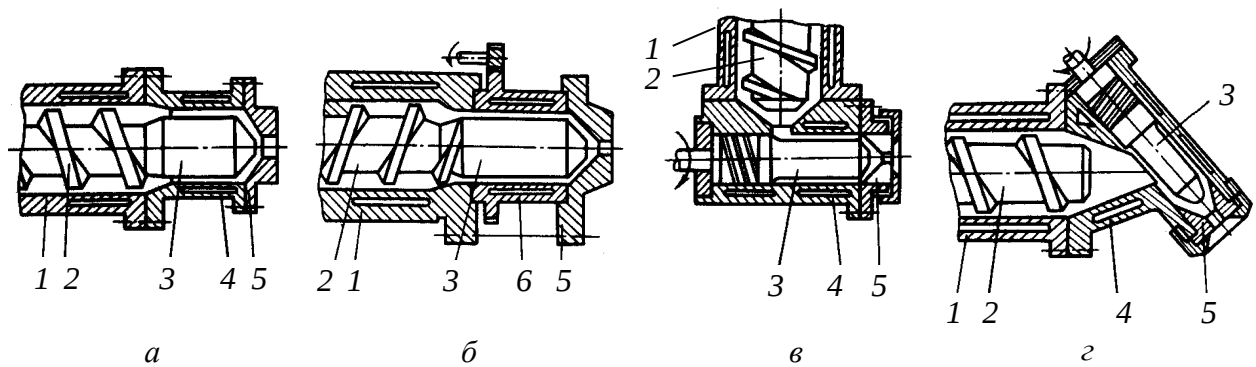


Рис. 1.13. Схеми змішувальних елементів без регулювання (а) і з регулюванням (б–г) відносної швидкості обертання їхніх робочих поверхонь [33]: 1 – циліндр; 2 – черв'як; 3 – дорн; 4 – корпус головки; 5 – формувальний інструмент; 6 – обертова втулка

Потрібно зазначити, що ефективне використання існуючих або розробка нових змішувальних елементів черв'ячних екструдерів передбачає проведення відповідних ґрунтовних експериментальних або теоретичних досліджень. Це пов'язано з тим, що в разі використанні певного елемента й переході на перероблення іншого ПКМ (у тому числі вторинного, властивості якого можуть істотно відрізнятися від властивостей первинного матеріалу [5, 35]) або навіть зміни режиму перероблення одного й того самого ПКМ параметри процесу екструзії можуть зазнавати істотних небажаних змін і призвести до зниження якості одержуваної продукції.

1.3. Роторні змішувачі закритого типу для пластичних мас і гумових сумішей

Основним видом обладнання для великотоннажного приготування пластичних мас і гумових сумішей, що входить до складу технологічних ліній для виробництва такої масової продукції як лінолеум, транспортні стрічки, пневматичні та масивні шини, різні гумотехнічні вироби, є роторні змішувачі закритого типу. Конструктивною особливістю більшості роторних змішувачів є закрыта змішувальна камера з двома обертовими в протилежних напрямках фігурними роторами, об'єм яких досягає 60 % об'єму закритої змішувальної камери [5, 15, 18, 36–39].

Перші «життєздатні» роторні змішувачі були розроблені англійським інженером Ф. Х. Бенбері (Fernley Hore Banbury; 1881–1963). Відмінність запатентованого в 1916 році класичного змішувача Бенбері полягало в наявності на роторах похилих лопатей, що забезпечують змішування й диспергування компонентів суміші в коловому та осьовому напрямках роторів. Також було використано примусову подачу каучуку та інших компонентів суміші в змішувальну камеру при обертанні роторів (пат. № US1200070A, GB119241A, GB119242A, GB306371A, FR520335A, FR520337A, FR702827A та FR702828A).

Згодом роторні змішувачі Бенбері, що стали класичними, постійно вдосконалювалися. А оскільки продуктивність закритих змішувачів, а також якість одержуваних у них композицій значною мірою залежать від типорозміру робочої частини роторів [38], то основні зусилля проектувальників були спрямовані на вдосконалення саме роторів змішувачів.

Аналіз конструктивного виконання роторних змішувачів дає змогу запропонувати їх укрупнену класифікацію (рис. 1.14).

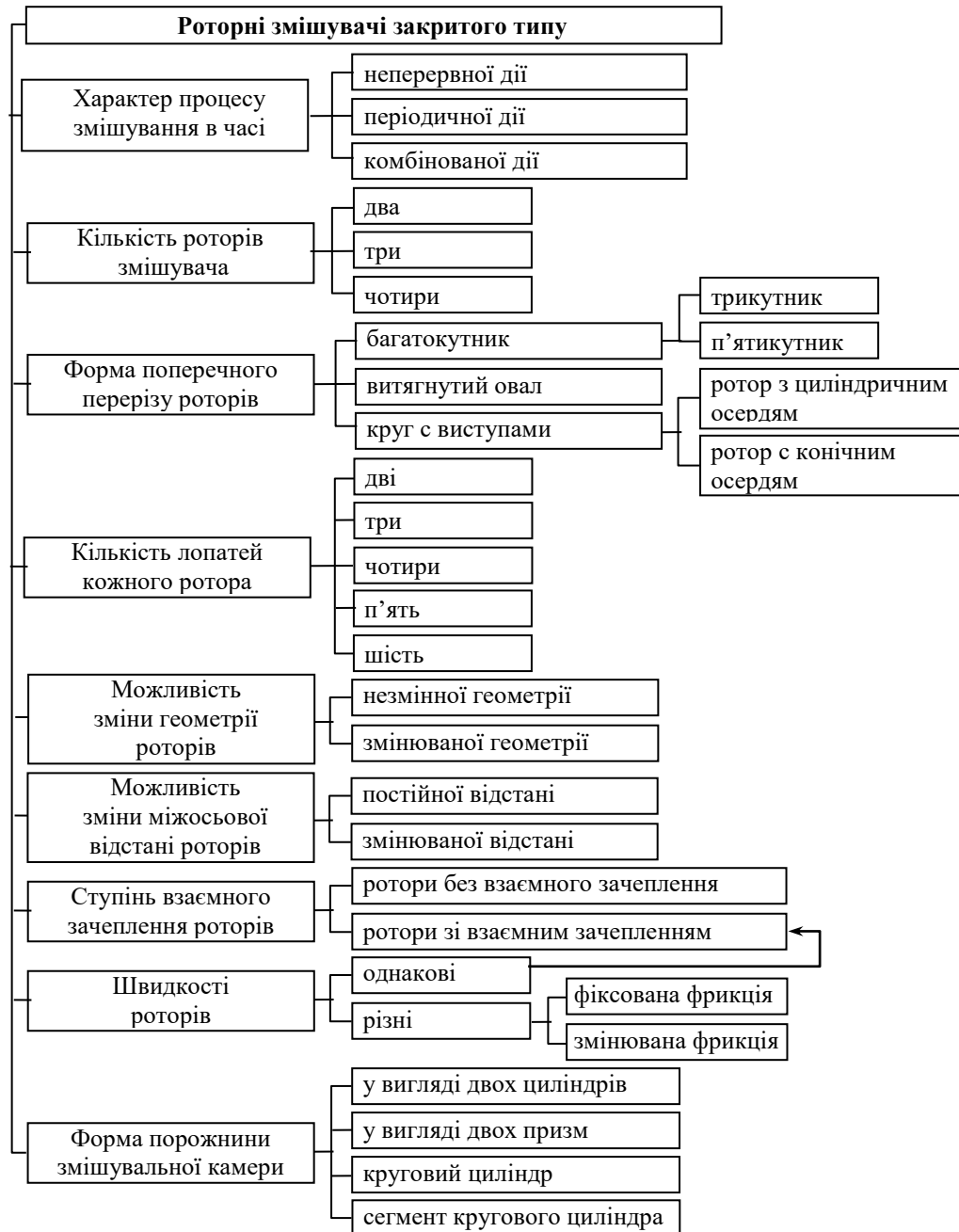


Рис. 1.14. Класифікація роторних змішувачів закритого типу

За характером процесу змішування в часі розрізняють змішувачі періодичної (циклічної), безперервної та комбінованої дії.

З часу створення класичних змішувачів Бенбері роторні змішувачі закритого типу зазвичай є змішувачами періодичного дії. Незважаючи на меншу, порівняно зі змішувачами безперервної дії, продуктивність, змішувачі періодичної дії характеризуються ширшими експлуатаційними можливостями.

На початку 1960-х років фірмою Фаррел (Farrel Co., USA) був розроблений «безперервний» варіант змішувача Бенбері – «Farrel Continuous Mixer» («FCM»), тобто «змішувач безперервної дії Фаррела» (пат. № US3154808A та GB1039758A, заявки № DE1288294B і CA806044A (рис. 1.15). FCM є змішувачем з двома зустрічно обертовими з однаковою швидкістю фігурними роторами, оснащеними на вхідній ділянці транспортувальними шнеками. Проте, незважаючи на очевидні переваги зазначеного змішувача, він так і не зміг повноцінно замінити традиційні змішувачі Бенбері.

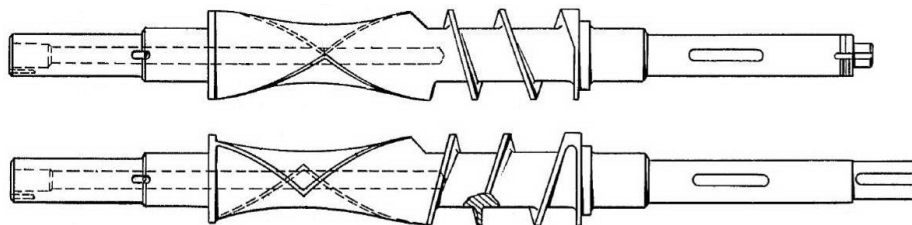


Рис. 1.15. Ротори змішувача FCM згідно з пат. № US3154808A

Змішувачі безперервної дії для живлення черв'ячного екструдера (пат. № GB1304604A, GB1422264A та JPS59147629A).

Транспортувальні шнеки роторів змішувача безперервної дії розташовано в незалежних камерах, що сполучаються між собою лише в зоні змішування (заявка № DE2513656A1).

Змішувач для безперервного двостадійного змішування з двома паралельними роторами, на кожному з яких виконано дві незалежні змішувальні зони, а також випускні отвори між ними та після другої змішувальної зони (пат. № JP2001129823A та JPH058221A). Перевага змішувача – можливість додавання компонентів суміші перед другою змішувальною зоною.

Кожен ротор змішувача безперервної дії містить кілька змішувальних ділянок з гвинтовими лопатями, при цьому зазначені ділянки роторів зміщено вздовж осі змішувача на половину кроку (пат. № JPS55137034A).

На вихідній ділянці змішувача безперервної дії між роторами встановлено рухому у вертикальному напрямку пластину, зміною положення якої регулюють ступінь переходу суміші між півкамерами змішувальної камери, а отже й ступінь змішування (пат. № JPS61266206A).

Змішувач безперервної дії містить два конічні ротори, кожен з яких має послідовно розташовані транспортувальний шнек і змішувальну зону з гвинтовими лопатями (пат. № CN102225317A).

Слід відрізняти роторні змішувачі безперервної дії від двочерв'яних екструдерів з різноспрямованим обертанням черв'яків, оснащених різноманітними змішувальними елементами [19], переважно набором кулачків різної форми, що імітують гвинтову нарізку (пат. № US3122356A, US3195868A, US3198491A, DE1214386B, DE2307717A1, RU2050273C1, JPH07164433A та JPH10109309A, заявка № EP1600276A1). У роторних змішувачах довжина робочої частини роторів зазвичай не перевищує двох її діаметрів, а довжина черв'яків двочерв'яних екструдерів зазвичай становить не менше за десять діаметрів кожного з черв'яків [36].

Ротор змішувача комбінованої дії містить циліндричне осердя з гвинтовими лопатями, довжина яких менша за довжину робочої частини ротора (заявка № DE19949415A1). Змішувач може працювати періодично (живлення змішувача здійснюється крізь завантажувальні дверцята) або безперервно (живлення змішувача здійснюється за допомогою черв'ячного екструдера, що здійснює попереднє змішування компонентів композиції).

За кількістю роторів розрізняють змішувачі з двома, трьома та чотирма роторами.

Більшість змішувачів мають два ротори, що обертаються в протилежних напрямках, хоча розроблено змішувачі з роторами, що обертаються в одному напрямку.

Кожен ротор змішувача з односпрямованим обертанням роторів складається з двох однакових і трохи скручених по довжині частин сочевицеподібного поперечного перерізу, при цьому обидві частини в місці їх сполучення повернені один відносно одного на 90° (пат. № US3490750A; рис. 1.16).

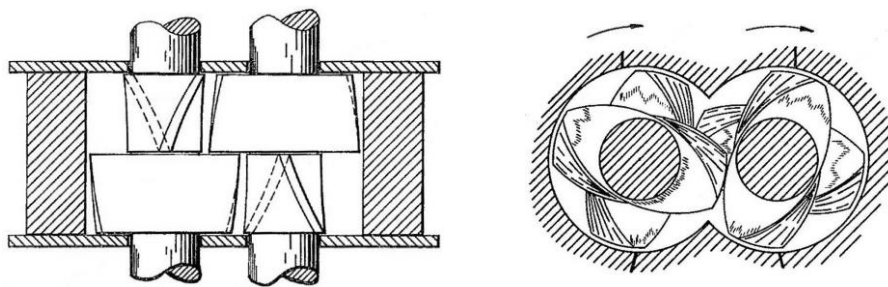


Рис. 1.16. Змішувач з роторами, що обертаються в одному напрямку (пат. № US3490750A)

Змішувачі безперервної дії з трьома циліндричними (пат. № CN102225315A) і конічними (пат. № CN102228817A) роторами, розташованими в горизонтальній площині. При цьому кожен ротор містить послідовно розташовані гвинтову транспортувальну нарізку та змішувальну зону різного конструктивного виконання.

Аналогічні змішувачі з циліндричними (пат. № CN102225316A та CN202146733U) і конічними (пат. № CN102228818A) роторами,

розташованими у вершинах правильного трикутника, спрямованого вершиною донизу (рис. 1.17).

Також розроблено змішувачі з чотирма роторами й порожниною між ними (пат. № CN206170388U), а також з центральним нерухомим тілом між роторами для підвищення ефективності диспергування (пат. № UA34962U).

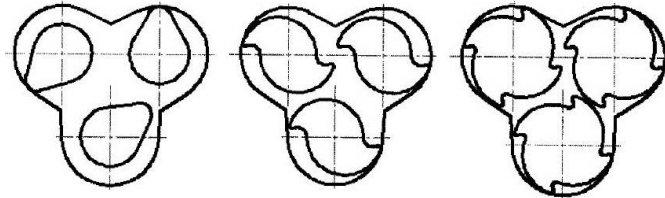


Рис. 1.17. Поперечний переріз камери змішувача згідно з пат. № CN202146733U

За формою поперечного перерізу роторів розрізняють змішувачі з роторами, які в поперечному перерізі мають форму овала, криволінійних трикутника та п'ятикутника, а також кола з виступами.

Овальний ротор (аналогічний роторам змішувача Бенбері) містить дві гвинтові лопаті з протилежними кутами підйому гвинтової лінії: довгою – 25–40° і короткою – 35–55° (пат. № US4714350A). Ротори обертаються з однаковими або різними за величиною швидкостями.

Агрегати, що складаються з двох розташованих один над одним змішувачів з овальними роторами, призначені для двостадійного приготування гумових сумішей (заявки № GB2201680A, EP0277558B1 та US2018290337A1).

Агрегати, що складаються з роторного змішувача й розташованих під ним вальців (а. с. № SU515643A1 і SU651967A2). Для унеможливлення утворення застійної зони на вході в міжвалковий проміжок піз час роботи роторного змішувача валки обертаються в напрямку, протилежному напрямку обертання роторів.

Змішувач з двома парами овальних роторів, розміщених у розташованих одна над одною змішувальних камерах, сполучених між собою каналом, що перекивається поворотними заслінками (пат. № CN109129967A).

Аналогічний змішувач з відкритим каналом між змішувальними камерами наведено в пат. № CN209022273U.

Ротор з поперечним перерізом у вигляді криволінійного трикутника з увігнутими сторонами (тригранний ротор) [36]. Такий ротор утворено циліндричним осердям і трьома V-подібними лопатями, симетричними відносно центральної діаметральної площини робочої частини ротора.

Кожен ротори змішувача має п'ять прямолінійних лопатей, які в поперечному перерізі утворюють правильний п'ятикутник з увігнутими сторонами (заявка № GB2191713A). Недолік змішувача – низька ефективність змішування в осьовому напрямку роторів.

Ротор містить циліндричне осердя з виконаними на ньому гвинтовими лопатями, довжина яких дорівнює довжині робочої частини ротора або менша за неї (пат. № GB431012A). Поперечний переріз ротора – коло з виступами.

За кількістю лопатей кожного ротора розрізняють змішувачі з роторами, що мають по дві, три, чотири, п'ять і шість лопатей.

Ротор з двома лопатями: довгою й короткою, закрученими вздовж осі ротора у протилежних напрямках (а. с. № SU670449A1 і SU979150A1). Навпроти довгої лопаті одного ротора розташовано коротку лопать іншого.

Змішувач з двома дволопатевими роторами різного діаметра – більшим у тихохідного ротора й меншим у швидкохідного, при цьому співвідношення діаметрів роторів обернено пропорційно співвідношенню їхніх кутових швидкостей (а. с. № SU887238A1). Забезпечуються майже однакові зсувні деформації в кожній з півкамер за умови ефективного перерозподілення композиції між ними. Недолік змішувача – низька технологічність, обумовлена різним діаметром як роторів, так і півкамер.

Дволопатевий ротор з довгою й короткою лопатями, виконаними у протилежних торців робочої частини ротора, що частково перекривають один одного в середній частині ротора й мають протилежні кути закрутки (пат. № US4456381A).

Ротор з двома безперервними по довжині робочої частини гвинтовими лопатями, що мають опуклу лобову та увігнуту тильну поверхні (пат. № JPH05278026A; рис. 1.18).

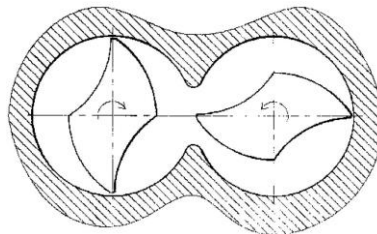


Рис. 1.18. Поперечний переріз камери змішувача згідно з пат. № JPH05278026A

Аналогічну форму мають лопаті трилопатевого (пат. № JPS6347107A) та чотирилопатевого (пат. № GB1187178A) роторів.

Ротор мінімум з трьома V-подібними лопатями, виконаними по всій довжині робочої частини ротора з однаковим кутовим кроком у коловому напрямку, при цьому плечі кожної лопаті мають різну довжину (вершини лопатей зміщено в осьовому напрямку ротора (пат. US4871259A)).

Коротке плече кожної лопаті аналогічного ротора утворює проміжок між її гребенем і стінкою змішувальної камери більше проміжку між гребенем довгого плеча лопаті й стінкою камери змішувача (пат. № US4914635A). У результаті композиція в коловому напрямку рухається переважно між гребенями коротких плечей лопатей і стінкою камери, а в осьовому – уздовж довгих плечей лопатей, забезпечуючи інтенсивну циркуляцію композиції.

Робоча частина ротора містить три лопаті: дві короткі, виконані по краях робочої частини ротора й закручені вздовж її осі в протилежних напрямках, а також довгу лопать, розташовану за ними в центральній частині робочої частини ротора (пат. № RU2477683C1). Конструкція ротора забезпечує високу диспергувальну здатність змішувача.

Робоча частина ротора містить чотири лопаті: дві довгі й дві короткі, при цьому кожна з коротких лопатей розміщено позаду відповідної довгої лопаті. Довгі лопаті по довжині закручені в протилежних напрямках, що забезпечує переміщення перемішуваної композиції до центру робочої частини ротора (пат. № RU2472616C1).

Ротор містить чотири лопаті – розташовані біля різних торців робочої частини ротора дві довгі та дві короткі (пат. № RU2672898C1). Довгі лопаті закручені в напрямку, протилежному закрутці коротких лопатей, а навпроти довгих лопатей одного ротора розташовані короткі лопаті іншого ротора. Конструкції цього й попереднього роторів запобігають локальному перегріву композиції, що спричинюється енергією дисипації.

Чотирьохлопатеви́й ротор з виконаними по краях його робочої частини парами односпрямованих довгих і коротких лопатей, при цьому довгі й короткі лопаті мають протилежні кути закрутки (пат. № US4284358A).

Ротор з двома парами гвинтових лопатей, які розташовано біля торців робочої частини ротора й частково перекривають одна одну (заявка № US2006/098527A1). Лопаті виконано з двох частин з різним кутом підйому гвинтової лінії.

Ротор з трьома лопатями постійних кутів підйому гвинтової лінії та четвертої лопаті – змінного кута (пат. № JP2006218691A та RU2472616C1).

Ротори з чотирма гвинтовими лопатями – розташованими біля різних торців робочої частини ротора парами довгих і коротких лопатей (пат. № US6402360B1). Коротка й довга лопаті кожної пари розташовані під прямим кутом одна до одної, при цьому кут підйому короткої лопаті не менше 60°, а між зазначеними лопатями утворено проміжок для проходу суміші.

Ротори з чотирма гвинтовими лопатями – розташованими у різних торців робочої частини ротора парами довгих і коротких лопатей без їх взаємного перекриття (пат. № US4893936A, заявки № EP0246044A1 та EP0340888A1). Ротори змішувача обертаються з однаковою швидкістю.

Аналогічні ротори, але з трьома або чотирма гвинтовими лопатами – двома парами довгих і коротких лопатей (пат. № US4744668A). Зазначені пари лопатей виконані у різних торців робочої частини ротора, при цьому пари розташовані послідовно одна за одною або одна «всередині» іншої.

Ротори з чотирма гвинтовими лопатями – парою діаметрально розташованих біля одного краю довгих лопатей і парою діаметрально розташованих біля іншого краю коротких лопатей, при цьому в місці

стикування довгих і коротких лопатей у діаметральній площині утворюються уступи (пат. № US3230581A, GB1028358A, заявка № SK160399A3).

Аналогічні ротори утворюють збільшений, порівняно з традиційними роторними змішувачами, проміжок між гребенем ротора й стінкою змішувальної камери, що дає змогу збільшувати колову швидкість роторів і збільшити продуктивність до 70 % (пат. № US4718771A).

Змішувач з роторами, що мають конічні осердя з двома гвинтовими виступами, що утворюють у поперечному перерізі симетричний овал зі зрізаними вершинами (заявка № DE1679879B1). Основи осердь роторів різного діаметра розташовані навпроти одна одної, що забезпечує рух суміші не тільки в коловому напрямку, але й вздовж осей роторів.

Змішувач з роторами, що мають конічне осердя та дві пари довгих і коротких гвинтових лопатей (а. с. № SU713685A1).

Змішувач з роторами, що мають циліндричне осердя з двома парами закручених в одному напрямку лопатей: довгою й короткою (у поперечному перерізі ротори мають форму кола з виступами; пат. № US4234259A, заявка № DE2836940A1). Пари лопатей розташовані й закручені в протилежних напрямках, при цьому довгі лопаті виконані в середній частині ротора, а кожна з коротких лопатей – біля його торця й розташована за відповідною довгою лопаттю. Виконання лопатей завдовжки менше половини довжини робочої частини ротора з кутом підйому менше 40° поліпшує циркуляцію суміші й підвищує її температурну однорідність.

Змішувач з роторами аналогічної форми, але двома довгими лопатями, розташованими з країв робочої частини ротора й закрученими в протилежних напрямках, а також двома короткими лопатями, розташованими в центральній частині робочої частини ротора й закрученими в напрямку, протилежному відповідним довгим лопатям (пат. № DE738787C).

Кожен ротор змішувача безперервної дії містить змішувальну зону з шістьма гвинтовими лопатями (заявка № DE2513656A1).

Ротор з шістьма (а реально з дванадцятьма) лопатями, кожен з яких розділено на довгу й коротку частини (пат. № CN103056978A та CN203092810U).

В аналогічному змішувачі кожна з чотирьох лопатей має розрив, тому реально кожен ротор має вісім коротких лопатей (пат. № JPH068235A).

Дослідження та промислова експлуатація змішувачів доводять, що збільшення кількості лопатей ротора підвищує продуктивність, поліпшує якість одержуваної суміші та знижує питомі витрати енергії [38].

Для збільшення диспергувальної поверхні роторів їхні гребені виконують з поперечними пазами (пат. № JP2005144703A, а. с. № SU1109317A1).

За можливістю зміни геометрії роторів розрізняють змішувачі з роторами постійної й змінної геометрії.

Ротор змінної геометрії містить рухоми секцію на одній з лопатей для зміни проміжку між зазначеною секцією та стінкою змішувальної камери, а отже й диспергувальної здатності змішувача (а. с. № SU958121A1). Недолік конструкції – складність і низька надійність змішувача.

За можливістю зміни міжосьової відстані роторів розрізняють змішувачі з постійною й змінною міжосьовою відстанню роторів.

Переважну більшість змішувачів виконують з фіксованою міжосьовою відстанню роторів. Однак розроблені конструкції, що дають змогу змінювати міжосьову відстань роторів, навіть у процесі роботи змішувача (пат. № US4775240A). Для цього підшипники роторів встановлюють в ексцентричних втулках, що закріплюються з можливістю їх повороту й фіксації в положенні, що визначає потрібну міжосьову відстань роторів. При цьому можна частково компенсувати зношування робочих органів змішувача.

Подібні рішення запропоновано в а. с. № SU670449A1 і SU979150A1.

За ступенем взаємного зачеплення роторів розрізняють змішувачі з роторами без взаємного зачеплення, а також із взаємним зачепленням.

Класичні змішувачі типу Бенбері належать до змішувачів з роторами без взаємного зачеплення й забезпечують можливість обертання роторів з різними швидкостями, у тому числі зі змінною фрикцією.

Змішувачі з роторами, що обертаються з однаковими швидкостями й перебувають у взаємному зачепленні за відсутності контакту поверхонь роторів між собою (пат. № JPS59124804A, заявки № EP0170397A1 та EP2626180A1).

За швидкістю роторів розрізняють змішувачі з роторами, що обертаються з однаковими й різними швидкостями. При цьому в останніх змішувачах фрикція (співвідношення швидкостей роторів) може бути фіксованою й змінною.

Змішувач з циліндричними роторами, що обертаються з однаковою швидкістю та мають щонайменше один виступ, виконаний у поперечному перерізі роторів у вигляді сектора кола (а. с. № SU409886A1). При цьому виступ одного ротора розташовано проти циліндричної ділянки іншого ротора.

У вдосконаленому змішувачі аналогічний виступ розташовано з ексцентриситетом відносно до поздовжньої осі ротора. При цьому між виступами роторів і змішувальною камерою утворюються серповидні проміжки, що підвищують змішувально-диспергувальний ефект змішувача (а. с. № SU611787A1).

Змішувач з роторами, що обертаються з однаковою швидкістю та мають обернені назустріч один одному циліндричні виступи, а також протилежно розташовані змішувальні лопатки (пат. № SU652873A1).

В удосконаленому змішувачі на циліндричних виступах роторів у коловому напрямку виконано кільцеві канавки (пат. № SU975435A1). В утворюваному між виступами роторів хвилястому проміжку реалізується змінна фрикція, що підвищує якість змішування.

В удосконаленому змішувачі канавки виконано не під прямим кутом до поздовжніх осей роторів, а під гострим кутом (пат. № UA108616U).

Ще більша ефективність досягається в змішувачі, в якому довжина дуг циліндричних виступів різна, а ротори кінематично зв'язані між собою за допомогою зубчастої пари з ексцентрично встановленими круглими зубчастими колесами (а. с. № SU1047722A1).

Змішувач періодичної або безперервної дії з роторами, що обертаються з однаковими швидкостями, при цьому робочу частину кожного з роторів виконано у вигляді вигнутого по довжині циліндра (заявка № GB2173414A; рис. 1.19). У даному поперечному перерізі забезпечується змінна фрикція в проміжку між роторами, а також у проміжках між роторами та стінкою змішувальної камери. Перевага змішувача – висока технологічність і ремонтпридатність.

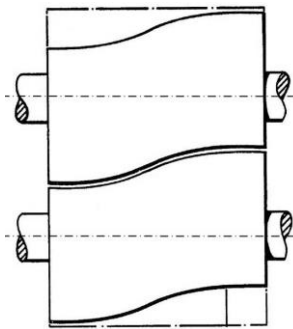


Рис. 1.19. Ротори змішувача згідно із заявкою № GB2173414A

Більш технологічними є ротори, виконані у вигляді еквідистантно розташованих косих кругових циліндрів (а. с. № SU1692849A1), а також V-подібні в плані ротори круглого поперечного перерізу (пат. № UA130478U). Незважаючи на високу ефективність змішування, зазначені змішувачі через динамічну невірноваженість роторів мають невисоку надійність,

Загальний недолік більшості змішувачів з роторами, що обертаються з однаковою швидкістю, – низька змішувально-диспергувальна здатність у проміжку між роторами, тому змішувачі з незалежним регулюванням швидкостей роторів забезпечують не тільки кращу якість сумішей, але й характеризуються більш широкими технологічними можливостями. (US5782560A).

За формою порожнини змішувальної камери розрізняють змішувачі зі змішувальною камерою у вигляді двох паралельних циліндрів або правильних призм, що частково перетинаються, а також у вигляді кругового циліндра й сегмента кругового циліндра.

Змішувач зі змішувальною камерою у вигляді двох розташованих у горизонтальній площині паралельних циліндрів, що частково перетинаються, з виконаними на її внутрішній поверхні двома групами нахилених під різними кутами поздовжніх рифлів – довгих і коротких, виконаних в обох півкамерах дзеркально (пат. № CN106042207A та CN205799913U; рис. 1.20). Недолік змішувача – складність очищення камери.

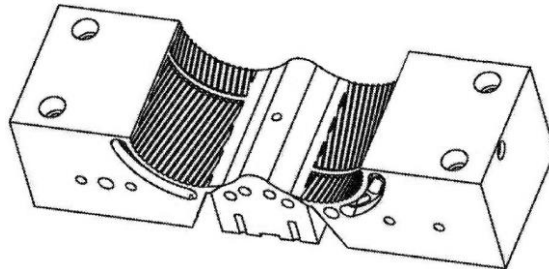


Рис. 1.20. Змішувальна камера з похилими поздовжніми рифлями згідно з пат. № CN106042207A та CN205799913U

Змішувальна камера з безперервними поздовжніми рифлями (заявка № US2004/179424A1) не тільки інтенсифікує змішування, але й поліпшує теплообмін композиції зі стінкою змішувальної камери.

Змішувальна камера у вигляді двох паралельних циліндрів, що частково перетинаються, при цьому її верхня частина має більший діаметр і оснащена штирями, які інтенсифікують процес змішування (заявка № DE4127211A1).

Аналогічні змішувальні штирі встановлено по всьому периметру змішувальної камери, а в роторах для вільного проходження штирів виконано кільцеві проточки (пат. № JPS5919525A).

Змішувальна камера у вигляді двох паралельних циліндрів, що частково перетинаються, при цьому робочі поверхні верхнього й нижнього затворів мають не традиційну опуклу (пат. № GB1463684A), а увігнуту форму, що полегшує перерозподіл суміші між півкамерами (заявка № CN206216942U).

Змішувальна камера у вигляді двох паралельних циліндрів, що частково перетинаються, розташованих у вертикальній площині (пат. № CN206216942U).

Змішувальна камера у вигляді двох паралельних і таких, що частково перетинаються, правильних призм (пат. № UA34562U). Під час обертання роторів безперервно змінюється величина проміжку між гребенями роторів і стінкою змішувальної камери, що підвищує змішувальний ефект у зазначених проміжках.

У змішувальній камері у формі кругового циліндра один над одним розташовано два горизонтальні ротори, між якими змонтовано додатковий ротор меншого діаметра (пат. № CN204955179U). Недолік змішувача – можливість утворення застійних зон у діаметральній горизонтальній площині змішувальної камери. Також розроблено аналогічний змішувач без додаткового ротора (пат. № CN205364268U).

У змішувальній камері, що має форму циліндричного сегмента з плоскою основою, у горизонтальній площині розміщено два ротори (пат. № CN207273610U). Недолік змішувача – можливість утворення застійних зон вздовж нижніх торців змішувальної камери.

Незважаючи на те, що останнім часом у деяких технологічних лініях для приготування композицій на основі полімерів і каучуків стали використовувати високоефективні черв'ячні екструдери [5, 12, 13, 19], роторні змішувачі закритого типу завдяки їхнім широким експлуатаційним можливостям ще тривалий час у багатьох випадках залишатимуться незамінним обладнанням.

1.4. Ущільнення роторів змішувачів закритого типу для пластичних мас і гумових сумішей

Основним підготовчим обладнанням технологічних ліній для великотоннажного виробництва виробів з пластичних мас і гумових сумішей є роторні змішувачі закритого типу. Відмінною особливістю зазначених змішувачів є закрита змішувальна камера з двома фігурними роторами, що обертаються назустріч один одному, об'єм яких перевищує половину об'єму змішувальної камери. Класичним представником змішувачів цього типу є змішувач Бенбері, розроблений і запатентований англійським інженером Ф. Х. Бенбері (Fernley Hope Banbury) 1916 року [5, 15, 18, 36, 37, 39, 40].

Одним з чинників, що впливають на надійність роботи змішувачів закритого типу, є ефективність ущільнення шийок роторів у місцях їх проходів крізь боковини змішувальної камери. У процесі роботи композиція, що перебуває в змішувальній камері під тиском, який розвивається верхнім затвором змішувача й самою композицією, що деформується між роторами й стінкою змішувальної камери, крізь кільцеві проміжки між вікнами боковини й шийками роторів прагне видавитися із змішувальної камери. При цьому наявність у композиції твердих частинок наповнювача, а також високі температура й швидкість перероблення призводять до інтенсивного зношування елементів ущільнень [36, 37].

Аналіз конструктивного виконання ущільнень роторів змішувачів закритого типу дає змогу запропонувати їх укрупнену класифікацію (рис. 1.21).

За ступенем контакту елементів ущільнення розрізняють контактні, безконтактні й комбіновані ущільнення.

Контактні ущільнення бувають радіальними, торцевими й радіально-торцевими (комбінованими контактними).

Радіальні ущільнення можна поділити на сальникові ущільнення та ущільнення із самоущільнюваними кільцями.

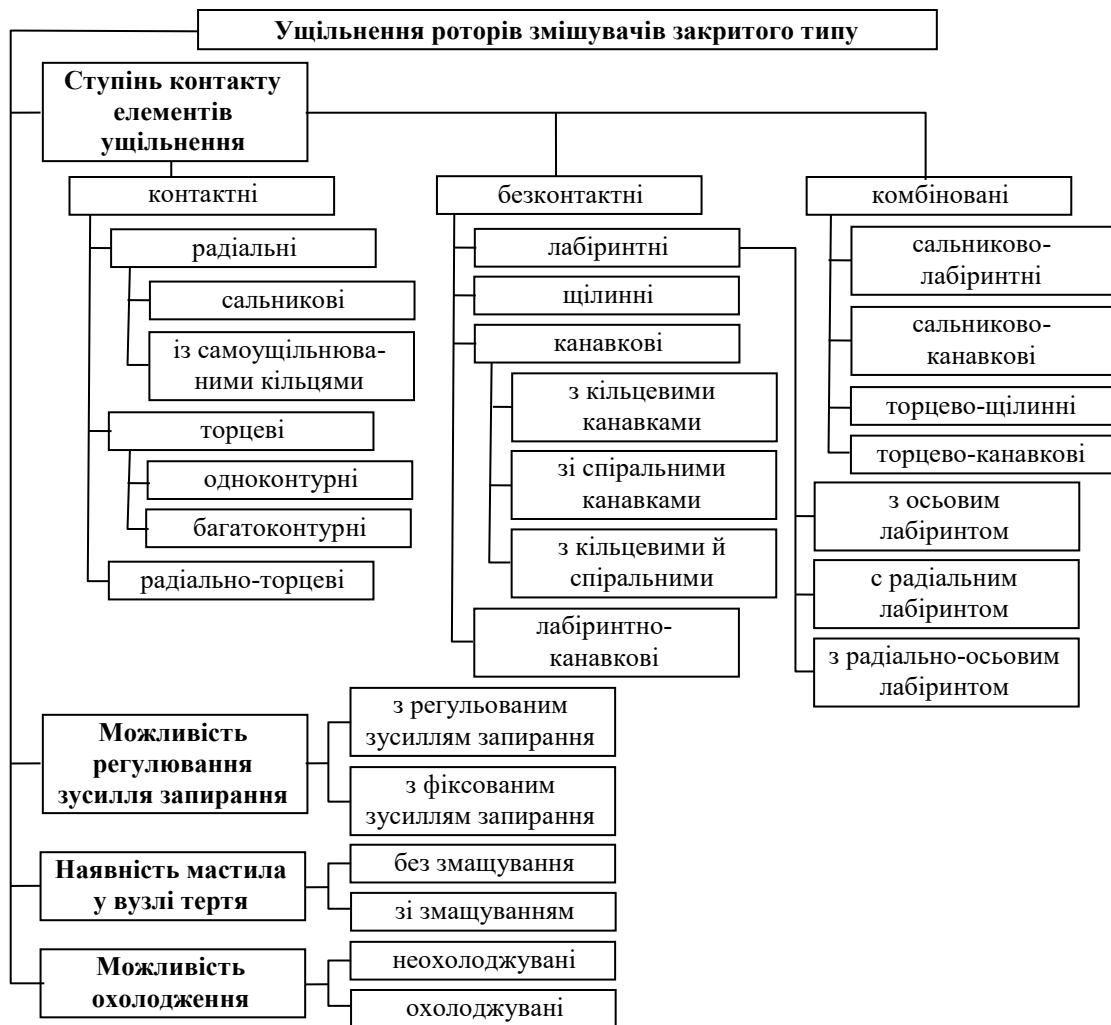


Рис. 1.21. Класифікація ущільнень роторів змішувачів закритого типу

Сальникові ущільнення, що набули широкого поширення в перших конструкціях роторних змішувачів закритого типу, є найбільш матеріало- та енергоємними ([36]). Як ущільнювальний матеріал таких пристроїв зазвичай використовуються метали та сплави (мідь, бабіт), полімери (політетрафторетилен), а також композиційні матеріали (метало-графітні, металополімерні [8, 10]).

Сальниковий ущільнювальний пристрій з виконаними на роторі та втулці в зоні розташування сальникової набивки кільцевими канавками для потрапляння в них стисненої сальникової набивки й підвищення надійності ущільнення (пат. № CN203566878U; рис. 1.22).

У сальниковому ущільнювальному пристрої сальникова набивка взаємодіє не безпосередньо з ротором, а з антифрикційним кільцем, розташованим у пазу ротора (пат. № CN202946670U). Таке рішення не тільки знижує силу тертя, але й підвищує зносостійкість сальникової набивки.

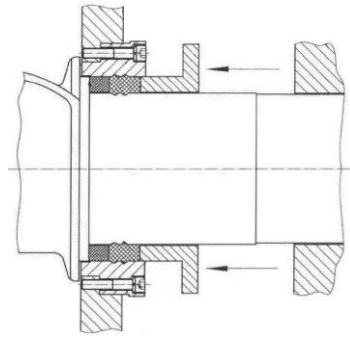


Рис. 1.22. Контактний ущільнювальний пристрій сальникового типу згідно з пат. № CN203566878U

Загальний недолік сальникових ущільнень – інтенсивне зношування сальникової набивки, а також значна витрата енергії на подолання тертя сальникової набивки об шийку ротора.

Також через інтенсивне зношування не отримали широкого поширення й контактні пристрої з самоущільнюваними кільцями, які притискаються до ротора й боковини змішувальної камери під дією тиску з боку змішуваної композиції (пат. № GB904256A та CN203571056U).

Торцеві ущільнення можна поділити на одно- і багатоконтурні, або одно- і багатоступінчасті (тобто з ущільненням по одній або кількох поверхнях, відповідно).

Одноконтурне торцеве ущільнення забезпечує контроль величини зносу контактного елемента – втулки – навіть у процесі роботи змішувача (пат. № UA7332U; рис. 1.23). Цей ущільнювальний пристрій оснащено регулювальними гвинтами з наскрізним осьовим отвором, що дає змогу за допомогою глибиноміру визначати довжину втулки ущільнювача, а значить і величину її зносу.

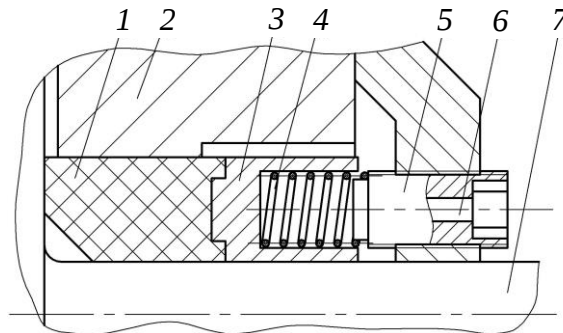


Рис. 1.23. Одноконтурне торцеве ущільнення згідно з пат. № UA7332U:
1 – ущільнювальна втулка; 2 – боковина; 3 – натискна втулка; 4 – пружина;
5 – регулювальний гвинт; 6 – наскрізний отвір; 7 – шийка ротора

Аналогічне рішення для контролю величини зносу контактного елемента торцевого ущільнення у вигляді індикаторного стрижня, що виступає за межі змішувальної камери (пат. № CN201333765Y).

Ефективні торцеві ущільнення з широкими можливостями регулювання їхніх параметрів описано в пат. № CN200967249Y та № PL155130B1.

Механічні ущільнення з гідравлічним (пат. № KR20100075402A та JP2010149292A) або пружинним (пат. № CN201442319U, CN206694558U, CN207327350U, CN207403022U, CN207578769U, CN207999501U, US2963308A) притисканням елементів вузла тертя один до одного.

У торцевому ущільненні фрикційне кільце виконане з неметалевого зносостійкого композиційного матеріалу (пат. № CN200967249Y).

У двоконтурному торцевому ущільненні до поверхонь тертя під тиском подається запірно-змащувальна паста, яка не тільки знижує силу тертя, а й підвищує герметичність ущільнення (пат. № CN201950742U).

Радіально-торцеві (комбіновані контактні) ущільнення поєднують переваги як радіальних, так і торцевих ущільнень.

Радіально-торцеве ущільнення виконане у вигляді закріплених на шийках роторів втулок з гвинтовою нарізкою (а. с. № SU1265056A1), при цьому нарізки розташованих навпроти один одного відповідних втулок роторів виконано зі взаємним зачепленням зустрічно обертовими черв'яками [18, 41]). Не зважаючи на самоочищення нарізок втулок від композиції, що видавлюється зі змішувальної камери, ущільнення характеризується громіздкістю, а також складністю монтажу й демонтажу.

Безконтактні ущільнення бувають щілинними, лабіринтними, канавковими й лабіринтно-канавковими (комбінованими безконтактними).

Найбільш простими, але й найменш ефективними є щілинні ущільнення, конструктивно оформлені у вигляді гладких кільцевих і осьових проміжків між ротором і стінкою змішувальної камери. Наприклад, в змішувачі з триступінчастим щілинним ущільненням роторів по краях робочої частини кожного ротора виконано циліндричні виступи, що утворюють зі стінкою змішувальної камери перший ступінь щілинного ущільнення – вузькі кільцеві проміжки, що перешкоджають видавлюванню змішуваної композиції (пат. № CA941819A). Третій ступінь щілинного ущільнення реалізовано у вигляді аналогічних кільцевих проміжків між шийками роторів і боковинами змішувальної камери, а другий ступінь – у вигляді осьових проміжків між запlechиками ротора та площинами боковин змішувальної камери.

Лабіринтні ущільнення можна поділити на ущільнення з осьовим лабіринтом, радіальним лабіринтом, а також радіально-осьовим лабіринтом.

Ущільнення з осьовим (горизонтальним) лабіринтом внаслідок складності їх монтажу та експлуатації використовуються рідше, ніж ущільнення з радіальним (вертикальним) лабіринтом (нерухоме лабіринтне кільце осьового лабіринту зазвичай виконується складовим з декількох сегментів). Висока ефективність радіальних лабіринтних ущільнень забезпечується не тільки високим гідравлічним опором, але й виникненням у них ефектом Вайссенберга (ефекту нормальних напружень), що сприяє руху

композиції по радіусу в напрямку осі ротора, тобто поверненню композиції в змішувальну камеру [42].

В ущільненнях з радіально-осьовим лабіринтом ділянки з одним або декількома радіальними та осьовими лабіринтами розташовуються послідовно одна за одною ([36]; рис. 1.24).

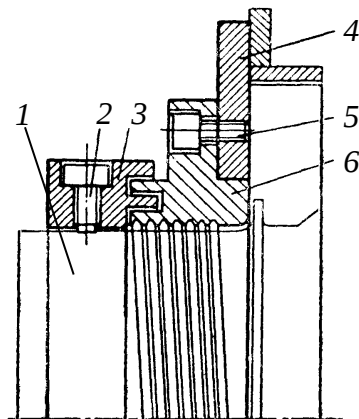


Рис. 1.24. Ущільнення з послідовним радіально-осьовим лабіринтом [36]: 1 – шийка ротора; 2 – стопорний гвинт; 3 – рухома втулка; 4 – боковина; 5 – притискний гвинт; 6 – нерухома втулка з осьовою гвинтовою канавкою й радіальним кільцевим лабіринтом

Загальним недоліком лабіринтних ущільнень є можливість забивання змішуваною композицією лабіринту, що призводить до додаткової витрати енергії приводу ротора, а в разі приготування гумових сумішей – їх перегріву й вулканізації і, як наслідок, до можливого заклинення й руйнування елементів ущільнень.

Канавкові ущільнення можна поділити на ущільнення з кільцевими канавками, спіральними (гвинтовими) канавками, а також кільцевими та спіральними канавками.

У безконтактних ущільненнях канавкового типу, які є одними з найпростіших ущільнювальних пристроїв, кільцеві або спіральні канавки виконуються на шийці ротора або на втулці, що її охоплює. При цьому для примусового повернення змішуваної композиції в змішувальну камеру спіральні канавки доцільно виконувати з напрямком нарізки, протилежним напрямку обертання ротора (пат. № JP11170251A, заявка № WO2008/005138A1).

На відміну від найбільш поширених ущільнень канавкового типу з канавками постійної глибини, ширини та кроку [36] розроблено конструкцію канавкового ущільнення з об'ємом канавок, що поступово збільшується, за ходу руху суміші (з глибиною та/або шириною канавок, що збільшується; пат. № JP6087119A та JPH0687119A).

В ущільнювальному пристрої канавкового типу з двома протилежно спрямованими спіральними канавками по краях рухомої втулки й кільцевою канавкою збільшеного об'єму між ними напрямок ближньої до змішувальної

камери спіральної канавки збігається з напрямком обертання ротора (пат. № JP8128535A). Під час обертання ротора змішувана композиція транспортується першою спіральною канавкою, потрапляє в кільцеву канавку та утримується в ній завдяки другій (відбійної) спіральній канавці, забезпечуючи герметизацію ущільнення.

Аналогічне технічне рішення запропоновано у пат. № US5090711A, а з канавками, виконаними на нерухомій втулці, що охоплює шийку ротора, – у пат. № US4471963A.

Лабіринтно-канавкові (комбіновані безконтактні) ущільнення поєднують переваги як лабіринтних, так і канавкових ущільнень.

Лабіринтно-канавкове ущільнення виконане у вигляді радіального лабіринту з кільцевими канавками на горизонтальних поверхнях гребенів лабіринту (пат. № UA58962U).

Комбіновані ущільнення бувають сальниково-лабіринтними, сальниково-канавковими, торцево-щілинними, а також торцево-канавковими й поєднують переваги та недоліки як контактних, так і безконтактних ущільнювальних пристроїв.

Сальниково-лабіринтне ущільнення містить послідовно розташовані сальник і радіальний лабіринт (пат. № CN108547953A та CN208417540U).

Лабіринтно-сальникове ущільнення містить послідовно розташовані осьовий лабіринт і сальник (пат. № CN207437777U).

Наприклад, наведений на рис. 1.22 контактний ущільнювальний пристрій може бути перетворений на сальниково-канавкове ущільнення в результаті виконання канавок на внутрішній поверхні притискного фланця (грундбукси). При цьому безконтактна ділянка канавкового або лабіринтного типу зазвичай розташовуються після контактної сальникової ділянки.

Канавково-сальниковий ущільнювальний пристрій з послідовно розташованими на роторі втулкою з кільцевими канавками, а також вузлом ущільнення сальникового набивкою (пат. № CN205416076U).

Торцево-щілинні ущільнення містять гладку кільцеву втулку, що охоплює шийку ротора й підтискується до торця його робочої зони, при цьому зовнішня поверхня втулки з боку вікна боковини змішувальної камери утворює для композиції запірну щілину (пат. № JP2002018263A та JP2008230250A).

Торцево-канавкове ущільнення містить кільцеву втулку, що охоплює шийку ротора й підтискується до його запличика, при цьому на зовнішній поверхні втулки з боку вікна боковини змішувальної камери виконано кільцеві клиноподібні канавки (пат. № JP2002018262A). Композиція, що потрапила в канавки, завдяки їх клиноподібній формі утримується в них і надійно герметизує змішувальну камеру.

Канавково-торцевий ущільнювальний пристрій містить закріплену на шийці ротора кільцеву втулку з кільцевими канавками на її зовнішній поверхні, а також розташований за ним вузол торцевого ущільнення (пат. № CN205388151U).

За можливістю регулювання зусилля притискання розрізняють ущільнення з регульованим і фіксованим зусиллям замикання.

Більшість ущільнень належить до пристроїв з фіксованим зусиллям замикання, однак розроблено конструкцію канавково-лабіринтного ущільнення з примусовим подаванням запірно-змащувальної пасти у двосторонній лабіринт. Зазначений пристрій призначено для змішувачів, які працюють за підвищеного (до 1 МПа) тиску в змішувальній камері ([36]; рис. 1.25).

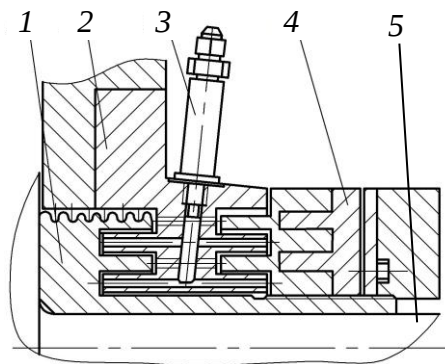


Рис. 1.25. Двосторонній лабіринт канавково-лабіринтного ущільнення [36]:
1, 2 – рухома та нерухома лабіринтні втулки; 3 – маслянка; 4 – гайка; 5 – шийка ротора

Проміжки лабіринту в радіальному напрямку становлять 0,5...0,6 мм, а в осьовому – близько 1 мм (див. рис. 1.25). Запірно-змащувальна паста, що подається в лабіринти, разом з композицією, яка видавлюється з змішувальної камери, утворює пробку та одночасно змащує поверхні тертя, підвищуючи зносостійкість ущільнювального пристрою. Масова витрата змішуваної композиції, що виходить із змішувальної камери крізь ущільнення, не перевищує 0,1 кг/год. Недоліком пристрою є складність його виготовлення та обслуговування.

Одноконтурне контактне торцеве ущільнення містить з'єднані гвинтами бронзову й чавунну втулки. Бронзова втулка по ковзній посадці проходить крізь вікно в боковині й підтискається до запличика ротора штовхачем, що є двоплечим важелем, встановленим одним кінцем на центральній опорі, а іншим – на підпружиненій опорі. Під дією пружини важіль через чавунну втулку підтискає бронзову втулку до ротора, при цьому величину зусилля притиску можна змінювати за допомогою регульовального болта [36].

Аналогічні торцеві ущільнення з регульованим зусиллям притиску ущільнювальних втулок, які охоплюють шийки роторів і встановлені з

можливістю осевого переміщення у вікнах боковин змішувальної камери, при цьому переміщення кожної з ущільнювальних втулок забезпечується індивідуальним (пат. № US3570820A, CN201505994U та JPH06134752A) або спільним (а. с. № SU1183379A1) гідроприводом.

У торцевих ущільненнях аналогічної конструкції зусилля на вилці забезпечується не гідроциліндром, а регульованою пружиною жорсткості (пат. № US4291888A та CN202462680U).

Торцеве ущільнення з регульованим зусиллям притискання ущільнювальних втулок, що охоплюють шийки роторів і встановлені у вікнах боковин змішувальної камери з можливістю осевого переміщення (а. с. № SU1183379A1).

За наявності мастила у вузлі тертя розрізняють ущільнення без мастильного матеріалу та з мастильним матеріалом.

Ущільнення без мастильного матеріалу (ущільнення сухого тертя) простіші у виготовленні та експлуатації, проте характеризуються підвищеною енергоємністю та зниженою зносостійкістю.

Ущільнювальні мастила (ущільнення мокрого тертя) не тільки зменшують споживання енергії в процесі змішування, а й частково охолоджують вузол тертя (пат. № EP2810756A1, JP2010162689A, JP2013154487A, JP2016078297A, JP2016078347A, JP2016155260A, JPH09286023A, CN201950742U, CN202746591U та CN206361153U).

У торцево-щілинному ущільненні мастильний матеріал подається як у запірну радіальну щілину між ротором і боковиною змішувальної камери, так і на торцеву ділянку ущільнення (пат. № JP2014151498A та CN104428116A). Недолік конструкції – можливість потрапляння мастильного матеріалу до змішувальної камери.

За можливістю охолодження розрізняють ущільнення без охолодження та з охолодженням його елементів.

Ущільнювальний пристрій з охолодженням його елементів не тільки подовжує термін служби ущільнення, але й підвищує його надійність, тому що за умови зниження температури змішуваної композиції, що потрапила в ущільнення, зростає її в'язкість і відповідно гідравлічний опір ущільнення (пат. № CN204585604U).

Лабіринтне ущільнення з каналом для охолодження корпусу, який має дві протилежно спрямовані гвинтові канавки, що сходяться до центральної кільцевої порожнини (пат. № US4471963A; рис. 1.26). Під час обертання ротора змішувана композиція транспортується першою гвинтовою канавкою до зазначеної порожнини, в якій утримується другою гвинтовою канавкою, забезпечуючи герметизацію ущільнення.

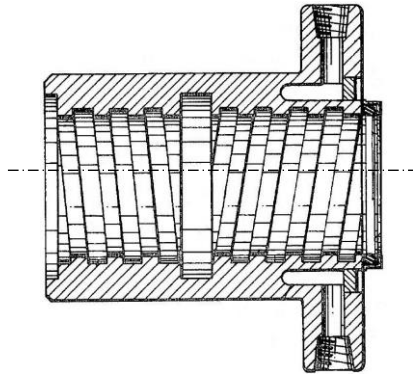


Рис. 1.26. Охолоджуване лабіринтне ущільнення згідно з пат. № US4471963А

Незважаючи на різноманіття конструкцій ущільнювальних пристроїв роторів пласто- і гумозмішувачів закритого типу проведений аналіз доводить, що майже жодний з них не може виключити видавлювання одержуваної композиції зі змішувальної камери змішувача під час його роботи. Тому залишається актуальним завдання розробки ущільнень, які за мінімального витоку змішуваної композиції вирізнялися б простотою виготовлення та експлуатації, а також високою зносостійкістю й надійністю [43].

2. ЕКСТРУЗІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ І ГУМОВИХ СУМІШЕЙ

2.1. Пристрої для охолодження черв'яків екструдерів

Найбільш поширеним методом безперервного перероблення полімерних матеріалів є екструзія, що реалізується переважно на одно- та двочерв'ячних екструдерах [6, 15–19, 23, 24].

Незважаючи на очевидні переваги двочерв'ячних екструдерів – високі продуктивність та змішувальний ефект – одночерв'ячні екструдери завдяки їхній універсальності та відносній простоті експлуатації залишаються найбільш затребуваними.

Основним робочим органом одночерв'ячного екструдера є обертовий черв'як. Зважаючи на те, що в процесі одночерв'ячної екструзії інтенсивність дисипації енергії поблизу поверхні черв'яка максимальна, зазвичай черв'як по всій його довжині охолоджують. При цьому в першій технологічній зоні одночерв'ячного екструдера – зоні живлення – для унеможливлення передчасного плавлення полімеру та забезпечення надійного транспортування вихідних полімерних гранул вздовж екструдера потрібне найбільш інтенсивне охолодження черв'яка [30, 44].

Аналіз конструктивного оформлення пристроїв для охолодження черв'яків одночерв'ячних екструдерів для перероблення полімерних матеріалів дає змогу запропонувати їхню класифікацію (рис. 2.1).

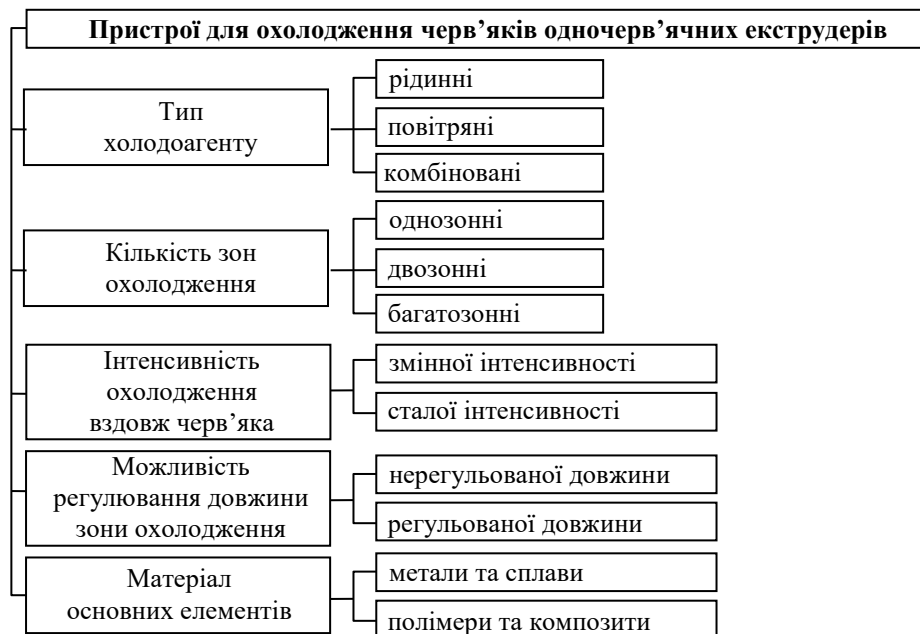


Рис. 2.1. Класифікація пристроїв для охолодження черв'яків одночерв'ячних екструдерів [45]

За типом холодоагенту розрізняють пристрої з рідким, повітряним та комбінованим холодоагентом.

У переважній більшості охолоджувальних пристроїв як холодоагент використовується рідина (найчастіше вода), проте в черв'яку з осьовою порожниною і розташованою в ній співвісною трубою як холодоагент використовується повітря (пат. № CN201120717Y).

Також розроблено охолоджувальні пристрої у вигляді теплових труб, в яких рідкий теплоносій, який безперервно випаровується і конденсується, одночасно перебуває як в рідкому, так і газоподібному стані (пат. № JPS6186591A, JPS60116427A, CN107901381A, CN207643660U, заявка № DE2755260A1).

За кількістю зон охолодження розрізняють пристрої з однією, двома та більше зонами охолодження.

Класичний пристрій для охолодження черв'яка, що реалізує одну зону охолодження, виконано у вигляді консольно закріпленої з боку хвостовика черв'яка труби для подачі холодоагенту в осьову порожнину черв'яка (рідше для відведення холодоагенту із зазначеної порожнини) [23]. Ця труба вводиться в порожнину черв'яка з боку хвостовика, при цьому вода з труби потрапляє в порожнину черв'яка з боку його наконечника, після чого, рухаючись зовні труби в бік хвостовика, охолоджує поверхню його порожнини.

В охолодному пристрої випускний кінець труби для подачі холодоагенту розташовано в порожнині черв'яка не вільно, а з упором в наконечник черв'яка, що стабілізує положення труби, а також форму кільцевого каналу для зворотного руху холодоагенту (пат. № CN208438697U).

У вдосконаленому пристрої холодоагент в кільцевому просторі між поверхнею порожнини черв'яка і трубою для подачі холодоагенту за допомогою гвинтової перегородки рухається спіраллю, що інтенсифікує процес теплообміну (пат. № KR101484585B1).

У пристрої аналогічного призначення всередині труби, що розміщується в порожнині черв'яка, з герметичним радіальним зазором розміщено додатково трубу, при цьому зазначений зазор бажано вакуумувати або заповнити повітрям (пат. № UA85099U; рис. 2.2). Зазначений зазор виконує роль теплоізоляції для зниження теплообміну між зустрічними потоками свіжого та відпрацьованого холодоагенту. Для стабілізації форми та розміру зазору між трубами можуть бути встановлені дистанційні елементи, виконані у вигляді западин на зовнішній трубі та/або виступів на внутрішній трубі, що істотно спрощує виготовлення пристрою та підвищує турбулізацію потоку холодоагенту.

Більш рівномірне температурне поле по довжині черв'яка порівняно з класичним черв'яком забезпечує пристрій, виконаний у вигляді поздовжнього

U-подібного каналу в осерді черв'яка з входом і виходом холодоагенту на торці хвостовика черв'яка (пат. № CN107160654A, CN207310483U).

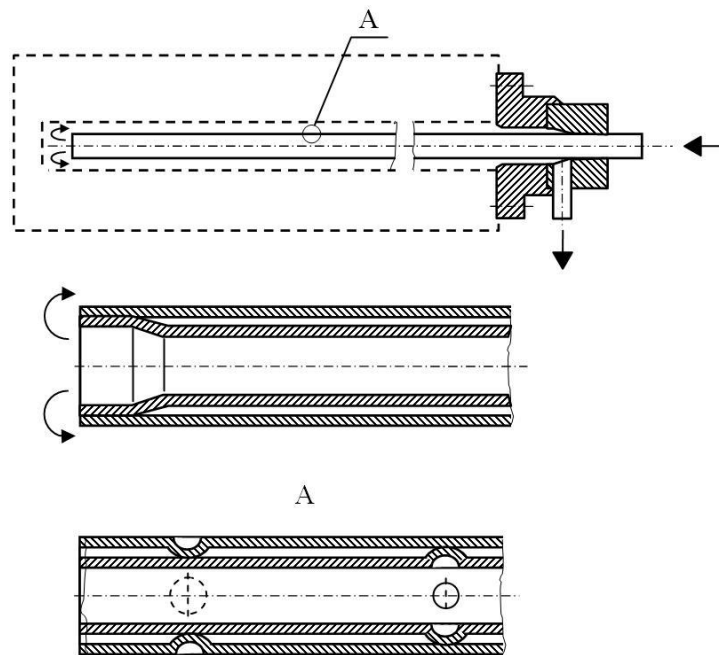


Рис. 2.2. Пристрій для охолодження черв'яка згідно з пат. № UA85099U

Оригінальний охолодний пристрій описано в пат. №CN201151187Y. У закритій з обох кінців і заповненій рідким теплоносієм порожнині черв'яка розміщено співвісну трубу з гвинтовою лопатою на зовнішній поверхні, причому напрямок закрутки лопаті протилежний напрямку закрутки нарізки черв'яка. У процесі обертання черв'яка рідина, що перебуває всередині нього, починає циркулювати, охолоджуючи зони плавлення й гомогенізації черв'яка та нагріваючи зону живлення. Недолік конструкції – можливість перегріву полімеру, що переробляється в зоні живлення, що може призвести до його передчасного плавлення.

Черв'яки містять оснащений гвинтовою нарізкою порожнистий вал, при цьому в гребені гвинтової нарізки виконано канал, сполучений з порожниною вала (пат. № DE2057989A1, UA10558U). Зазначені конструкції забезпечують інтенсивне охолодження як западин гвинтової нарізки черв'яка, так і поверхонь гребеня нарізки, що взаємодіють з перероблюваним матеріалом.

Аналогічний черв'як з порожнистим гребенем гвинтової нарізки вирізняється надзвичайною складністю подачі холодоагенту в порожнину гребеня й відведення холодоагенту із зазначеної порожнини, що суттєво знижує надійність роботи екструдера в цілому (пат. № CN101428468A).

У черв'яку екструдера порожнину його сердечника з боку наконечника виконано з поздовжніми шліцами, що збільшують поверхню теплообміну, при цьому ділянку сердечника з поздовжніми шліцами для спрощення технології виготовлення черв'яка виконано знімною (пат. № UA137428U).

Пристрій охолодження виконано у вигляді теплової труби, що за потреби забезпечує як охолодження, так і нагрівання робочої частини черв'яка (пат. № СН658623А5). У разі охолодження випарником теплової труби є порожнина робочої частини хробака, а конденсатором – хвостовик черв'яка, винесений за межі вузла упорного підшипника екструдера. Цей пристрій забезпечує інтенсивний теплообмін та рівномірне температурне поле по всій довжині черв'яка. Однак, рівномірне температурне поле може бути недоліком пристрою, оскільки в певних випадках виникає необхідність забезпечення змінного по довжині температурного поля черв'яка.

Пристрій охолодження черв'яка екструдера містить порожнистий вал з розміщеними в його порожнині паралельними перфорованими трубками для підведення та відведення холодоагенту (пат. № UA66688U). Також поверхню порожнини валу виконано з поздовжніми шліцами з розміщеним в них заповнювачем, теплопровідність якого вище за теплопровідність матеріалу черв'яка, при цьому в заповнювачі по його довжині виконано розриви. В процесі роботи екструдера в одну трубу подають холодоагент, який виходить крізь її перфорацію й після охолодження поверхні порожнини вала майже відразу потрапляє до другої труби й видаляється за межі черв'яка з боку хвостовика. Малий час перебування холодоагенту в порожнині черв'яка значно підвищує ефективність теплообміну. Завдяки заповнювачу в поздовжніх шліцах вала, а також виконаним у ньому розривам процес теплообміну істотно інтенсифікується, що сприяє зменшенню витрати холодоагенту.

Пристрій з декількома зонами охолодження різної інтенсивності містить розміщені в порожнині черв'яка коаксіально-концентричні трубки різної довжини для подачі та відведення охолодної рідини, а також втулки, встановлені між зовнішньою коаксіальною трубкою і стінкою порожнини черв'яка й виконані з матеріалу (а. с. № SU350666А). Недолік пристрою – використання різних матеріалів для виготовлення втулок.

В аналогічному пристрої втулки виконано з матеріалу з однаковим коефіцієнтом теплопровідності і змонтовані з утворенням кільцевих зазорів між їхньою зовнішньою поверхнею та стінкою порожнини черв'яка, при цьому зазначені кільцеві зазори виконано різної висоти для забезпечення відведення теплового потоку різної інтенсивності (а. с. № SU1316845А1). Недолік пристрою – дуже низька інтенсивність теплообміну крізь зазначені кільцеві зазори.

У пат. № KR20160141947А описано пристрій з двома зонами термостабілізації черв'яка за допомогою різних потоків одного або двох рідких холодоагентів (рис. 2.3).

У двозонному охолоджувальному пристрої як холодоагент використовується масло (пат. № CN201587111U).

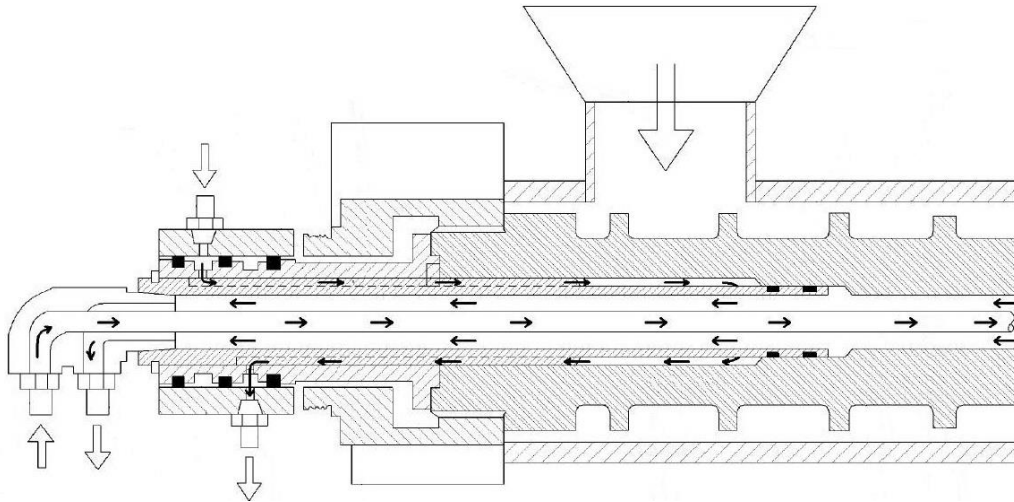


Рис. 2.3. Пристрій двохзонної термостабілізації черв'яка згідно з пат. № KR20160141947A

Пристрій із двома зонами охолодження черв'яка забезпечує незалежне охолодження наконечника черв'яка та його робочої частини (пат. № GB979194A). Охолодження наконечника здійснюється водою або повітрям через дві коаксіально-концентричні трубки, що вводяться в порожнину черв'яка крізь хвостовик.

Аналогічний пристрій з незалежним охолодженням наконечника черв'яка описано в пат. № JPH03288613A.

За інтенсивністю охолодження вздовж черв'яка розрізняють пристрої змінної та постійної (сталогої) інтенсивності.

Змінна інтенсивність охолодження реалізується в класичних однозонних пристроях ([23]; пат. № CN1765612A, CN108544726A, CN202271517U, CN204172323U, CN2613363Y, JP2004066705A, DE2230771A1)

Пристрій постійної інтенсивності охолодження забезпечує рівномірне охолодження хробака по всій його довжині (пат. № CN443645A; рис. 2.4). З цією метою охолодна вода розбивається на кілька потоків, кожен з яких проходить крізь канал, виконаний у гребені нарізки черв'яка в межах окремої зони охолодження.

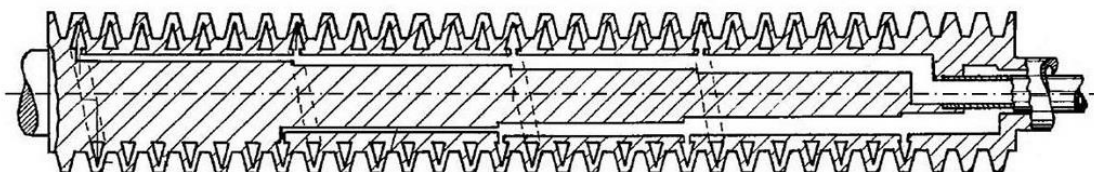


Рис. 2.4. Пристрій для охолодження черв'яка згідно з пат. № CN443645A

Пристрій постійної інтенсивності охолодження виконано у вигляді прилеглої до стінки порожнини черв'яка циліндричної гільзи з перегородками, що поділяють порожнисті пористими стінками на камери, які

сполучаються між собою (а. с. № SU613916A1). Таким чином, розміщена в порожнині черв'яка теплова труба забезпечує інтенсивний теплообмін та рівномірне температурне поле на стінці порожнини черв'яка.

Пристрій змінної інтенсивності охолодження виконано у вигляді розташованої в порожнині черв'яка труби для подачі холодоагенту, при цьому вільний кінець труби закритий пробкою, а в стінці труби в області плавлення полімеру виконані наскрізні отвори для виходу холодоагенту (пат. № JPH069173A). Застійна зона холодоагенту, що утворюється в передній частині черв'яка, істотно знижує інтенсивність охолодження цієї частини черв'яка.

Пристрій змінної інтенсивності охолодження виконано у вигляді розміщених у порожнині черв'яка двох коаксіально-концентричних труб, при цьому на зовнішній трубі в межах зони охолодження черв'яка виконано кільцеві або поздовжні виступи, що контактують зі стінкою порожнини черв'яка (пат. № JPS5415605). Інтенсивне охолодження черв'яка здійснюється в межах розташування зазначених виступів.

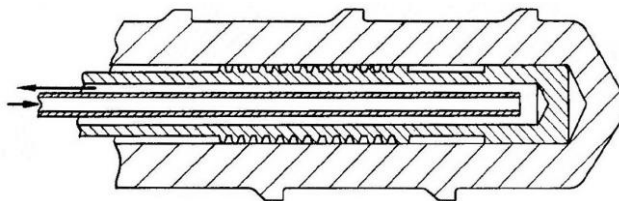


Рис. 2.5. Пристрій для охолодження черв'яка згідно з пат. № JPS54156065A

За можливістю регулювання довжини зони охолодження розрізняють пристрої нерегульованої (фіксованої) та регульованої довжини зони охолодження або її окремих ділянок.

Охолодження черв'яка також може бути виконане на окремих його ділянках за допомогою пробок: нерухомих або таких, що переміщуються вздовж черв'яка, а також декількох коаксіально-концентричних трубок різної довжини [23].

Пристрій охолодження зони черв'яка, довжина та положення якої регулюється вздовж його осі (пат. № JPS60190325A; рис. 2.6).

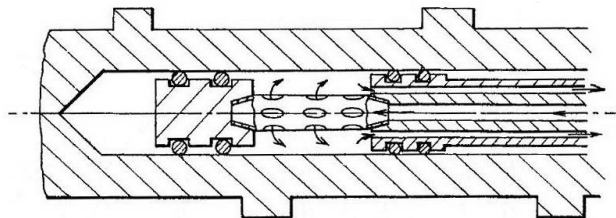


Рис. 2.6. Пристрій для охолодження черв'яка згідно з пат. № JPS60190325A

Пристрій з регульованою зоною охолодження виконано у вигляді двох коаксіально-концентричних трубок, при цьому внутрішню трубку виконано з

можливістю зміни свого положення по довжині черв'яка, а на її вільному кінці встановлено пробку (пат. № US3738420A).

В аналогічному пристрої з пробкою у вигляді одного або декількох самоущільнюваних чашоподібних елементів забезпечують просте регулювання положення пробки по довжині черв'яка за відсутності в порожнині черв'яка надлишкового тиску й надійне ущільнення пробки в порожнині черв'яка в процесі роботи екструдера (пат. № US4355905A).

Пристрій для охолодження містить вузол підведення холодоагенту до черв'яка, розміщені в його порожнині дві коаксіальні труби, а також пробку, змонтовану на одній із труб з можливістю осевого переміщення. Міжтрубний простір з боку наконечника черв'яка закрито заглушкою, пробку змонтовано на зовнішній трубі, по довжині якої виконані отвори, при цьому зовнішню трубу по обидва боки пробки оснащено гнучкими оболонками з фіксаторами на кінцях, а в пробці з боку торцевих поверхонь у бік внутрішньої поверхні виконано наскрізні канали (пат. № UA12701U; рис. 2.7). Залежно від режиму перероблення пробку встановлюють у потрібне положення по довжині труби. У процесі роботи екструдера два потоки холодоагенту спрямовують у внутрішню трубу та в простір між зовнішньою трубою та стінкою порожнини черв'яка. Після виходу з внутрішньої труби холодоагент завдяки наявності заглушки потрапляє у простір між зовнішньою трубою та стінкою порожнини черв'яка. Обидва потоки, забезпечивши потрібну температуру на відповідній ділянці черв'яка, з протилежних сторін пробки завдяки наявності гнучких оболонок потрапляють у канали пробки, а потім – в отвори зовнішньої труби і крізь міжтрубний простір пристрою видаляються за межі черв'яка.

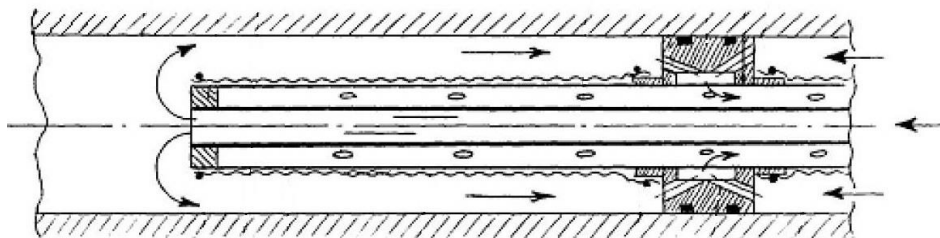


Рис. 2.7. Пристрій для охолодження черв'яка згідно з пат. № UA12701U

За матеріалом основних конструктивних елементів розрізняють пристрої, виготовлені з металів та сплавів, а також полімерних та композиційних матеріалів.

Елементи більшості охолоджувальних пристроїв виготовляють з металів та сплавів. Однак широкі експлуатаційні можливості конструкторам надають різноманітні полімери та композити, що забезпечують високу міцність, жорсткість, хімічну стійкість, а також низьку теплопровідність [46–48].

Так, для зниження інтенсивності теплообміну між свіжим та відпрацьованим холодоагентом зовнішню поверхню труби для його

підведення покрито шаром теплоізоляційного матеріалу (пат. № UA1672U), зокрема полімеру.

Аналіз пристроїв для охолодження черв'яків одночерв'яних екструдерів для перероблення полімерних матеріалів показує, що, незважаючи на значне різноманіття їхніх конструкцій, традиційні черв'яки з глухим поздовжнім циліндричним каналом для охолодної води та єдиною безперервною зоною охолодження залишаються найпоширенішими. Тим не менш, навіть незначна зміна конструкції таких пристроїв може забезпечити підвищення ефективності охолодження екструдерів черв'яків.

2.2. Фільтри екструдерів

Під час екструзії відповідальних полімерних виробів, наприклад, тонких плівок, для очищення розплаву полімеру від різних включень, зокрема від полімерних гранул, що не розплавився, екструдер оснащують фільтром [23, 24, 49].

Призначення фільтра визначає вимоги до нього: герметичність, швидка заміна або очищення фільтрувальних елементів, відсутність застійних зон, а також низький градієнт температури та швидкості потоку по поперечному перерізу розплаву. При цьому фільтри встановлюють переважно в екструдерах безперервної дії: черв'ячних, дискових, комбінованих і каскадних [18].

Крім того, фільтри можна розглядати і як додаткові змішувачі екструдерів, оскільки вони за аналогією зі статичними змішувачами не тільки забезпечують виділення з розплаву сторонніх домішок, але й багаторазове розділ потоку розплаву на мікропотоки з подальшим злиттям їх між собою, що підвищує гомогенізацію розплаву [50].

Розроблено багато тисяч конструкцій фільтрів (тільки у фондах Європейського патентного відомства станом на кінець 2021 року налічувалося понад 5200 документів з даної тематики), тому далі зупинимося лише на найбільш цікавих конструкціях.

Аналіз конструктивного оформлення фільтрів екструдерів для переробки полімерних матеріалів та гумових сумішей дозволяє запропонувати їхню класифікацію (рис. 2.8).

За місцем розташування фільтра розрізняють фільтри, розташовані в каналі екструдера, за межами каналу екструдера (у розплавопроводі, а також між екструдером і формувальною головкою) і безпосередньо у формувальній головці.

Фільтр у вигляді знімного поворотного блоку встановлено між екструдером і формувальною головкою (пат. № CH593786A5). Блок містить рівномірно виконані по колу комірки з фільтрувальними елементами, а також систему каналів, що забезпечують одночасну роботу одного з елементів та очищення іншого елемента зворотним потоком розплаву.

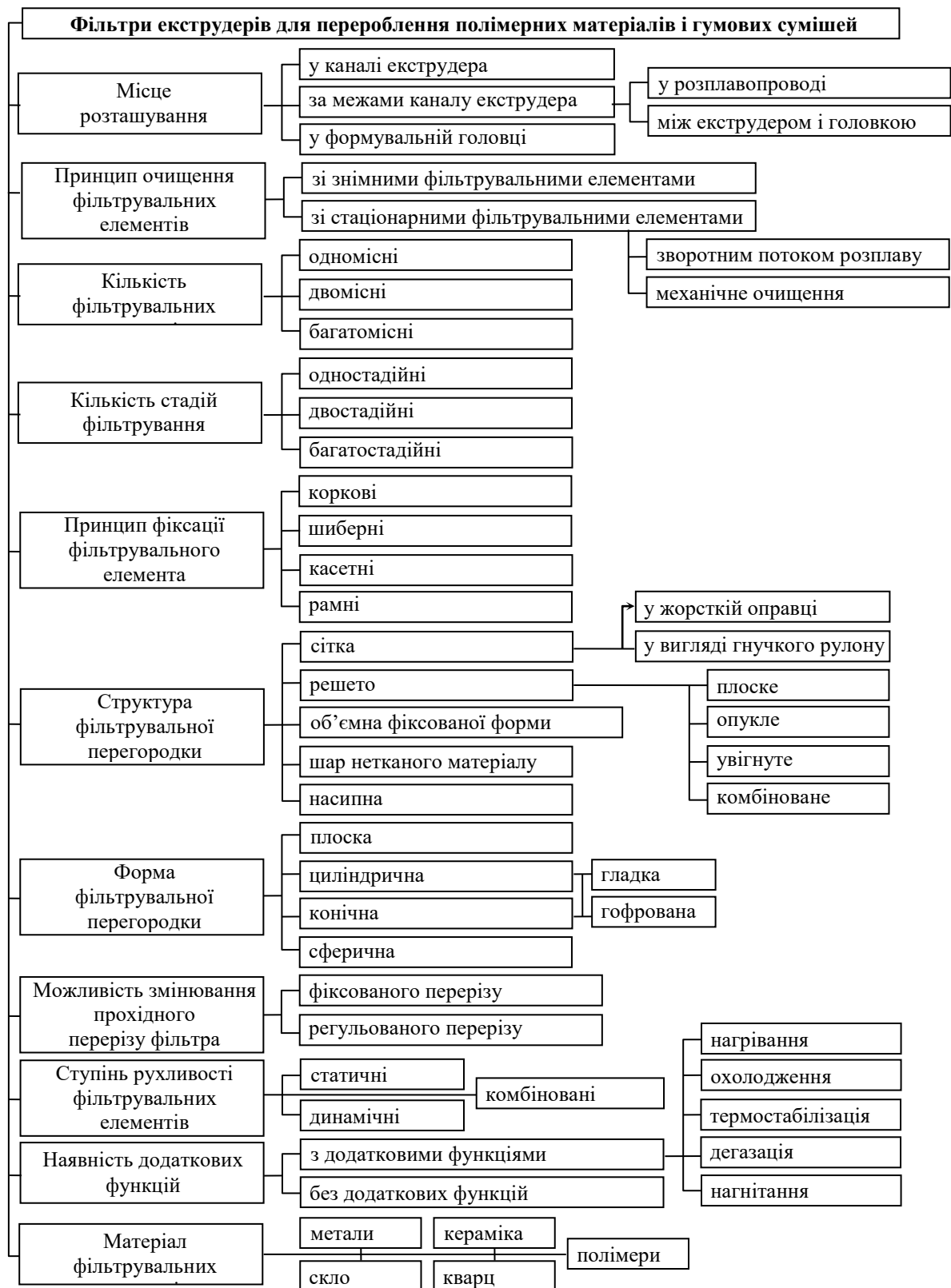


Рис. 2.8. Класифікація фільтрів екструдерів для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей

Фільтри змонтовано в розплавопроводі за межами робочого каналу екструдера та містять два фільтрувальних елементи, які працюючих по черзі (а. с. № SU1380987A1 і SU1426826A2). Фільтри характеризуються високим гідравлічним опором і матеріалоемністю.

Фільтр змонтовано в розплавопроводі, винесеному за межі середньої частини робочого каналу екструдера (а. с. № SU1514637A1; рис. 2.9). Недолік конструкцій – складність очищення та висока матеріалоемність.

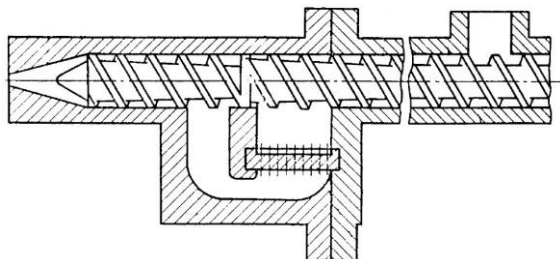


Рис. 2.9. Фільтр, розміщений у розплавопроводі (а. с. № SU1514637A1)

Аналогічні конструкції запропоновано в пат. № KR102096460B1, US5419634A та заявці № WO93/04841A1.

Виконані у вигляді пористого стакана фільтрувальні елементи також змонтовано в розплавопроводі (пат. № FR2111117A5 і GB1340233A). Недолік конструкцій – розташування вхідного й вихідного патрубків фільтра під кутом 180° , що збільшує його гідравлічний опір.

За принципом очищення фільтруючих елементів розрізняють фільтри зі знімними та стаціонарними фільтрувальними елементами (тобто з фільтрувальними елементами, що очищаються за межами фільтра, а також безпосередньо у фільтрі). Ця ознака класифікації аналогічна поділу фільтрів за характером дії в часі – фільтри періодичної (циклічної) та безперервної дії.

Знімний фільтр для очищення розміщують в обігрівній ємності, в яку подається розчинник для видалення з фільтрувальних дискових елементів залишків полімеру й виділених забруднень (пат. № JP2018001052A). Недолік конструкції – необхідність регенерації розчинника.

Знімний забруднений фільтр очищають не тільки в кислому та лужному середовищах, але й піддають ультразвуковому обробленню (пат. № JP2019013890A).

Стаціонарні фільтри містять корпус з поворотною кульовою пробкою та закріпленими в ній двома фільтрувальними решітками. У процесі роботи одна решітка здійснює фільтрацію, а друга піддається очищенню зворотним потоком розплаву полімеру (пат. № RU2293655C1, CN504945A та FR1550932A). Після забруднення робочої решітки кульову пробку повертають. Перевага пробкових фільтрів – простота конструкції та механізації зміни фільтрувальних елементів, а недолік – обмежена (до 60 кг/год) продуктивність [49].

В аналогічному фільтрі два пакети сіток закріплено під прямим кутом один відносно одного не в кульовій, а в циліндричній пробці (пат. № FR1569573A). У разі забруднення пакету сіток циліндр повертають, а зазначений пакет чистять.

Стаціонарний фільтр виконано у вигляді обертової циліндричної сітки з подачею розплаву на її зовнішню поверхню, до якої прилягає скребок для видалення з фільтрувальної поверхні забруднень (пат. № RU2579449C2).

Стаціонарний фільтр у вигляді обертової циліндричної сітки з подачею розплаву на її зовнішню поверхню, при цьому поверхню сітки по колу розділено на кілька зон (а. с. № SU956277A1). У певний час фільтрування здійснюється лише крізь одну зону з боку зовнішньої поверхні сітки, в той час як крізь інші зони розплав проходить у протилежному напрямку, видаляючи виділені забруднення за межі екструдера.

Стаціонарний фільтр виконано у вигляді порожнистого щілинного циліндра з розташованим всередині нього очисним шнеком, оснащеного індивідуальним приводом обертання (а. с. № SU1514636A1).

Розроблено стаціонарний фільтр з механічним очищенням жорсткої фільтрувальної перегородки за допомогою дволопатевих криволінійних скребоків, що переміщують домішки до периферії перегородки (пат. № KR20150144539A; рис. 2.10, а).

Аналогічні фільтри з дволопатевиими скребками описано в пат. № CN107791488A, CN107791490A та заявці № EP2764976A2, а фільтр з чотирилопатевиім криволінійним скребком – у пат. № CN209718576U.

Фільтр з двома циліндричними фільтрувальними гільзами, у кожній з яких розташовано поршень для періодичного видалення виділених з розплаву домішок (заявки № EP2907646A1 і DE102014101776A1).

Стаціонарний фільтр безперервної дії з промиванням обертового фільтрувального стакану зворотним потоком розплаву (пат. № DE3716707A1; рис. 2.10, б). Недолік конструкції – складність виготовлення.

Стаціонарний фільтр з безперервним очищенням плоского похилого фільтрувального елемента частиною основного потоку розплаву (заявки № WO2016/131071A2, DE102016202489A1; рис. 2.10, в).

Стаціонарний фільтр з безперервним очищенням фільтрувального елемента у вигляді круглого диска приводним шнеком (заявка № US2010/006492A1; рис. 2.10, г). Недолік фільтра – висока матеріало- та енергоємність.

За кількістю фільтрувальних елементів розрізняють одно-, дво- та багатомісні фільтри.

Двомісні фільтри містять два паралельно (заявка № EP1762364A2) або послідовно чи паралельно працюючі фільтрувальні елементи (пат. № DE2403765A1, заявка № DE202010001628U1).

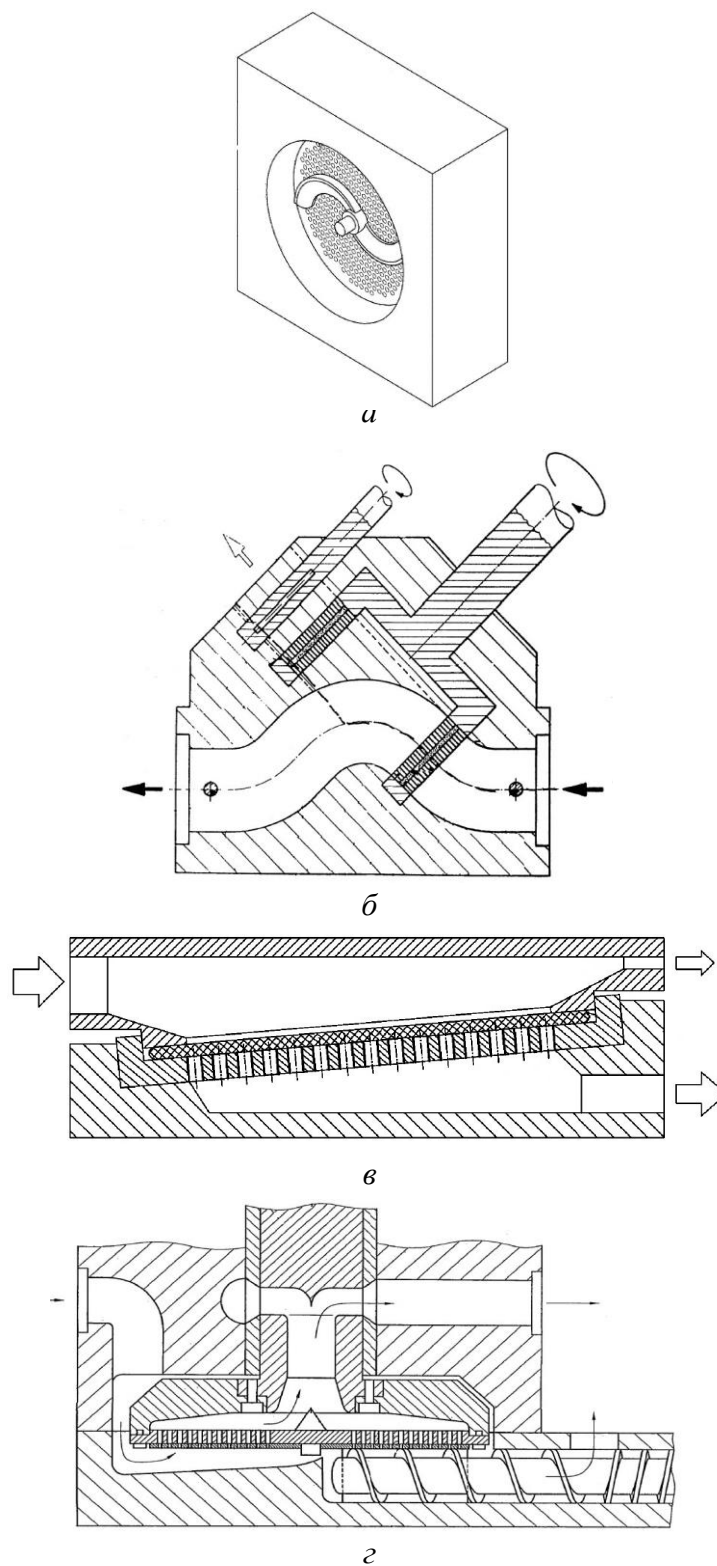


Рис. 2.10. Фільтри з механічним очищенням фільтрувального елемента:
a – пат. № KR20150144539A; *б* – пат. № DE3716707A1;
в – заявки № WO2016/131071A2, DE102016202489A1;
г – заявка № US2010/006492A1

Подвійні фільтри по черзі використовують два фільтрувальні елементи закріплено в спільному шибері, розташованому з можливістю переміщення перпендикулярно осі черв'яка (пат. № СН477282А, FR1490131А, GB1258188А, DE19702806С1, KR10211111196В1, JP2016022660А, CN107891592А та US6260852В1, заявка № W003/031154А1). У разі забруднення елемента за допомогою шибера його виводять за межі екструдера, чистять і встановлюють на місце, при цьому очищення розплаву забезпечує інший фільтрувальний елемент.

На відміну від попередніх конструкцій двомісних фільтрів з плоскими фільтрувальними елементами запропоновано фільтри із закріпленими в шибері елементами у вигляді сукупності пористих стаканів з рухом розплаву від їхніх зовнішніх до внутрішніх поверхонь (заявка № EP3321061А1) або навпаки – від внутрішніх до зовнішніх (пат. № GB2073038А, DE2119545А1 і DE2315344А1).

У двомісному фільтрі два поперемінно працюючих фільтрувальних елементи закріплено в окремих шиберах, що перекривають два паралельні канали для проходження розплаву й розташованих з можливістю переміщення перпендикулярно осі черв'яка (пат. № FR2409847А1 і GB1587580А).

Оригінальна зміна фільтрувальних елементів двомісного фільтра у вигляді обойми, що коливається (пат. № JP2018126867А та JP2019072926А; рис. 2.11, а).

Двомісний фільтр містить два паралельно розташовані трубчасті фільтрувальні елементи (пат. № JP2017001357А). З допомогою кульових кранів забезпечується як одночасна робота обох елементів, так і послідовна (один елемент працює, а другий очищається зворотним потоком розплаву).

Двомісний фільтр містить два фільтрувальні елементи, які за допомогою чотирьох кульових кранів працюють одночасно або послідовно, коли один елемент працює, а другий піддається очищенню після його вилучення з фільтра (пат. № СН483919А, FR1554412А та GB1168063А).

Двомісний фільтр містить два фільтрувальні елементи, що працюють по черзі за допомогою розташованих на вході та виході з них двох кульових розподільників потоку розплаву (пат. № DE1779497А1).

Двомісний фільтр безперервної дії містить корпус з двома фільтрувальними дисками, оснащеними обертовими очисними елементами (пат. № CN107856275А та CN207310486U; рис. 2.11, б). Виділені домішки зчищаються з внутрішньої поверхні дисків і крізь порожнисті вали видаляються за межі фільтра. Недолік фільтра – складність виготовлення та експлуатації.

У багатомісних фільтрах кілька поперемінно працюючих фільтрувальних елементів закріплено в загальному шибері, розташованому з можливістю переміщення перпендикулярно осі черв'яка (пат. пат.

№ DE1554913B1, DE2719790A1, CH625722A5, GB1574644A, GB2060423A, CN206983224U та CN207140304U).

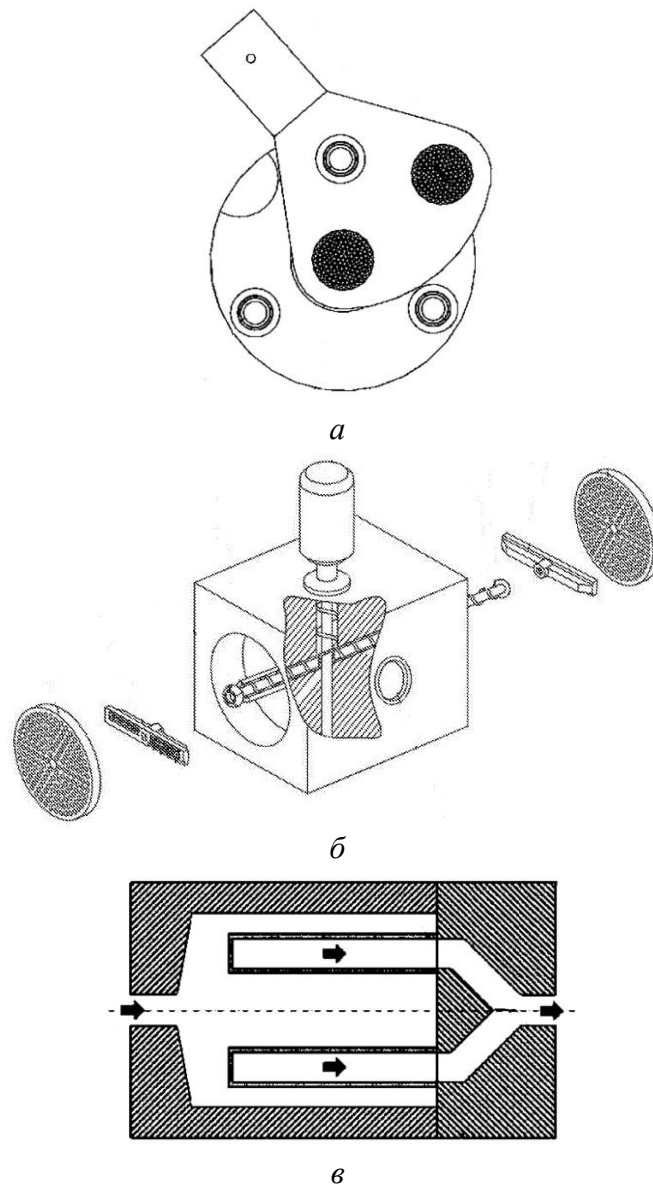


Рис. 2.11. Двомісні (а, б) і багатомісні (в) фільтри: а – пат. № JP2018126867A та JP2019072926A; б – пат. № CN107856275A та CN207310486U; в – пат. № JP2017170620A

У багатомісному фільтрі фільтрувальні елементи закріплено рівномірно на колу в круглому поворотному диску, встановленому перпендикулярно осі екструдера (пат. № KR20190038811A, JP2019527618A, CN207310485U, US5090887A, RU2343070C2, заявки № WO2018/019336A1, DE102013216973A1, US2019/344491A1). У разі забруднення чергового фільтрувального елемента диск повертають до суміщення вихідного каналу екструдера з сусіднім фільтрувальним елементом, а забруднений фільтрувальний елемент чистять.

У багатомісному фільтрі фільтрувальні елементи закріплено в поворотній обоймі рівномірно по колу, при цьому на виході з кожного елемента встановлено індивідуальний формувальний інструмент, а фільтрування розплаву здійснюється в напрямку осі черв'яка (а.с. № SU722778A1). На даний момент часу можуть працювати як усі формувальні інструменти, так і їхня частина. У разі забруднення фільтрувального елемента перекривають подачу до нього розплаву, витягають з обойми і чистять. Недолік фільтра – висока вартість внаслідок наявності кількох формувальних інструментів.

У співвісній з черв'яком екструдера порожнини багатомісного фільтра розташовано паралельно встановлені перфоровані фільтрувальні стакани (пат. № JP2017170620A; рис. 2.11, в). Недолік конструкції – необхідність розбирання для очищення.

Аналогічними фільтрувальними елементами комплектуються фільтри згідно з пат. № JP2020055223A, CN536129A та GB1386143A, заявка № US2015/360393A1.

За кількістю стадій фільтрування розрізняють одно-, дво- та багатостадійні фільтри.

В одностадійному циліндричному фільтрі для збільшення поверхні фільтрування перфороване осердя покрито сіткою з поздовжніми гофрами (заявка № WO2004/094033A1).

У двостадійному фільтрі попереднє фільтрування здійснюється крізь конічний фільтрувальний елемент, а остаточне – крізь розташований усередині нього циліндричний елемент (а.с. № SU1597286A1).

За принципом фіксації фільтрувальної перегородки розрізняють пробкові, шиберні, касетні й рамні фільтри.

До рамних належать фільтри з одним плоским фільтрувальним елементом, обмеженим по периферії жорсткою рамою (пат. № KR20150144539A).

За структурою фільтрувальної перегородки розрізняють фільтри з фільтрувальною перегородкою у вигляді сітки, решета, перегородкою об'ємної фіксованої форми, перегородкою у вигляді шару нетканого матеріалу та насипною фільтрувальною перегородкою.

Фільтрувальні перегородки у вигляді нерухомого пакета круглих сіток однакового діаметра з різним розміром комірок (пат. № CN476860A та DE1660445A1, заявка № DE102017221279A1) або сіток з живим перерізом, що збільшується в напрямку руху потоку розплаву (заявка № EP0911140A2).

Встановлена в конічному корпусі фільтрувальна перегородка у вигляді нерухомого пакету круглих сіток різного діаметра з різним розміром комірок (пат. № FR516398A) або аналогічних щілинних реіток (пат. № FR624466A).

Фільтрувальна перегородка у вигляді змотуваної в рулон сітки забезпечує швидку зміну забрудненої ділянки сітки в процесі роботи екструдера (пат. № CH667615A5, FR2196227A1 і CN107584746A, а. с. № SU642184A1).

Фільтри аналогічного принципу дії містять не одну, а дві сітки, що дає змогу знімати одну з них для очищення за межами екструдера, не перериваючи процес екструзії (пат. № CH673009A5, заявка № EP2789447A1).

Фільтрувальна перегородка у вигляді змотуваної в рулон сітки, що контактує із зовнішньою поверхнею перфорованого циліндричного барабана (пат. № FR2301354A1, GB1504071A, DE2554645A1 і SU913925A3).

Фільтрувальна перегородка у вигляді рухомої сітки, розташованої в похилому робочому каналі вздовж осі черв'яка, забезпечує швидку заміну забрудненої ділянки сітки (заявки № WO2016/131072A2, EP3292981A1; рис. 2.12, а).

У багатостадійному фільтрі періодичної дії розплав проходить фільтрувальний елемент у вигляді співвісної з черв'яком екструдера свічки, що складається з декількох концентричних сіток (пат. № KR20180028954A та JP2018039006A, заявки № EP3292982A1 та US2018/071967A1; рис. 2.12, б). Для збільшення поверхні фільтрування сітки можуть бути виконані з поздовжніми гофрами.

Разом з фільтрувальними перегородками у вигляді однієї або декількох сіток широко застосовують перегородки у вигляді решета – листа з виконаними в ньому отворами або щілинами, які для зниження ймовірності забивання виконують такими, що розширюються за ходом розплаву (пат. № JP2017113926A, заявка № WO96/31267A1).

Найпростішими є плоскі решета (пат. № CH360491A, FR2380867A1, GB2182279A, DE2707351A1, KR20180028494A, JP2018089828A та CN207290866U, а. с. № SU1288091A1 і SU1388308A1, заявка № EP3323589A1).

Опуклі решета знижують ймовірність утворення застійних зон (пат. № FR2144032A5), а увігнуті у вигляді сферичного сегмента або конуса характеризуються підвищеною міцністю та жорсткістю (пат. № CH570826A5, FR2175974A1, DE2310965A1, DE3742964A1, DE202010014709U1 та US5756129A, заявки № EP0914927A2, DE19937732A1, WO2012/055528A1 і WO2015/124306A1). Опуклі по центру та увігнуті по периферії круглі решітки характеризуються високою жорсткістю, проте вони сприяють виникненню небажаного градієнта швидкості розплаву в радіальному напрямку (пат. № US2539129A).

Для збільшення жорсткості плоских фільтрувальних елементів на одній з їхніх поверхонь виконують виступи й западини, що чергуються між собою (заявки № DE102019112523A1 та US2019/366614A1).

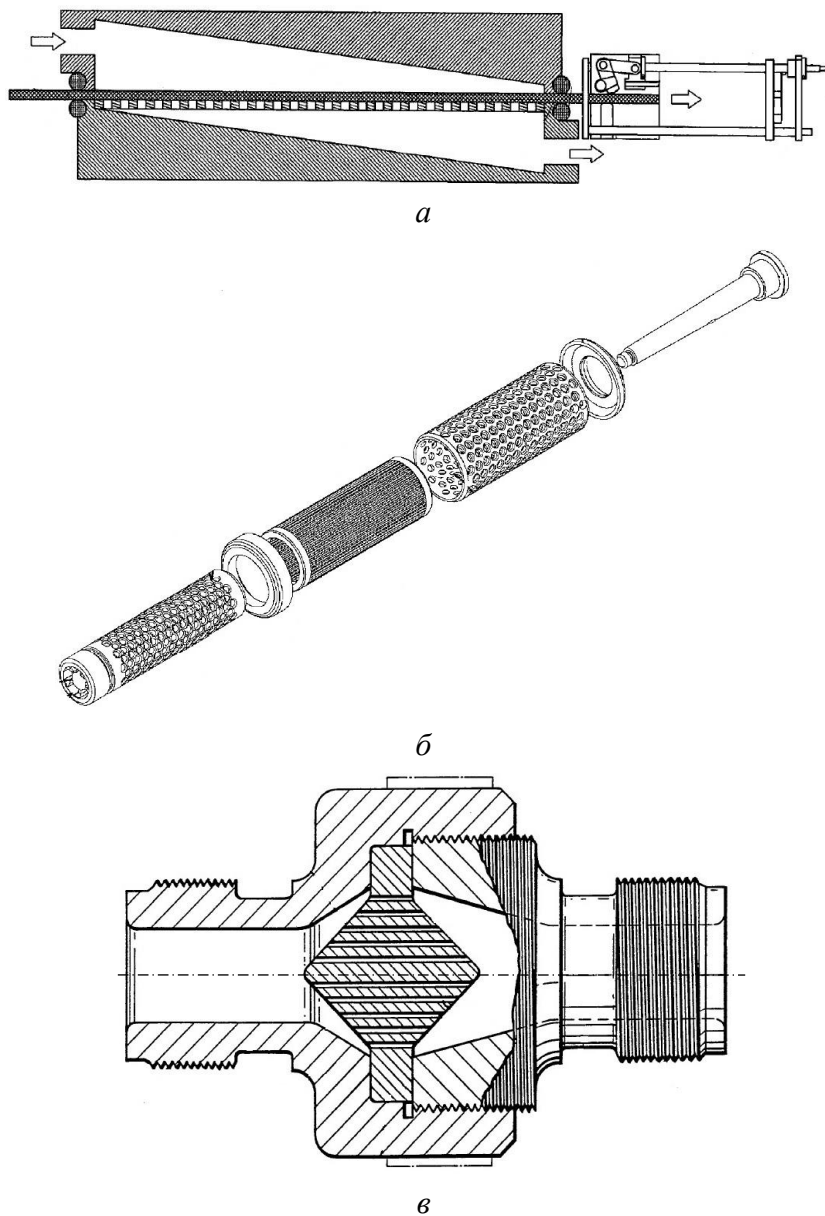


Рис. 2.12. Фільтри з фільтрувальними елементами у вигляді сіток (а, б) і решітки (в):
а – заявки № WO2016/131072A2 та EP3292981A1; б – пат. № KR20180028954A
та JP2018039006A, заявки № EP3292982A1 та US2018/071967A1;
в – пат. № GB2236261A

Для вирівнювання швидкості потоку по поперечному перерізу каналу решето може мати товщину, що зменшується від центра до периферії (заявки № EP0914927A2 та US2002/107326A1), при цьому діаметр отворів решета може зменшуватися від центра до периферії (пат. № US5346383A).

З цією самою метою, а також для унеможливлення утворення застійних зон фільтр виконують у вигляді подвійного перфорованого конуса (пат. № GB2236261A; рис. 2.12, б). Недолік фільтра – висока матеріалоемність.

Фільтрувальна перегородка у вигляді двох шарів нетканого матеріалу: шару, що примикає до опорної плити, з коротких металевих волокон, а також

розташованого на ньому шару з довгих волокон (пат. JP2016196176A). В аналогічному фільтрі пакет фіксується сіткою (пат. № JP2017136582A).

Фільтрувальна перегородка об'ємної фіксованої форми у вигляді спеченого металевого пористого матеріалу з кількістю комірок від 50 до 40000 на 1 см² (пат. № FR2108392A5 і GB1347335A).

Фільтрувальні перегородки у вигляді сукупності окремих не скріплених один з одним елементів (насипні фільтрувальні перегородки) за задовільної роздільної здатності забезпечують рівномірний розподіл розплаву по поперечному перерізу каналу. При цьому у фільтрах можуть бути використані елементи, подібні до елементів насадок масообмінних колон [51–53].

Фільтрувальні перегородки у вигляді укладеного на опорній решітці й накритого захисною сіткою шару однакових кульок діаметром 2–12 мм (пат. № CN475373A, FR1590457A та GB1171735A), а також частинок неправильної форми (пат. № GB1460396A).

Для фільтрування та підвищення рівномірності потоку розплаву кільцеву плівкову головку оснащено порожниною, заповненою однаковими або різними частинками чи гранулами різної форми (пат. № US4681721A).

За формою фільтрувальної перегородки розрізняють фільтри з плоскою, сферичною, циліндричною й конічною фільтрувальними перегородками, при цьому дві останні можуть бути як гладкими, так і гофрованими.

Фільтрувальні елементи у вигляді сукупності порожнистих перфорованих дисків, порожнини яких сполучаються з центральною перфорованою трубою (пат. № JP2018001052A, JP2019034432A, JP2019081360A та JP2016185666A; рис. 2.13, а). Фільтр має велику поверхню фільтрування, але складний в очищенні.

Фільтр з нерухомою циліндричною перегородкою, що охоплює кінцеву ділянку черв'яка, при цьому розплав рухається від внутрішньої поверхні гільзи до зовнішньої (пат. № CN434720A).

Фільтри з циліндричною перегородкою монтують у головці для виготовлення рукавної плівки, при цьому розплав рухається від внутрішньої поверхні перегородки до зовнішньої (а. с. № SU712257A1).

Фільтр із співвісним з черв'яком циліндричним фільтрувальним елементом у вигляді коаксіальних перфорованих циліндрів з торцевими перфорованими кільцевими перегородками між ними (а. с. № SU1695965A1; рис. 2.13, б). Елемент має високу питому поверхню фільтрування, проте під час його очищення у відходи потрапляє велика кількість розплаву.

Фільтр з циліндричною перегородкою, що має радіальні ступінчасті канали, переріз яких зменшується за ходом руху розплаву – від внутрішньої поверхні елемента до зовнішньої (заявка № WO00/29196A1; рис. 2.13, в). Недолік цієї конструкції – складність виготовлення й видалення виділених домішок.

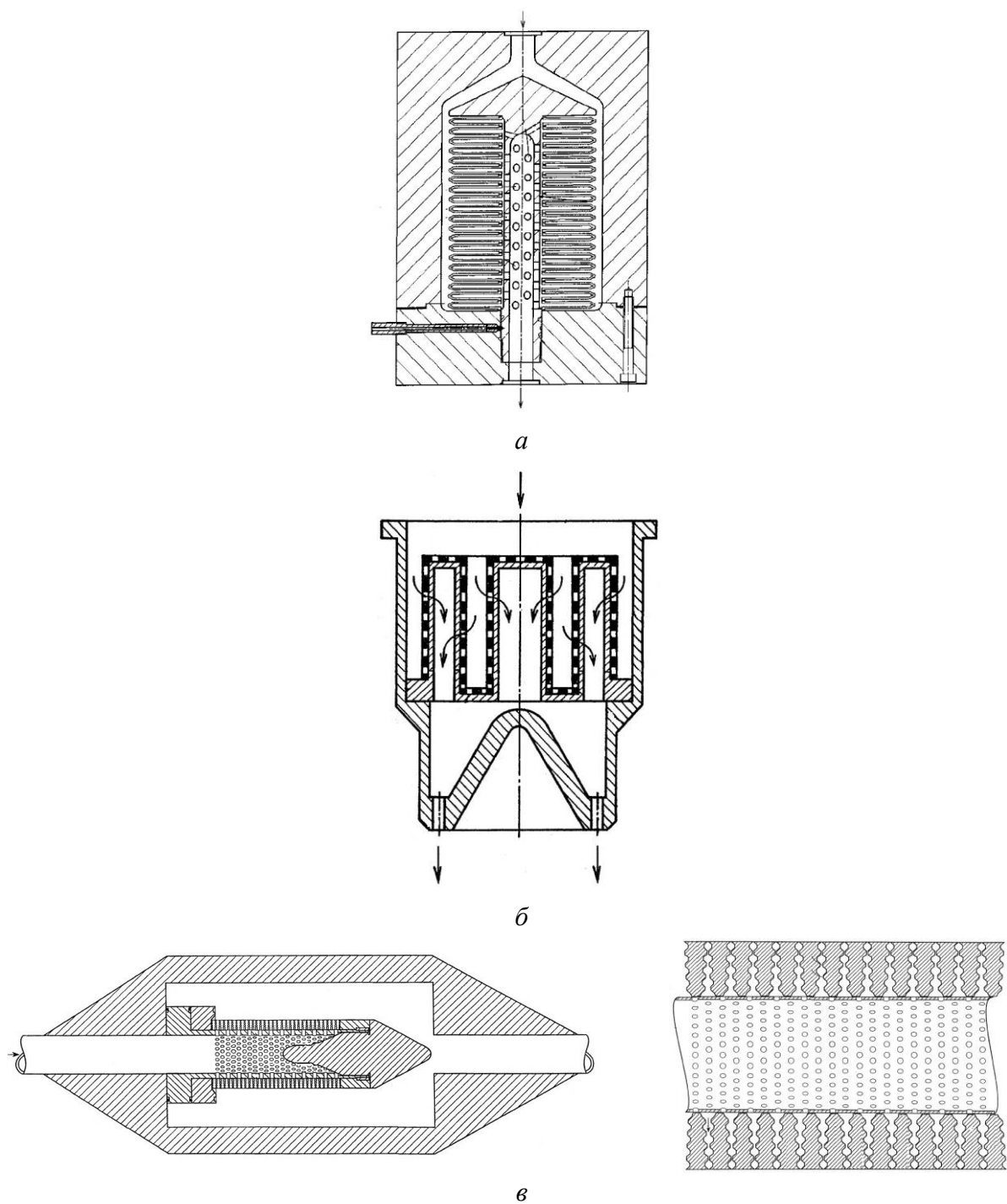


Рис. 2.13. Фільтри з порожнистими перфорованими дисками (а) і циліндричними стаканами (б, в): а – пат. № JP2016185666А; б – а. с. № SU1695965А1; в – заявка № WO00/29196А1

Аналогічні переваги й недоліки має фільтр із сукупністю співвісних з черв'яком фільтрувальних елементів у вигляді пористих циліндричних склянок (а. с. № FR2127216А5).

Фільтр з поперечним відносно черв'яка циліндричним фільтрувальним елементом та його безперервним очищенням (пат. № KR20180124024А та

JP2019502581A, заявка № EP3406417A1). Видалення виділених на зовнішній поверхні домішок здійснюється зворотним потоком розплаву.

У фільтрі аналогічної конструкції очищення зовнішньої поверхні фільтрувального елемента також можливе скребком, встановленим з боку зовнішньої поверхні фільтрувального елемента (пат. № KR20160021818A).

За можливістю зміни прохідного перерізу фільтра розрізняють фільтри з фіксованим і регульованим прохідним перерізом.

Більшість фільтрів мають фіксований прохідний переріз, проте розроблено фільтр з фільтрувальною перегородкою у вигляді двох встановлених з можливістю повороту одна відносно одної решіток з круглими отворами (пат. № CN599855A5). Взаємним поворотом решіток регулюють живий переріз фільтра.

За ступенем рухливості фільтрувальних елементів розрізняють статичні, динамічні та комбіновані фільтри.

Більшість конструкцій належить до статичних фільтрів, тобто фільтрів з нерухомим у процесі роботи фільтрувальним елементом.

У динамічному фільтрі фільтрувальна пластина, що коливається, знижує в'язкість розплаву й полегшує виділення з нього сторонніх домішок (заявка № EP3308940A1).

Динамічний фільтр виконано у вигляді перфорованого диска, який жорстко закріплено в діаметральній площині на циліндричному хвостовику черв'яка та обертається разом з ним (заявка № WO00/54958A1).

У комбінованому фільтрі до наконечника черв'яка своєю вершиною прикріплено конічний фільтрувальний елемент, що обертається разом з ним, всередині якого розміщено нерухомий циліндричний фільтрувальний елемент, прикріплений до формувальної головки (а. с. № SU1597286A1).

Комбінований фільтр виконано у вигляді двох перфорованих дисків, що прилягають один до одного, один з яких нерухомо закріплено в корпусі екструдера, а другий обертається разом з черв'яком (пат. № US5055027A). Фільтр сприяє диспергуванню компонентів перероблюваного матеріалу.

За наявністю додаткових функцій розрізняють фільтри без додаткових функцій та із зазначеними функціями, зокрема дегазацією, нагріванням, охолодженням, термостабілізацією розплаву та його нагнітанням (підвищенням тиску).

Суміщений з черв'яком екструдера циліндричний перфорований фільтрувальний елемент разом з гільзою корпуса екструдера забезпечує дегазацію розплаву (заявка № WO2005/087477A1).

Корпуси фільтрів охолоджуються для підвищення в'язкості розплаву й попередження його витоків в місцях контакту фільтрувальних решіток з екструдером і формувальною головкою (пат. № GB2096912A і FR2504820A3, а. с. № SU630088A1). Така конструкція фільтрів сприяє герметизації з'єднань

«екструдер – фільтр» і «фільтр – формувальна головка», проте під час проходження фільтра потоком розплаву збільшує нерівномірність швидкості по його перерізу.

Пластинчастий шибер з двома фільтрувальними елементами оснащено паровим змієвиком для обігріву фільтра й скорочення часу підготовки екструдера до пуску (а. с. № SU1399156A2). З аналогічною метою на вході в екструзійну головку встановлено фільтр з електрообігрівом (пат. № CN207156409U).

Пластинчастий шибер з двома фільтрувальними елементами оснащено нагрівниками для полегшення зміни фільтрувальних елементів і пристроєм охолодження для поліпшення ущільнення шибера у фільтрі (а. с. № SU1407828A2).

Корпуси фільтрів з перемотуваним стрічковим фільтрувальним елементом оснащено каналами для теплоносія, що забезпечує нагрівання або охолодження як корпусу, так і фільтрувального елемента (пат. № FR1527722A, FR2332113A1, GB1285702A, GB1285703A, DE2339057A1, DE202018102350U1 і CN107738431A).

Статичний фільтр з насипною насадкою, елементи якої виготовлено з матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає потрібній температурі розплаву, забезпечує його термостабілізацію (пат. № UA69843U; [54, 55]).

Фільтри з розміщеним після фільтрувальної решітки шестеренним насосом для підвищення тиску розплаву на вході в формувальну головку (пат. № JP2017007141A, JP2017087486A та JP2017213810A, заявка № DE10034468A1).

За матеріалом фільтрувального елемента розрізняють фільтри з фільтрувальними елементами з металів і сплавів, скла, кварцу, кераміки, металокераміки, а також полімерних матеріалів.

Найбільш поширені фільтрувальні елементи з металів і сплавів: вуглецевої та корозійностійкої сталі, бронзи, латуні, міді, нікелю (пат. № GB1439853A), благородних металів (пат. № CH475373A, FR1590457A та GB1171735A). Рідше використовують скло, кварц, кераміку, склокераміку (пат. № CH475373A, FR1590457A та GB1171735A).

Високі експлуатаційні властивості мають полімерні матеріали, наприклад політетрафторетилен (пат. № GB1439853A). Ці матеріали також мають високі технологічні властивості, що забезпечують майже безвідходне виготовлення фільтрувальних елементів [8–10].

Аналіз фільтрів екструдерів для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей показує, що, незважаючи на значне різноманіття їхніх конструкцій, завдяки простоті виготовлення та експлуатації, а також високій надійності найбільш поширеними залишаються традиційні фільтри шиберного, касетного та пробкового типів.

3. ВАЛКОВЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ І ГУМОВИХ СУМІШЕЙ

3.1. Валки з периферійними каналами

Основними робочими органами валкових машин є обігрівні (рідше охолоджувані) валки, що обертаються назустріч один одному з однаковими або різними коловими швидкостями. Геометричні розміри, температура та стан поверхні, а також швидкість обертання валка залежить від технологічного регламенту процесу перероблення пластичної маси або гумової суміші.

Валок має задовольняти такі вимоги:

- конструкція валка має забезпечувати його високу міцність і потрібну жорсткість;
- робоча поверхня валка повинна мати високу твердість, а також стійкість до зношування й хімічну стійкість по відношенню до перероблюваного матеріалу;
- система теплопостачання (термостатування) валка має забезпечувати рівномірну температуру на його робочій поверхні й точність підтримання температури в заданих межах.

Для забезпечення потрібної жорсткості конструкції довжину бочки валка приймають не більше 2,5...4,0, а довжину шийки валка – у межах 0,4... 0,5 діаметра його бочки.

Валки валкових машин виготовляють з чавунного чи сталевих лиття. Натепер, незважаючи на деякі недоліки чавуну (менший, порівняно зі сталлю, модуль пружності, неоднорідність структури), він широко використовується для виготовлення валків вальців і каландрів. Технологія відливання чавунного валка в металеву вертикальну форму (кокіль) дає змогу отримувати на робочій поверхні бочки високу твердість за рахунок утворення на ній вибіленого шару завглибшки 8...25 мм з твердістю 42...65 HRC.

У каландрах, призначених для виготовлення плівкових матеріалів, завдяки вищим фізико-механічним властивостям зазвичай застосовуються сталеві валки. Це пов'язано насамперед з більшим, порівняно з чавуном, модулем пружності, більшою твердістю робочої та опорних поверхонь валка, що дає змогу використовувати більш компактні підшипники, а також кращою теплопровідністю й можливістю досягнення високого ступеня чистоти поверхні (для валків вальців від Ra 0,40 до Ra 0,100 та для валків каландрів від Ra 0,100 до Ra 0,025). Крім того, завдяки кращому опору сталевих валків дії розпирних зусиль, що спричиняють його прогин, забезпечується менша різнотовщинність одержуваних виробів по їхній ширині.

Використання сталевих валків для перероблення полівінілхлоридних композицій з великим вмістом пластифікатора обмежено внаслідок високої

адгезії таких композицій до сталі. Тому сталеві валки зазвичай використовуються для перероблення непластифікованого полівінілхлориду. Для забезпечення можливості перероблення пластифікованого полівінілхлориду робочу поверхню валка хромують або наплавляють шаром вольфрамомолібденової сталі. Виготовлення всього валка з хромомолібденової або хромонікелевої сталі доцільно тільки в технічно обґрунтованих випадках через значне збільшення його вартості.

Міцність сталевих валків з хромомолібденової сталі набагато перевищує міцність чавунних валків. Крім того, твердість робочої поверхні сталевих валків може бути вищою, ніж твердість поверхні чавунних валків. Це зменшує зношування й пошкодження валків під час експлуатації. Якщо твердість робочої поверхні валка з чавуну досягає 42...55 HRC, то твердість загартованих сталевих валків – 50...55 HRC. Аналіз існуючих технічних рішень показує, що у більшості випадків валки каландрів мають твердість 50 HRC. Після гартування робочу поверхню валки шліфують і полірують.

Система теплопостачання валка має забезпечувати рівномірне температурне поле його робочої поверхні [56, 57]. Незважаючи на наявність валків з електричним, індукційним або паровим обігрівом найбільшого поширення набули валки з рідким теплоносієм. Такі валки характеризуються ширшими технологічними можливостями, оскільки дають змогу не тільки нагрівати, а й охолоджувати їхню робочу поверхню.

Існують різні типи систем рідинного теплопостачання валків. Найбільш простими є валки з центральною ступінчастою порожниною, всередину якої подається теплоносій. Найчастіше вони застосовуються у вальцях (рідше в каландрах) для перероблення гумових сумішей. До недоліків такої конструкції відносяться значні термічні напруження, що виникають у матеріалі валка, і падіння температури на 10...15 °C у торців бочки валка, що погіршує якість продукції й передбачає зменшення її ширини на величину до 25...30 % довжини бочки валка.

Більше доцільним є обігрівання валків рідким теплоносієм, що рухається в каналах, виконаних по периферії валка поблизу його робочої поверхні. Периферійні канали, діаметр яких зазвичай становить 30–40 мм, зазвичай розташовані на відстані 25–60 мм від поверхні валка (рис. 3.1) [56–59].

У великогабаритних валках діаметром понад 660 мм кожен з каналів сполучається з центральним отвором, а у валках меншого діаметра канали об'єднуються в секції (зазвичай по три в кожній секції), забезпечуючи потрібні міцність і жорсткість валка, а також його тепловий режим.

Найбільш ефективним теплоносієм, який використовується для подавання у валки з периферійними каналами за температури перероблення до 200...220 °C, є вода. За більш високої температури застосування води

утруднено через великий робочий тиск у комунікаціях, тому для нагрівання валків до температури понад 200...220 °С зазвичай використовують високотемпературні органічні мінеральні теплоносії, які забезпечують необхідну температуру валка при тиску трохи більше 0,3 МПа. У зв'язку з низькою питомою теплоємністю та необхідністю збільшення швидкості теплоносія використання високотемпературних органічних теплоносіїв за температури до 200 °С недоцільно. Під час вибору теплоносіїв цього типу варто враховувати, що деякі з них є вибухонебезпечними, токсичними, а висока текучість потребує складних ущільнювальних пристроїв.

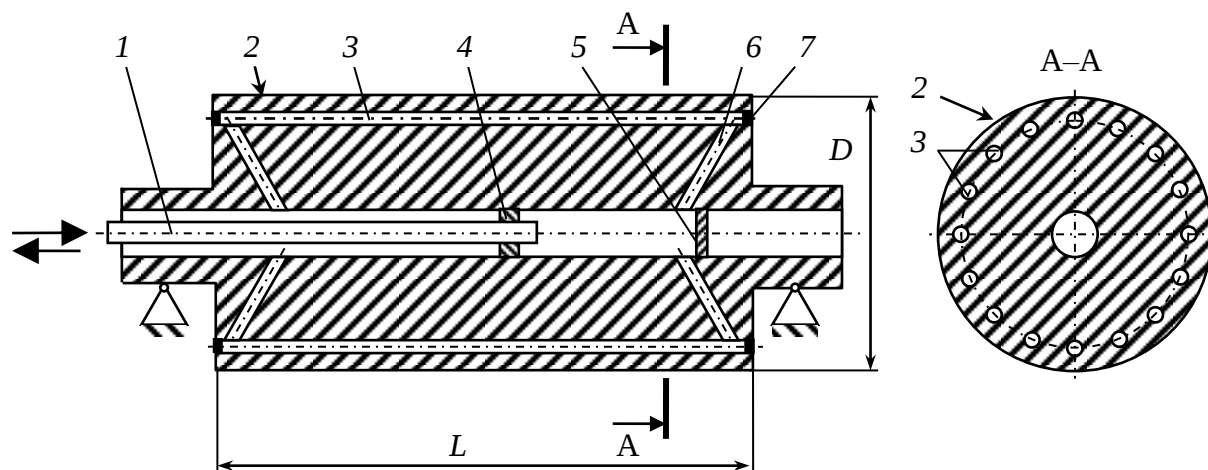


Рис. 3.1. Схема валка з периферійними каналами: 1 – труба для подавання теплоносія; 2 – робоча поверхня бочки валка; 3 – периферійний канал; 4 – поршень; 5 – заглушка; 6 – похилий канал; 7 – пробка периферійного каналу

Для забезпечення більш високих температур перероблення пропонуються валки з комбінованим обігрівом: між сусідніми периферійними каналами для руху рідкого теплоносія можуть виконуватися периферійні канали з електронагрівниками (пат. № UA26864U). Однак додаткова система нагрівання суттєво ускладнює конструкцію валкової машини. Крім того, електричний обігрів валків характеризується досить великою інерційністю, а також необхідністю забезпечення додаткових заходів техніки безпеки та малим терміном служби системи обігріву.

У табл. 3.1 наведено основні геометричні характеристики валків каландрів та вальців цієї конструкції, що випускаються Першим київським механічним заводом (колишній завод «Більшовик», м. Київ, Україна). В інших країнах випускають валки з діаметром до 1000 мм і довжиною бочки до 3050 мм (фірма «Nippon Roll» (Японія)) [60].

Як було зазначено, однією з умов отримання високоякісної продукції на валкових машинах є забезпечення рівномірного температурного поля робочої поверхні кожного валка.

Таблиця 3.1. Геометричні параметри валків з периферійними каналами

Діаметр бочки валка D , мм (дюймів)	500 (20)	660 (26)	710 (28)	710 (28)	850 (33,5)	950 (37,5)
Довжина бочки валка L , мм	1250	2100	1800	2800	2400	2800
Кількість периферійних каналів	18	24	24	24	32	34
Діаметр периферійного каналу, мм	35	35	35	35	35	35
Відстань між периферійними каналами по дузі кола, мм	70	75	72	75	72	73
Діаметр розташування поздовжніх осей периферійних каналів, мм	400	570	550	570	730	790
Діаметр центрального отвору валка, мм	120	150	150	150	180	200

У валках діаметром 710 мм і більше задля забезпечення рівномірної температури робочої поверхні валка часто реалізують зустрічний рух теплоносія у сусідніх периферійних каналах, кожен з яких сполучено з центральним отвором [56].

Внаслідок інтенсивних теплових втрат з торцевих ділянок бочки валка, що обумовлено наявністю відкритих поверхонь заплечиків бочки, а також вільних від перероблюваного матеріалу поверхонь бочки валка (поблизу обмежувальних стріл), температура зазначених ділянок порівняно із середньою частиною бочки дещо знижується.

Похилі канали для входу та виходу теплоносія в периферійні канали, а також виконані поблизу торців з'єднувальні ділянки сусідніх периферійних каналів кожної з їх секцій забезпечують більш інтенсивний обігрів торців бочок валка та мінімальний перепад температури вздовж його робочої поверхні (пат. № DE2315669A1, UA4256U, UA4257U, UA34445U).

Для компенсації зниження температури робочої поверхні валка поблизу торців його бочки пропонують інші конструктивні рішення. Так, запропоновано периферійні канали виконувати не паралельно поздовжній осі валка, а під кутом до неї, тобто такими, що перехрещуються з поздовжньою віссю валка (а. с. № SU1426808A1). У цьому разі сукупність периферійних каналів у просторі утворюють не циліндр, а однополий гіперболоїд, при цьому відстань (а отже й термічний опір) від робочої поверхні до відповідного периферійного каналу по краях буде менше, ніж по центру, в результаті чого температурне поле вздовж бочки валка дещо вирівнюється. Недолік такої конструкції – складніше виготовлення периферійних каналів порівняно з каналами, що мають паралельні осі (рис. 3.2).

Також для збільшення поверхні тепловіддачі на кінцевих ділянках периферійних каналів з боку робочої поверхні валка можуть бути виконані поздовжні пази, що підвищують величину теплового потоку від теплоносія до валка (пат. № UA57848U; рис. 3.3).

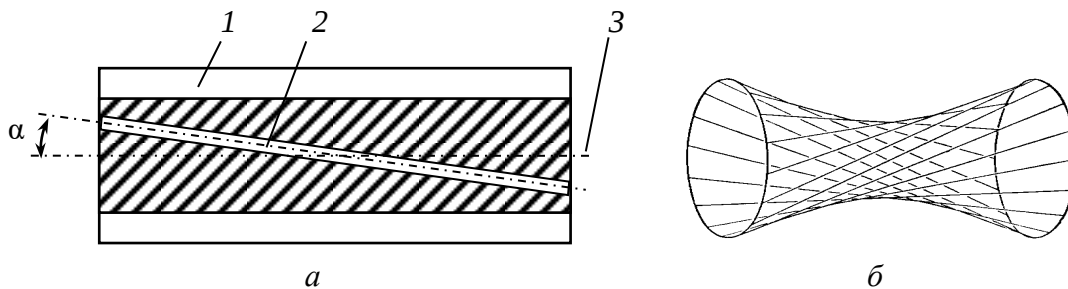


Рис. 3.2. Конструкція валка з периферійними каналами, які розташовані під кутом α до його поздовжньої осі (а. с. SU1426808A1): а – розріз бочки валка по одному з периферійних каналів; б – схема розташування периферійних каналів у просторі;
1 – бочка валка; 2 – периферійний канал; 3 – поздовжня вісь валка

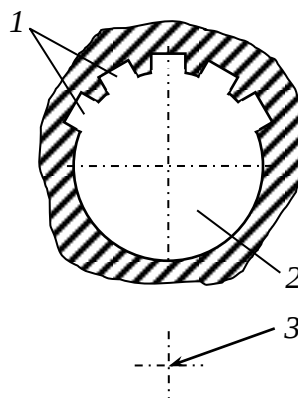


Рис. 3.3. Поперечний переріз кінцевої ділянки периферійного каналу (пат. № UA57848U):
1 – поздовжні пази; 2 – периферійний канал; 3 – поздовжня вісь валка

Одними з пристроїв, що забезпечують заданий режим руху теплоносія на кінцевих ділянках периферійних каналів, є різні турбулізатори, які зазвичай закріплюються на торцевих різбових пробках і виконуються, наприклад, у вигляді подвійного конуса або спіральної конічної пружини (рис. 3.4).

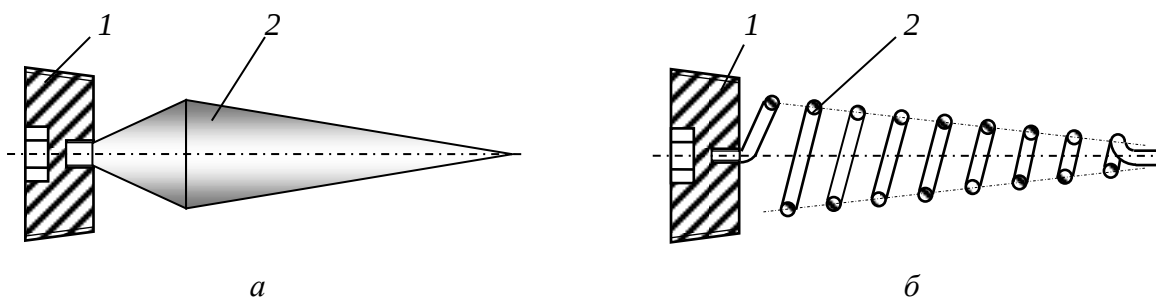


Рис. 3.4. Конструкції торцевих різбових заглушок периферійних каналів:
а – як подвійного конуса [61]; б – у вигляді спіральної конічної пружини (пат. № UA18299U); 1 – торцева різбова пробка; 2 – турбулізатор

У валку згідно з а. с. № SU1391906A1 описано турбулізатор, виконаний у вигляді пластини, у якій можна регулювати ступінь її закрутки за допомогою стрижня різбового, що проходить крізь торцеву різбову пробку.

Істотними недоліками цієї конструкції є складність виготовлення валка, а також необхідність ущільнення з'єднання «різбовий стрижень – пробка».

Також запропоновано конструкції, які дещо знижують гідравлічний опір валків: на кінцевих ділянках периферійних каналів у місцях стрімкої зміни напрямку руху теплоносія (із похилих каналів у периферійні та навпаки) встановлюються спеціальні обтічники.

Зокрема згідно з пат. № UA27697U пробка містить конічний корпус із зовнішньою різьбою, з поглибленнями під ключ на більшій основі й співвісною насадкою на меншій основі, при цьому насадку виконано у вигляді циліндра, діаметр якого відповідає діаметру периферійного каналу, з западиною на зовнішній торцевій поверхні (рис. 3.5, а).

У кінцевих ділянках периферійних каналів валка виконано розточки, в уступ кожної з яких упирається пружна зігнута пластинка, середня частина якої при цьому підтискається відповідною пробкою (пат. № UA43734U; рис. 3.5, б).

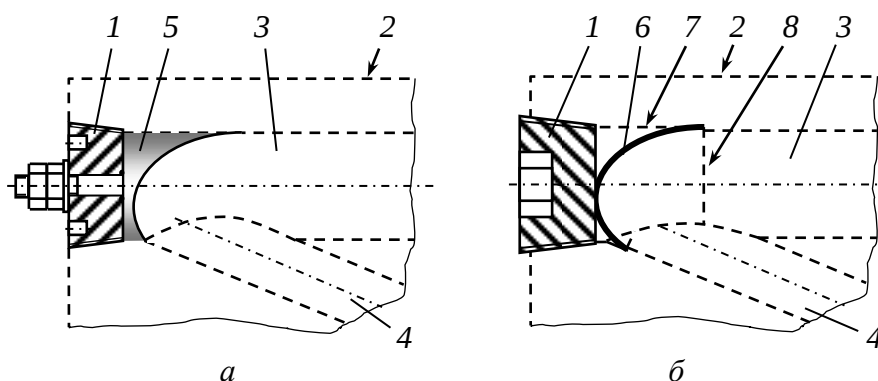


Рис. 3.5. Конструкції обтічників, що знижують гідравлічний опір валків:

а – згідно з пат. № UA27697U; б – згідно з пат. № UA43734U; 1 – торцева різьбова пробка; 2 – робоча поверхня бочки; 3, 4 – периферійний і похилий канали; 5 – циліндрична насадка; 6 – пружна вставка; 7, 8 – розточка периферійного каналу та її уступ

У разі комбінованого нагрівання можна забезпечити не тільки можливість перероблення за більш високої температури, а й рівномірність температурного поля валка. Так, між периферійними каналами валка для руху рідини розташовано додаткові периферійні канали з розміщеними в них електронагрівниками, кожен з яких виконано у вигляді стрижневого індуктора із закріпленими на ньому феромагнітними втулками (пат. № UA38902U; рис. 3.6). При цьому для забезпечення рівномірного температурного поля на робочій поверхні валка товщина стінок феромагнітних втулок може зменшуватися або крок розташування може збільшуватися від кінців периферійного каналу до його центру. Проте додаткова система нагрівання суттєво ускладнює конструкцію валкової машини.

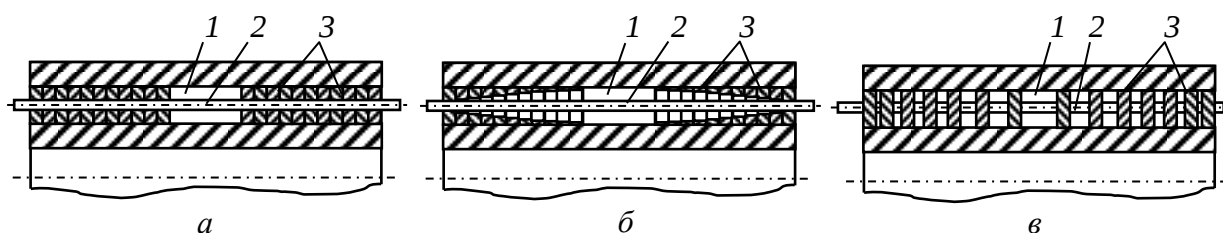


Рис. 3.6. Варіанти виконання валка з комбінованим обігрівом за пат. № UA38902U:

- a* – з однаковими рівномірно розташованими феромагнітними втулками;
б – з феромагнітними втулками різної товщини; *в* – з однаковими нерівномірно розташованими феромагнітними втулками; 1 – периферійний канал;
 2 – стрижневий індуктор; 3 – феромагнітні втулки

Також для досягнення рівномірного температурного поля робочої поверхні валка запропоновано конструкції з використанням теплових труб.

Так, у валку згідно з а. с. № SU515642A1 периферійні канали (безпосередньо або за допомогою розташованих у них знімних трубок) заповнені пористим матеріалом, просоченим легкокиплячою рідиною, температура кипіння якої забезпечує необхідну температуру валка. При цьому похилі канали у валку відсутні, а тепловий потік до теплових труб підводиться від теплоносія, що рухається безпосередньо в центральному каналі (рис. 3.7, *a*). Істотний недолік цього валка – значний термічний опір.

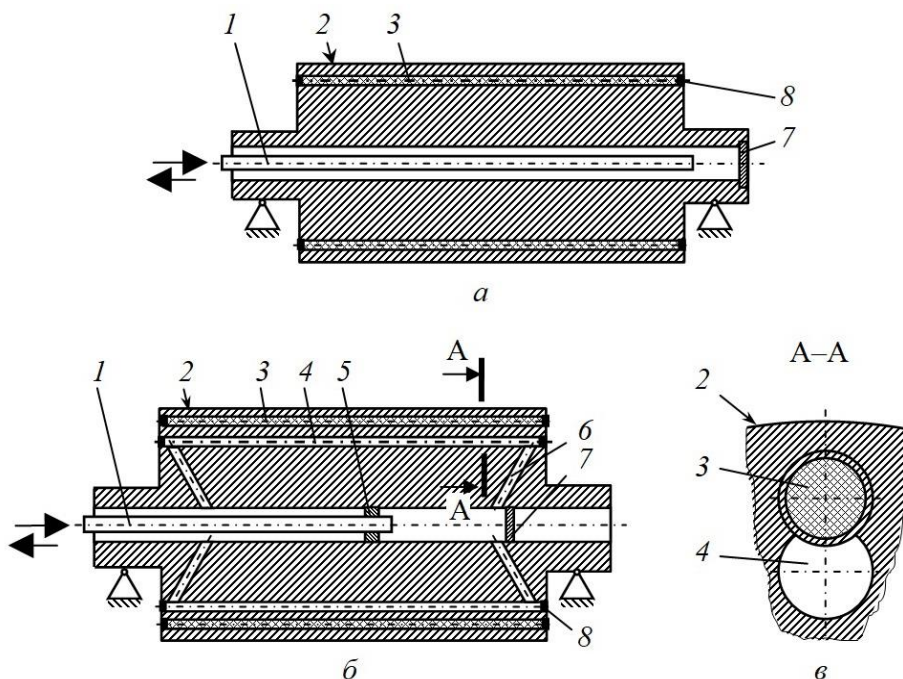


Рис. 3.7. Схема валка з використанням теплових труб:

- a* – згідно з а. с. № SU515642A1; *б* – згідно з а. с. № SU1353607A1;
в – згідно з а. с. № SU1360994A2; 1 – труба для подачі теплоносія;
 2 – бочка валка; 3 – периферійний канал із тепловою трубою;
 4 – периферійний канал для руху теплоносія; 5 – поршень; 6 – похилий канал;
 7 – заглушка; 8 – торцева різьбова пробка

В іншій конструкції валка (а. с. № SU1353607A1) виконано два ряди периферійних каналів: у каналах, віддалених від робочої поверхні валка, рухається рідкий теплоносій, а в наближених до неї розміщено просочений легкокиплячою рідиною пористий матеріал (рис. 3.7, б).

Конструкція згідно з а. с. № SU1360994A2 аналогічна попередній, проте вона відрізняється меншим термічним опором та інерційністю, оскільки обидва відповідні паралельні канали виконано такими, що перетинаються, при цьому просочений легкокиплячою рідиною пористий матеріал розміщується в трубках (рис. 3.7, в).

Також пропонуються різні конструкції для інтенсифікації процесу тепловіддачі між теплоносієм і валком, що рухається в периферійних каналах, зокрема, виконані у вигляді скручених по довжині пластинчастих перегородок з можливістю зміни кроку закрутки по всій довжині периферійного каналу (а. с. № SU1623865C1).

У валках згідно із заявкою № GB2121919A і пат. № UA3939U змінено конструкцію не периферійних каналів, а центрального каналу, який у межах бочки має розточку, перекриту трубою, кінці якої закріплені на стінках центрального каналу цапф (рис. 3.8). Така конструкція істотно знижує матеріало- та енергоємність валка та значно зменшує небажаний теплообмін між потоками теплоносія у периферійних і центральному каналах.

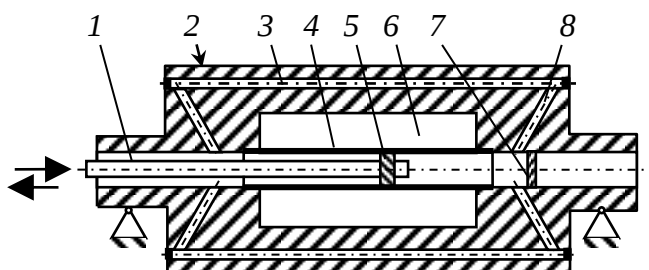


Рис. 3.8. Схема валка з периферійними каналами згідно з пат. № UA3939U:
1 – труба для подачі теплоносія; 2 – робоча поверхня бочки; 3 – периферійний канал;
4 – труба; 5 – поршень; 6 – розточування; 7 – заглушка; 8 – похилий канал

Одним з елементів вузла підведення теплоносія до валку, що обертається, є труба для подачі теплоносія (див. рис. 3.1, 3.7, 3.8). Застосування сталевих труби (вибір матеріалу визначається необхідністю досягнення необхідних міцності й жорсткості цієї деталі), яка має низький термічний опір і довжина якої часто досягає двох метрів, призводить до переохолодження теплоносія, що надходить до валка, у разі його обігріву та перегріву у разі охолодження валка. Крім того, металева поверхня сприяє відкладенню на ній забруднень, що збільшує гідравлічний опір валка.

Для часткового усунення зазначених недоліків запропоновано щонайменше на одну поверхню труби для подачі теплоносія наносити

полімерне покриття, наприклад, з політетрафторетилену (пат. № UA1672U). Так, наприклад, покриття труби $\varnothing 57 \times 3,5$ мм і завдовжки 2 м валка $\varnothing 850 \times 2400$ мм каландру полімером товщиною 0,5 мм забезпечує економію енергії до 1,8 кВт.

Аналіз вищенаведених конструкцій валків з периферійними каналами, а також досвід їх експлуатації свідчить, що, незважаючи на явні переваги деяких з них, найбільш затребуваними промисловістю залишаються традиційні валки з циліндричними периферійними каналами для руху рідкого теплоносія, в конструкціях яких можуть бути внесені незначні зміни.

3.2. Порожністі валки

У великотоннажних виробництвах промисловості перероблення високомолекулярних сполук широкого поширення набули валкові машини – вальці й каландри [18]. Робочими органами валкових машин є валки, які в процесі перероблення полімерів та пластичних мас зазвичай обігріваються, а в процесі перероблення гумових сумішей – охолоджуються [5, 56, 57, 59].

Найбільшого поширення набули два типи валків: з центральною розточеною порожниною (порожністі валки), а також з периферійними каналами, розташованими вздовж робочої поверхні бочки валка [62].

Недоліками порожнистих валків є високі термічні напруження, що виникає в бочці валка (оскільки товщина стінки бочки становить 0,25...0,35 її зовнішнього діаметра [56]), а також падіння температури на 10...15 °C біля торців бочки валка, що призводить до зменшення довжини її робочої частини 25...30 % [63]. Тим не менш, завдяки простоті виготовлення та експлуатації, порожністі валки успішно використовуються під час перероблення матеріалів з відносно низькою в'язкістю, до яких належить багато гумових сумішей.

Аналіз конструктивного оформлення порожнистих валків валкових машин для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей дає змогу запропонувати їхню класифікацію (рис. 3.9).

За формою порожнини розрізняють валки з циліндричною, біконічною та ступінчастою порожниною.

У валку з циліндричною порожниною для компенсації теплових втрат з торців бочки валка на циліндричній поверхні порожнини біля країв рівномірно по колу виконано поздовжні пази, які збільшують поверхню теплообміну і знижують термічний опір (пат. № UA78651U).

Охолоджуваний валок з біконічною порожниною у вигляді двох зрізаних конусів із спільною більшою основою (пат. № US2970339A). Конструкція валка забезпечує більш інтенсивне охолодження центральної частини (при цьому крайки бочки додатково охолоджуються за рахунок теплових втрат у навколишнє середовище), проте міцність такого валка знижується.



Рис. 3.9. Класифікація порожнистих валків валкових машин для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей

Обігрівний валок з біконічною порожниною у вигляді двох зрізаних конусів із спільною меншою основою (пат. № UA116061U). Конструкція валка не тільки компенсує теплові втрати з торців бочки, а й за збереження потрібної міцності валка знижує його матеріалоемність.

З аналогічною метою порожнину валка виконано ступінчастою з максимальною товщиною бочки по її центру (пат. № GB917181A, DE1183230B). Також у центральній частині порожнини для збільшення її термічного опору може бути закріплено кільцеву вставку з матеріалу з низькою теплопровідністю.

За методом подачі теплоносія в порожнину валка розрізняють валки з наливанням, розбризуванням, плівковою течією та напірною течією теплоносія.

У класичному порожнистому валку теплоносії подається наливанням, заповнює нижню частину порожнини й крізь порожнисту цапфу самопливом ([56, 57], пат. № US1820073A, US1892028A, DE839088C, CN108312373A, CN207901449U) або за допомогою зігнутої трубки (пат. № DE741123C, FR1057672A) видаляється з валка.

Валок з розбризкуванням теплоносія за допомогою форсунок, змонтованих на центральній трубі, а також відведенням відпрацьованого теплоносія крізь порожнисту цапфу самопливом (а. с. № SU698775A1) або крізь внутрішню трубу з вигнутим кінцем (пат. № FR1151333A; рис. 3.10).

Валок з перфорованою П-подібною трубою для розбризкування теплоносія на верхню частину поверхні порожнини валка, при цьому відведення теплоносія здійснюють крізь порожнисту цапфу самопливом (а. с. № SU1004143A1). Недолік валка – різна інтенсивність теплообміну між теплоносієм і валком у верхній та нижній частинах його порожнини.

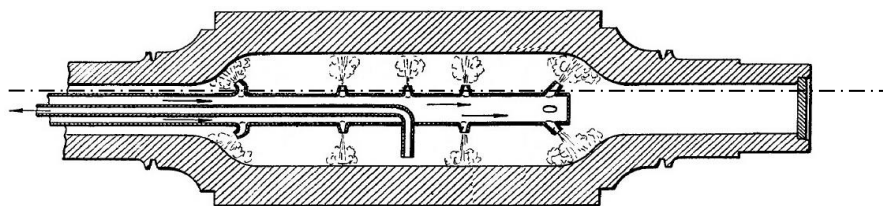


Рис. 3.10. Валок з розбризкуванням теплоносія (пат. № FR1151333A)

Валок з декількома перфорованими П-подібними трубами для розбризкування теплоносія рівномірно по всій поверхні порожнини (пат. № DE517361C). Недолік валка – складність конструкції та неефективна робота форсунок з боку нижньої частини порожнини валка, заповненої «відпрацьованим» теплоносієм.

Порожнистий валок з розташованою в його порожнині Г-подібною трубою з перфорованою ділянкою, виконаною у верхній частині порожнини бочки (пат. № UA66003A). Теплоносій рівномірно розбризкується на поверхню верхньої частини порожнини, при цьому з нижньої частини видаляється самопливом за аналогією з класичним порожнистим валком. Реалізований у верхній частині порожнини плівковий режим течії теплоносія інтенсифікує процес теплообміну.

В удосконаленому валку своєчасне видалення теплоносія з порожнини здійснюється за допомогою аналогічної Г-подібної труби з перфорованою ділянкою, яку розташовано в нижній частині порожнини бочки, що збільшує поверхню плівкового руху теплоносія (пат. № UA15861U). Завдяки нижній Г-подібній трубі «відпрацьований» теплоносій не накопичується у нижній частині порожнини, що забезпечує рівномірну інтенсивність теплообміну по всій поверхні порожнини валка.

Валок з напірною течією теплоносія у гвинтовому каналі, утвореному канавкою на внутрішній поверхні бочки й щільно прилеглої до виступів канавки тонкостінною оболонкою, що монтується всередині валка за допомогою пластичного деформування трубчастої заготовки (пат. № US2908486A, GB793617A); рис. 3.11). Недолік конструкції – підведення й відведення теплоносія з протилежних боків валка, що збільшує його габарити.

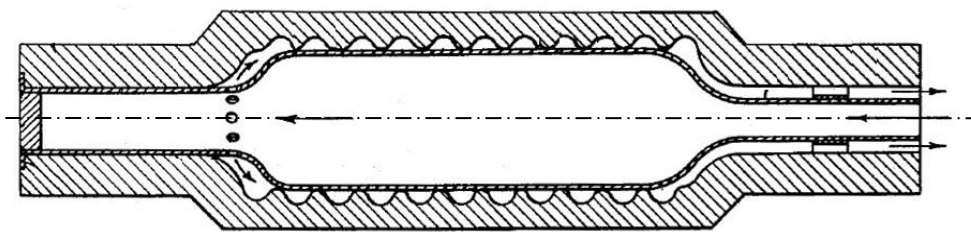


Рис. 3.11. Валок з гвинтовим каналом для теплоносія (пат. № US2908486A, GB793617A)

У бочці валків з напірною течією, що поєднують конструкцію класичних порожнистого валка й валка з периферійними каналами, виконано периферійні канали, теплоносій з яких крізь порожнину самопливом видаляється за межі валка (пат. № FR41090E, FR679329A, DE1023878B).

В удосконаленому валку порожнину перекрито поздовжньою трубою, кінці якої закріплено в осьових каналах цапф валка (пат. № UA3939U). Така конструкція майже повністю виключає теплообмін між відпрацьованим і свіжим теплоносієм в межах валка, що знижує його енергоемність.

За наявністю пристроїв для інтенсифікації теплообміну розрізняють валки з пристроями для інтенсифікації теплообміну та валки без зазначених пристроїв.

Більшість конструкцій порожнистих валків не мають пристроїв для інтенсифікації теплообміну.

Валок з центральною трубою, на якій закріплено дві вертикальні прямокутні пластини для руйнування прикордонного ламінарного шару теплоносія з боку внутрішньої поверхні бочки валка (пат. № DE1141772B). Недолік конструкції – складність монтажу й демонтажу пластин у порожнині валка, а також підвищена витрата теплоносія.

Розбірний валок з конічною вставкою, що розширюється в напрямку потоку теплоносія та оснащена зовнішніми гвинтовими лопатями (пат. № DE1178201B, GB838865A, US2875985A). Теплоносій рухається в кільцевому зазорі, що звужується, між внутрішньою стінкою валка й конічною вставкою, при цьому забезпечується закрутка потоку теплоносія, а також збільшення його швидкості, що інтенсифікує теплообмін і компенсує зниження температури під час руху теплоносія вздовж порожнини валка.

Валок з осьовою трубою для подачі теплоносія із закріпленими на ній конічними шайбами для інтенсифікації теплообміну (пат. № US1820074A). Недолік конструкції – підведення та відведення теплоносія з протилежних торців валка (крізь обидві цапфи), що збільшує його габарити.

За кількістю теплоносіїв розрізняють валки з одним, двома й більше теплоносіями.

Температурний режим робочої поверхні бочок більшості валків забезпечується одним проточним крізь них або циркулюючим у них теплоносієм [56, 57].

Набагато рідше теплоносії перебуває безпосередньо у валку і не виходить за його межі. Наприклад, поверхні порожнини та поздовжніх каналів цапф валка покрито пористим матеріалом, просоченим легкокиплячою рідиною – первинним теплоносієм, при цьому цапфи виконано подовженими та виконують роль конденсаторів (або випарників залежно від нагрівання або охолодження робочої поверхні бочки) (а. с. № SU766869A1). Таким чином, валок виконано у вигляді теплової труби. Перевага конструкції – відсутність поза межами валка магістралей теплоносія, а також насоса для його транспортування. Недолік валка – неможливість регулювання температури в широкому діапазоні її значень, а також збільшена довжина валка та його матеріалоємність.

В удосконаленому валку для інтенсифікації конденсації або випаровування теплоносія на ділянках цапф забезпечують їхнє примусове обдування (а. с. № SU595170A1).

Валок з циліндричною порожниною та поздовжніми периферійними циліндричними герметичними каналами, заповненими пористим матеріалом, просоченим легкокиплячою рідиною – вторинним теплоносієм (а. с. № SU515642A1). Зазначені канали виконують роль теплових труб.

В удосконаленому валку аналогічної конструкції для компенсації теплових втрат їхні кінцеві ділянки біля торців бочки виконано зі збільшеною поверхнею, наприклад, конічними (пат. № UA108662U; рис. 3.12).

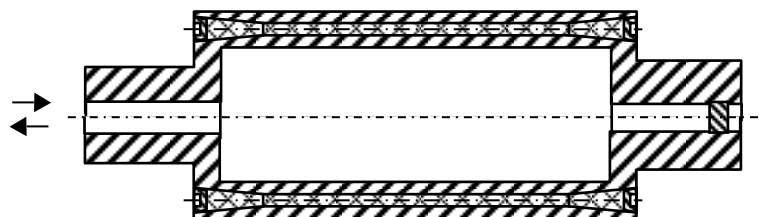


Рис. 3.12. Валок з периферійними тепловими трубами (пат. № UA108662U)

Валок з циліндричною порожниною та поздовжніми периферійними герметичними каналами, заповненими пористим матеріалом, просоченим легкокиплячою рідиною (вторинним теплоносієм), при цьому кінцеві ділянки зазначених каналів виконано герметичними (пат. № UA120214U). Пористий матеріал та/або легкокипляча рідина в кінцевих ділянках периферійних каналів мають інші параметри порівняно з параметрами пористого матеріалу та/або легкокиплячої рідини центральної частини каналів. Така конструкція з двома вторинними теплоносіями забезпечує різний температурний режим вздовж робочої поверхні бочки валка та забезпечує компенсацію теплових втрат з торців бочки валка.

Валок з трьома незалежними зонами нагрівання або охолодження – бочки та обох цапф – відрізняється невиправданою складністю виготовлення

та експлуатації, у тому числі наявністю магістралей трьох потоків одного теплоносія з різними параметрами або трьох різних теплоносіїв (пат. № GB929662A, FR1235760A, US3006610A).

За ступенем складання розрізняють валки у вигляді деталі та у вигляді складальної одиниці.

Валки, виконані у вигляді деталі (цілісної виливки), характеризуються простим виготовленням, але й меншою ремонтпридатністю [56, 57].

Литий валок з циліндричною порожниною та поздовжніми ребрами по її торцях для збільшення поверхні теплообміну та компенсації теплових втрат з боку торців бочки валка (пат. № DE829795C).

Поздовжні ребра виконані по всій довжині порожнини бочки валка (пат. № GB191422105A). При цьому знижується термічний опір бочки, збільшується поверхня теплообміну з боку теплоносія, а також забезпечується висока міцність валка.

З метою компенсації теплових втрат з боку торців бочки валка в торцях бочки вмонтовано електронагрівники (пат. № DE960927C).

Для повного видалення теплоносія з порожнини валка під час його ремонту або обслуговування на кінцях бочки з боку її торців виконані отвори із встановленими в них болтами (пат. № DE1032519B; рис. 3.13).

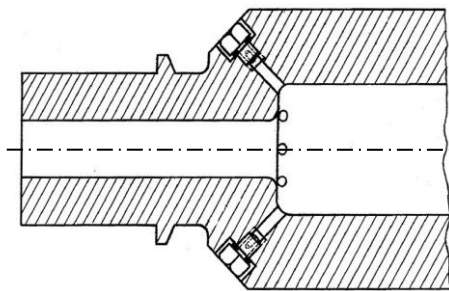


Рис. 3.13. Валок з каналами для видалення теплоносія з порожнини валка (пат. № DE1032519B)

Валки, виконані у вигляді складальної одиниці зазвичай більш складні у виготовленні, проте вирізняються кращою ремонтпридатністю (пат. № DE700390C, FR840302A, FR877810A, CN101148074A, CN201154530Y, CN280460A; рис. 3.14, а).

Валок містить порожнисте осердя зі спіральним пазом на його зовнішній поверхні, перекритої знімною обичайкою з утворенням каналу для теплоносія (пат. № GB191116606A, FR434455A; рис. 3.14, б).

Порожнина розбірного валка заповнено легкоплавкою речовиною, наприклад, металом, що нагрівається за допомогою стрижневих електронагрівників (заявка № DE4016823A1). Перевага конструкції – відсутність розташованої поза межами валка магістралі для руху теплоносія, а недолік – неможливість охолодження валка.

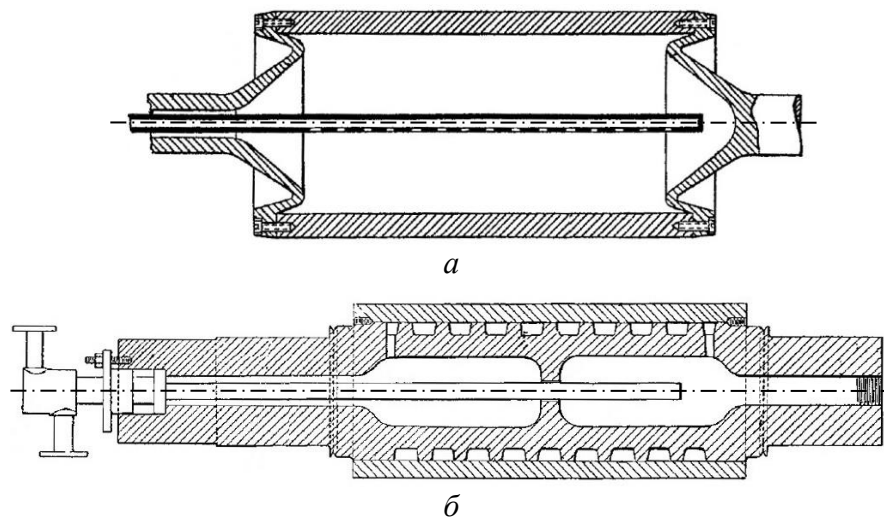


Рис. 3.14. Валки у вигляді складальної одиниці:
a – пат. № CN280460A; *б* – пат. № GB191116606A, FR434455A

За матеріалом валка розрізняють валки з чавуну та/або сталі (у тому числі з наплавленим зносостійким шаром).

У вальцях, у яких реалізуються менші, порівняно з каландрами механічні навантаження, переважно використовуються більш дешевші валки з чавунного лиття, а в каландрах – міцніші валки зі сталевого лиття [5, 56, 57].

Робоча поверхня бочки чавунного валка містить наплавлене високоміцне антикорозійне покриття, яке підвищує зносостійкість та ремонтпридатність валка (пат. № CN202079696U).

Аналіз конструкцій порожнистих валків показує, що протягом більш ніж сторічної їх експлуатації найбільш затребуваними (передусім у промисловості перероблення гумових сумішей) залишаються прості, надійні й досить ефективні чавунні валки з циліндричною порожниною.

4. ОБРОБЛЮВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ВІДФОРМОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

4.1. Охолоджувальне обладнання екструдованих матеріалів і виробів

Найпоширенішим методом безперервного перероблення полімерів є екструзія. Завдяки ефективній підготовці розплаву, а також широкій номенклатурі формувального інструменту екструзією отримують плоскі та рукавні плівки, рулонні матеріали, листи, труби та профілі [5, 18, 25, 64, 65].

Екструзійна технологія досить енергоємна: установка потужність енергетичного обладнання технологічних ліній на базі екструдерів досягає десятків і сотень кіловат. При цьому, якщо довжина ділянки лінії, на якому полімер нагрівається від температури навколишнього середовища до температури плавлення, після чого плавиться, не перевищує двох-трьох метрів (у межах екструдера), то зворотний процес – твердіння відформованого полімеру та подальше його охолодження від температури розплаву до температури довкілля – відбувається на ділянці, довжина якої нерідко сягає десятків метрів [5, 65]. Таким чином, створення ефективних охолоджувальних пристроїв забезпечує не тільки потрібну якість продукції, а й зниження габаритів і матеріалоемності технологічної лінії.

Раніше вже порушувалися питання ефективності методів охолодження полімерної продукції, одержуваної екструзією [66], проте безпосередньо конструкціям пристроїв, що охолоджують, уваги практично не приділялося.

Аналіз конструктивного оформлення пристроїв для охолодження одержуваних екструзією полімерних труб та профілів дає змогу запропонувати їх класифікацію (рис. 4.1).

За агрегатним станом холодоагенту розрізняють пристрої з рідким, газоподібним та комбінованим холодоагентом.

Найбільш поширеними є охолодження рідким холодоагентом без зміни його агрегатного стану, який зазвичай реалізується у ваннах занурення, ваннах розбризкування та комбінованих ваннах [66–68].

Охолодження екструдованого виробу зануренням у шар води здійснюють як для суцільних, так і для порожнистих профілів із зовнішнім еквівалентним діаметром переважно до 50 мм. При збільшенні діаметра зростає виштовхувальна сила, яка діє на виріб з боку рідини, що передбачає використання механізмів примусового занурення виробу, які можуть не тільки пошкодити поверхню виробу, але й призвести до його деформації.

Ванна, в якій верхня частина горизонтальної труби охолоджується гравітаційною плівкою, що стікає, при цьому нижня частина труби занурена в об'єм води, що перебуває в коробі (пат. № СН540771А; рис. 4.2). Недолік пристрою – нерівномірна інтенсивність охолодження поверхні труби.

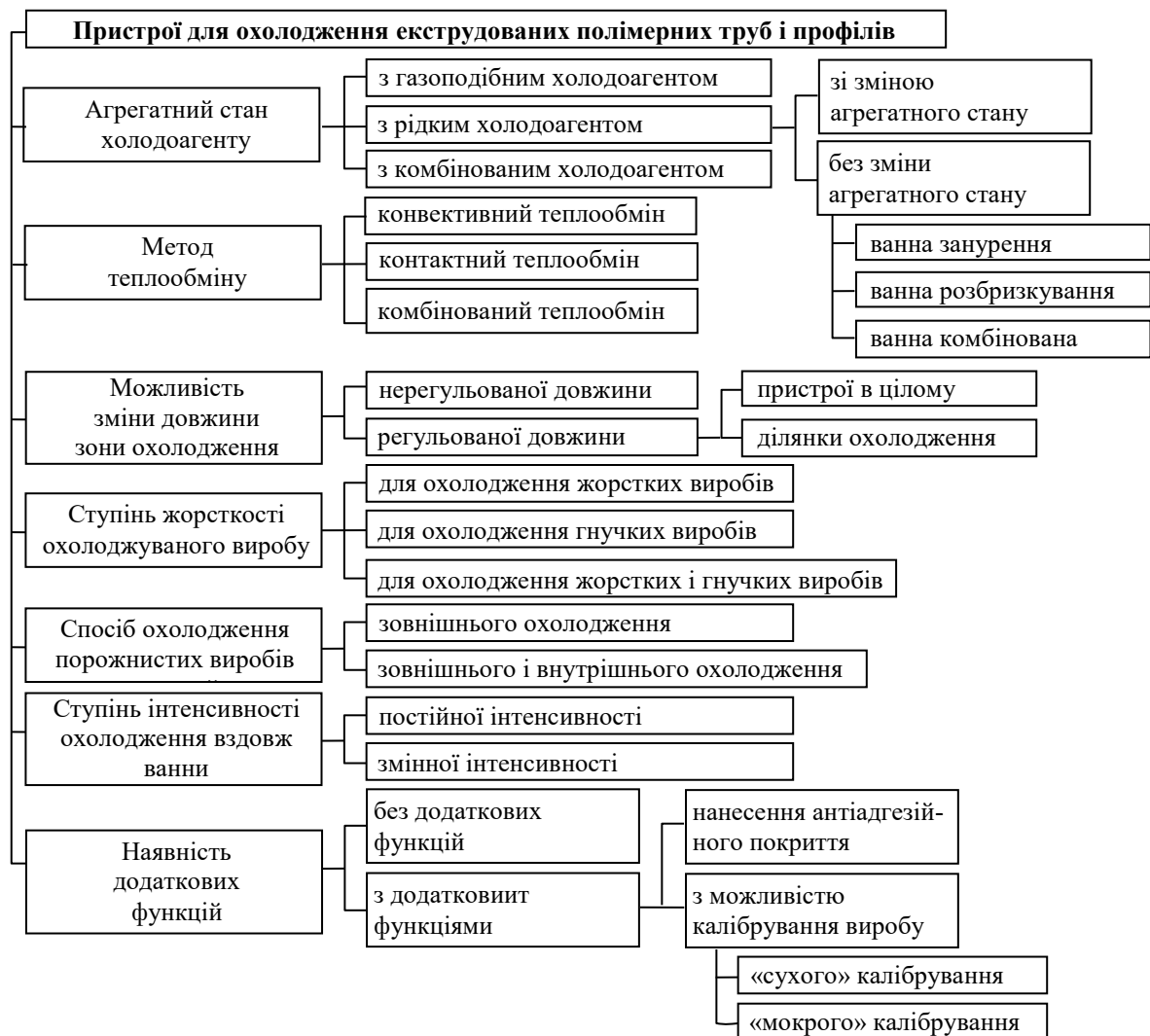


Рис. 4.1. Класифікація пристроїв для охолодження екструдованих полімерних труб та профілів

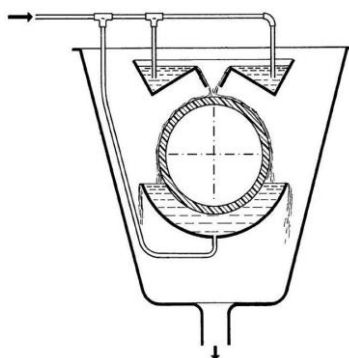


Рис. 4.2. Пристрій зрошувально-занурювального типу згідно з пат. № СН540771А

Охолоджувна полімерна труба проходить усередині встановленої у ванні занурення напрямної труби, при цьому холодоагент рухається

протитечією в кільцевому зазорі між охолоджуваною й напрямною трубами, що інтенсифікує процес охолодження (пат. № СН611549А5, СН617128А5).

Під час руху виробу в шарі малорухливої рідини більшості ванн занурення поблизу поверхні виробу утворюється ламінарний примежовий шар, що має високий термічний опір. Для руйнування зазначеного шару у ванні встановлюють поперечні перегородки з отворами фіксованого діаметра або універсальні ірисові діафрагми, що забезпечують безступінчасте регулювання діаметра отвору (пат. № UA18744U; рис. 4.3).

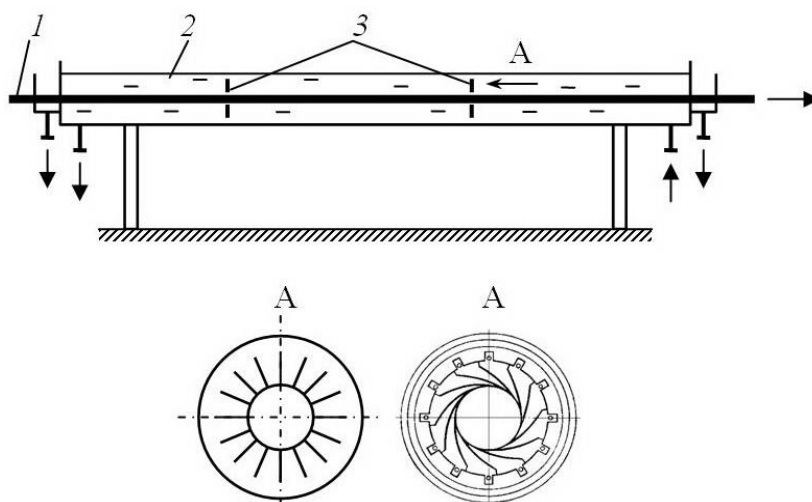


Рис. 4.3. Влаштування занурювального типу згідно з пат. № UA18744U:
1 – охолоджуваний виріб; 2 – ванна; 3 – поперечні діафрагми

У ванні для охолодження профілю змонтовано поперечні перегородки, що забезпечують перехресний струм рідкого холодоагенту, при цьому отвори в перегородках відповідають типорозміру профілю (заявки № ЕР0659536А2, ЕР0659537А2). Недолік пристрою – необхідність різних комплектів перегородок під час виготовлення профілів різних типорозмірів.

Для руйнування ламінарного шару також застосовують повітряно-бульбашкову завісу – під виробом (пат. № UA69281U) та навколо нього (пат. № UA79165U; рис. 4.4), закручування потоку рідини навколо виробу (а. с. № SU409885А1) та вібрацію ванни (а. с. № SU446432А1, SU513871А2, SU975428А1).

Істотно знизити витрату холодоагенту та підвищити ефективність охолодження можна в разі використання ванн розбризкування (зрошувальних ванн).

По довжині горизонтальної зрошувальної ванни на вертикальних стінках змонтовано форсунки, що розбризкують холодоагент на поверхню виробу (пат. № US6813576В1). Недоліки пристрою – різна інтенсивність змочування поверхні виробу в разі зміни його типорозміру.

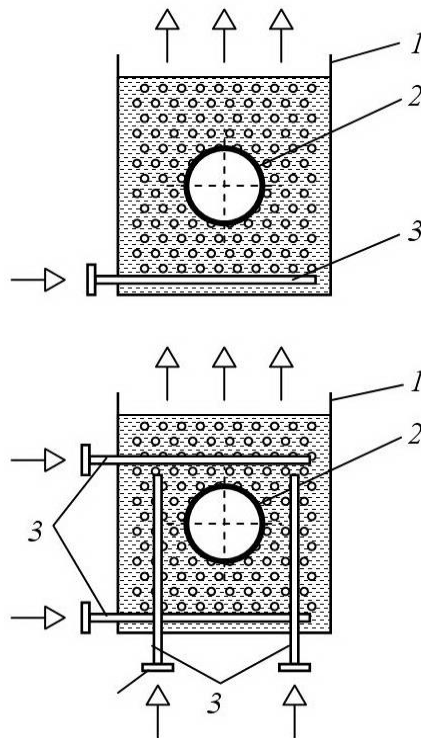


Рис. 4.4. Поперечний переріз охолоджувальних пристроїв згідно з пат. № UA69281U та UA79165U: 1 – ванна; 2 – охолоджуваний виріб; 3 – розпилювачі; 4 – механізми регулювання положення розпилювачів

Зрошувальна ванна забезпечує ефективне зрошення холодоагентом поверхні виробів різного еквівалентного діаметра, для чого кожен трубчастий розпилювач встановлено з можливістю переміщення в радіальному напрямку (пат. № UA53879U; рис. 4.5). Наявність у розпилювача двох приводів переміщення дає змогу розташовувати його під кутом до виробу, а отже й змінювати інтенсивність охолодження виробу за його довжиною.

Зрошувальна ванна забезпечує плівкове протягом рідкого холодоагенту по зовнішній поверхні круглої труби, при цьому плівка формується за допомогою розташованих уздовж охолоджуваної труби перфорованих трубок (а. с. № SU1386482A1). Недолік пристрою – збільшена товщина плівки у нижній частині труби, що знижує рівномірність її охолодження.

Розпилювальні ванни охолодження містять кілька рівномірно змонтованих по довжині ванни груп форсунок, що охоплюють охолоджувану трубу, при цьому в кожній групі міститься чотири форсунки (пат. № CN208714453U, заявка № EP0425942A2), а також шість (пат. № CN209350857U) і десять форсунок (пат. № CN209426146U). Зазначені форсунки для закручування плівки, що утворюється на поверхні труби, можуть розбризкувати воду не тільки по нормалі до охолоджуваної труби, але й під кутом до неї (пат. № CN209350858U).

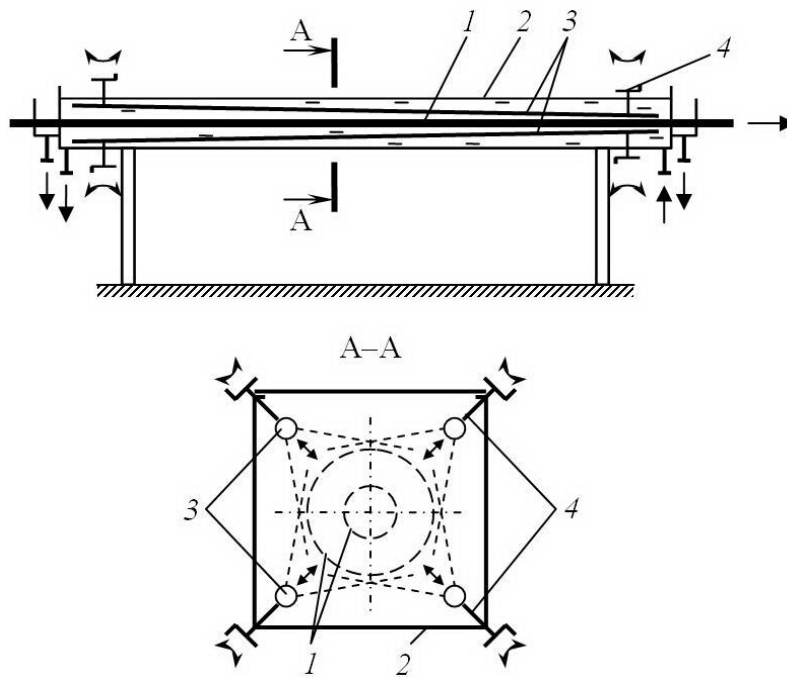


Рис. 4.5. Зрошувальний пристрій охолодження по пат. № UA53879U:
 1 – ванна; 2 – охолоджуваний виріб; 3 – розпилювачі;
 4 – механізми регулювання положення розпилювачів

У ванні згідно з пат. № CN207842029U форсунки встановлено зверху та знизу профілю, а у ваннах згідно з пат. № CN208827095U та CN209552419U – тільки зверху.

У ванні охолоджувальна вода за допомогою форсунок рівномірно розпорошується на поверхню гладкої круглої труби, при цьому крізь ванну за допомогою вентилятора додатково продувається повітря (пат. № JP2002144408A). Недолік пристрою – підвищені втрати води, що виносяться з ванни потоком повітря.

Менш поширеним є охолодження рідким холодоагентом із зміною його агрегатного стану. Наприклад, розроблено пристрій для внутрішнього охолодження порожнистого виробу рідким азотом, що подається до форсунки під тиском 0,2–0,8 МПа крізь розміщену в екструзійній головці теплоізольовану трубку діаметром 1,2 мм (пат. № US4389366A, заявка № EP004737). Завдяки нейтральним властивостям холодоагенту в процесі охолодження повністю виключається хімічна зміна матеріалу труби.

У пристрої (пат. № FR2292574A1) рідкий азот крізь трубку, що проходить в екструзійній головці, впорскується в порожнину труби між головкою й закріпленою на ній за допомогою ланцюга пробкою. Витрата азоту вибирається з умови забезпечення тиску всередині труби, необхідного для калібрування по зовнішньому діаметру в калібраторі, що охолоджується зовні водою. Газоподібний азот відводиться в атмосферу крізь отвір у пробці.

В аналогічному пристрої рідка вуглекислота (CO₂) крізь розміщену в екструзійній головці теплоізольовану трубку потрапляє в порожнистий циліндр, розміщений всередині охолоджуваної труби, що (заявка № EP0857560A1). Частина рідкої вуглекислоти випаровується та у вигляді газу прямує на внутрішню поверхню труби, а частина переходить у тверду фазу, залишається в циліндрі й поступово також перетворюється на газ.

У вдосконаленому пристрої (пат. № DE19736644A1, заявка № EP0857561A1) потік газоподібної вуглекислоти поблизу поверхні труби закручується по спіралі, що інтенсифікує процес охолодження.

У більшості охолоджувальних ванн може бути реалізовано не тільки рідинне, але й повітряне охолодження, якого зазвичай достатньо для малого поперечного перерізу виробів (наприклад, волокон або тонких стренг).

У пристрої для двостороннього охолодження труби, наприклад, квадратного поперечного перерізу (у тому числі з поздовжніми перегородками), холодоагентом є повітря, при цьому повітря, що подається всередину труби, попередньо охолоджується, після чого під тиском з боку екструзійної головки подається всередину формованої труби (заявка № WO2005/021239A1).

В аналогічному пристрої повітря всередині труби закручується та рухається поблизу внутрішньої поверхні труби по спіралі (заявка № WO2006/134228A1).

Повітря, що подається всередину труби, попередньо охолоджується під час обтікання ним порожнистого циліндра з циркулюючою в ньому водою, що подається й видаляється крізь екструзійну головку (заявка № EP0795389A1). Частина охолодної води може бути розпорошена повітрям, що інтенсифікує процес охолодження.

Пристрій з газорідним холодоагентом містить трубу охолодження, крізь яку проходить екструдований профіль і в якій рухається потік повітря з розпиленнями в ньому краплями води (заявка № US2018/361646A1).

Пристрій для газорідного охолодження труби з боку її внутрішньої поверхні містить патрубок, що виходить з екструзійної головки всередину труби з форсункою для розпилювання води (пат. № RU2371311C2).

В охолодній ванні рідинно-газового охолодження повітря барботує крізь шар охолоджувальної води (пат. № UA101340U).

Ванна з рідинно-повітряним охолодженням містить кілька роликів, рознесених по довжині та висоті ванни. Вздовж кожної горизонтальної ділянки гнучкого виробу, що обгинає ролики, змонтовано по дві труби для підведення рідкого холодоагенту та повітря з форсунками, спрямованими в бік виробу та встановленими з чергуванням між собою (а. с. № SU1735036A1).

Пристрій з рідинно-повітряним охолодженням містить ванну й горизонтально розташований в ній перфорований барабан, що частково

занурюється в рідкий холодоагент, з намотуванням на нього виробом (а. с. № SU1316847A1). Рідинна «подушка» між виробом та барабаном знижує ймовірність пошкодження поверхні виробу та інтенсифікує його охолодження.

Пристрій з рідинно-повітряним охолодженням містить ванну, горизонтально розташовану у ванні оснащену гвинтовою різьбою вісь і змонтований на ній з можливістю вільного обертання барабан з виробом, що намотується на нього. Барабан виконаний у вигляді двох дисків з роликами, при цьому протилежно розташовані ролики дисків огинають нескінченні гнучкі елементи з виступами для взаємодії з нарізкою осі (а. с. № SU1512783A1). Конструкція унеможливорює ковзання витків виробу вздовж осі барабана, а отже й механічне пошкодження поверхні виробу.

За методом теплообміну розрізняють пристрої конвективного, контактного та комбінованого охолодження.

Пристрої для конвективного охолодження гнучких виробів типу електричних кабелів містить ванну, що заповнюється рідким холодоагентом, зі встановленими в ній двома зануреними в холодоагент напрямних роликами (пат. № CN110370599A, CN208020699U).

Пристрій для конвективного охолодження гнучких виробів містить ванну, що заповнюється рідким холодоагентом, зі встановленими в ній з можливістю зміни положення по висоті двома групами напрямних роликів (а. с. № SU1722852A1). Під час роботи пристрою забезпечується рідинне, повітряне чи комбіноване охолодження виробу.

Аналогічний пристрій з трьома зонами охолодження, відокремленими одна від одної вертикальними перегородками (пат. № CN208558259U).

Пристрій для конвективного охолодження жорстких виробів, наприклад, гладких труб, містить ванни, які заповнюються рідким холодоагентом й розташовані послідовно (заявка № US2010/308493A1). У процесі роботи холодоагент подається в кожену ванну індивідуально або рухається протитечією з виробом, що істотно «пом'якшує» процес охолодження та знижує ймовірність виникнення у виробі технологічних і залишкових напружень.

Пристрій для конвективного охолодження гладких труб містить заповнювану рідким холодоагентом ванну з напрямними роликами, змонтованими за допомогою кронштейнів на сторонах шарнірного паралелограма (пат. № DE19645832C1). При зміні діаметра труби поворотом сторін паралелограма змінюють положення роликів, які забезпечують фіксацію труби.

Крім горизонтальних ванн для конвективного охолодження розроблено вертикальну ванну (шахту) з відхильними нижнім і верхнім роликами для направлення руху гнучкої труби по вертикалі (а. с. № SU1110650A1).

Аналогічна установка містить розташований у ванні тягнучий барабан з притискними роликами, які охоплюють його (а. с. № SU1431950A1).

Вертикальна ванна для конвективного охолодження кабельного виробу містить відкритий зверху короб з верхнім і нижнім рядами напрямних роликів (пат. № CN108943653A; рис. 4.6).

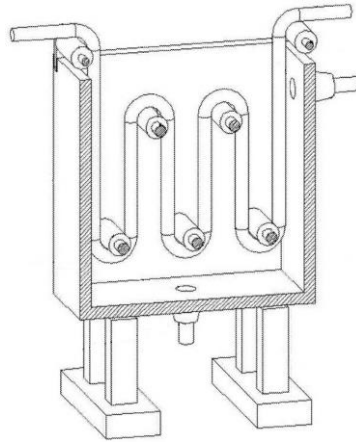


Рис. 4.6. Багатопетльовий пристрій занурювального типу згідно з пат. № CN108943653A

Пристрої для контактного охолодження жорсткої гофрованої полімерної труби з боку її зовнішньої поверхні виконано у вигляді півформи гофратора, що містить виконаний у вигляді циліндричного півкільця корпус з кільцевими канавками на внутрішній поверхні, сполученими з кільцевими вакуумканалами, виконаними безпосередньо над кільцевими канавками (пат. № UA85421C2, заявки № US2010/102489A1, DE102006048512A1, EP0742093A1). Під час формування гофрів на трубах діаметром понад 400 мм внаслідок розташування вакуумканалів безпосередньо над кільцевими канавками півформ не забезпечується рівномірне охолодження формованого зовнішнього шару труби, що знижує якість труби в цілому.

Аналогічний пристрій контактного охолодження гофрованої полімерної труби, але з кільцевими вакуумканалами, виконаними між кільцевими канавками півформ, тобто над їхніми виступами (пат. № UA61574U). Пристрій підвищує якість труби, що отримується за рахунок забезпечення рівномірного температурного поля на внутрішній поверхні корпусу кожної напівформи.

Пристрій для контактного охолодження полімерної гофрованої труби з боку її зовнішнього шару виконано у вигляді півформи гофратора з внутрішніми каналами для охолодного повітря (заявка № WO2012/007016A1).

Пристрій для послідовних контактного та конвективного охолодження внутрішньої поверхні труби: за допомогою охолоджуваного водою металевого калібратора й форсунки для розпилювання води в порожнині охолоджуваної труби (заявка № EP0165068A2). Конструкція забезпечує високу гладкість внутрішньої поверхні труби.

За можливістю зміни довжини зони охолодження розрізняють пристрої нерегульованої (фіксованої) та регульованої довжини зони охолодження, при цьому пристрої регульованої довжини поділяються на пристрої регульованої довжини в цілому [65], а також пристрої фіксованої довжини в цілому, але регульованої довжини ділянки (дільниць) охолодження виробу.

Ванна містить корпус коробчастої форми з розміщеними на його торцях зливними камерами, при цьому корпус у цілому або щонайменше одну його ділянку виконано з еластичного матеріалу (пат. № UA78734U). Змінюючи ступінь розтягування корпусу чи його ділянки, регулюють довжину зони охолодження.

Пристрій для конвективного охолодження гнучких виробів містить два паралельно встановлених у горизонтальній площині барабана з кільцевими жолобами для розміщення в них вироби, що охоплює барабани, при цьому над барабанами встановлено заповнювану рідким холодоагентом ванну з перфорованим днищем (а. с. № SU1548065A1). Змінюючи кількість витків, які охоплюють барабани, регулюють час охолодження виробу.

Аналогічний пристрій, але з перфорованими кільцевими жолобами та можливістю подачі крізь них рідкого холодоагенту забезпечує рідинну «подушку» між виробом та жолобами, що знижує ймовірність пошкодження поверхні виробу та інтенсифікує його охолодження (а. с. № SU1720875A1).

Охолоджувальні пристрої з барабанами, встановленими у вертикальній площині, і змонтованим під верхнім барабаном плівковим розподільником рідкого холодоагенту (а. с. № SU1652083A1, SU1652084A1). Холодоагент у вигляді гравітаційної плівки стікає по витках виробу, забезпечуючи його інтенсивне охолодження. Недолік пристрою – значна висота.

У пристрої двостороннього охолодження круглої труби в екструзійній головці змонтовано висувну порожнисту штангу з пробкою на кінці, при цьому в порожнину труби, обмежену екструзійною головкою та пробкою крізь порожнисту штангу подається холодоагент (пат. № DE1704972A1). Регулюючи довжину штанги, можна змінювати довжину ділянки внутрішнього охолодження труби.

В аналогічному пристрої на кінці штанги встановлено форсунку для розпилювання охолоджувальної рідини з утворенням обертового конуса диспергованих крапель (пат. № US5422063A, заявка № EP0614749A1).

За ступенем жорсткості охолоджуваного виробу розрізняють пристрої для охолодження жорстких або гнучких виробів, а також універсальні пристрої для охолодження як жорстких, так і гнучких виробів.

Пристрій для охолодження жорстких труб містить заповнювану рідким холодоагентом ванну зі змонтованими в ній напрямними роликами, встановленими з можливістю їх автоматичного позиціонування по висоті ванни залежно від маси охолоджуваної труби (пат. № RU2314920C2).

Пристрій для охолодження жорстких виробів містить корпус з патрубком для підведення рідкого холодоагенту й торцевими карманами, сполученими з магістраллю для його відведення, а також змонтовану в корпусі трубу з поздовжньо розташованими перфорованими ділянками для введення в її порожнину холодоагенту, при цьому відведення холодоагенту здійснюється з торців труби (а. с. № SU1380990A1). Недолік конструкції – змішання свіжого холодоагенту з відпрацьованим (підігрітим), що знижує інтенсивність охолодження виробу.

Пристрій аналогічної конструкції, в якому між перфорованими ділянками в трубі виконано наскрізні отвори, сполучені з магістраллю відведення холодоагенту (пат. № UA6595U). Під час проходження виробу крізь трубу холодоагент під тиском виходить з отворів перфорованих ділянок і потрапляє на виріб, інтенсивно охолоджуючи в умовах плівкового руху холодоагенту. Після контакту з виробом відпрацьований холодоагент відразу відводиться за межі ванни, не змішуючись зі свіжим холодоагентом.

У пристрої аналогічного принципу дії ванну по довжині розділено вертикальними перегородками на окремі секції, в кожную з яких холодоагент надходить із загального колектора (заявка № US2001/010159A1).

Пристрій для охолодження гнучких виробів містить заповнювану рідким холодоагентом ванну зі змонтованими в ній напрямними роликами, встановленими з можливістю їх вертикального переміщення незалежного один від одного (пат. № UA1324U). Розташовуючи ролики на різній висоті, можна змінювати кількість і довжину ділянок рідинного й повітряного охолодження [65].

За способом охолодження порожнистих виробів розрізняють пристрої зовнішнього й комбінованого (зовнішнього та внутрішнього) охолодження.

Кругла труба охолоджується повітрям з боку зовнішньої та внутрішньої поверхонь (пат. № UA40269U). Внутрішня поверхня охолоджується в умовах вимушеної конвекції під час руху повітря від вільного кінця труби до екструзійної голівки, при цьому на одній або більше ділянках забезпечується швидкість повітря вище, ніж за межами цих ділянок.

В аналогічному пристрої повітря, що всмоктується в трубу, пропускається крізь фільтр, розміщений усередині труби за межами ділянки твердіння її внутрішньої поверхні (пат. № UA41529U). Фільтрування повітря запобігає забрудненню внутрішньої поверхні труби, наприклад, частинками полімеру, що утворюються після поперечного різання труби.

У пристрої двостороннього охолодження труби розпилена вода після контакту з нагрітою внутрішньою поверхнею труби перетворюється на пару, яка відводиться потоком повітря, що всмоктується з боку екструзійної головки крізь вільний кінець труби (пат. № US6551534B1).

Пристрій двостороннього охолодження труби із закрутою потоку холодоагенту в її порожнині (пат. № DE2506517A1).

Пристрій для охолодження гладкої труби забезпечує розпилювання води на зовнішню поверхню труби та продування повітря крізь порожнину труби з боку екструзійної головки (пат. US5028376A).

Також пристрої комбінованого охолодження описано в пат. № US4750873A, DE3241005A1, JP2016020063A, CN109531956A, CN209350846U, UA47245U, UA49468U, UA66119U, UA69333U, а. с. № SU583921A1, а також заявках № WO96/23644A1, EP0807012A1, EP1043142A2, EP1916089A2, DE102005031747A1.

У пат. № UA105172U описано установку для експериментального визначення ефективних режимів комбінованого охолодження дає змогу змінювати тип теплоносіїв, а також їхні температуру та гідродинаміку.

За ступенем інтенсивності охолодження вздовж ванни розрізняють пристрої постійної та змінної інтенсивності.

Пристрій постійної інтенсивності охолодження містить ванну, розділену поперечними перегородками на окремі камери, в кожену з яких холодоагент підводиться із загального колектора, забезпечуючи при цьому однакові умови охолодження виробу по всій довжині ванни (заявка № EP1122050A2).

Ванна охолодження, в якій здійснюють подачу бульбашок або струменів повітря в об'єм рідкого холодоагенту з можливістю регулювання витрати повітря по довжині ванни, що забезпечує зміну інтенсивності охолодження виробу по довжині ванни (пат. № UA101340U).

В аналогічному пристрої ділянки охолодження зрошенням рідким холодоагентом та обдуванням виробу повітрям чергують між собою (пат. № UA66227U).

За наявністю додаткових функцій розрізняють пристрої без додаткових функцій та з додатковими функціями, наприклад, з калібруванням виробу.

Ванна занурення призначена не тільки для охолодження екструдованого виробу, наприклад, кабельного, але й для нанесення на його поверхню антиадгезійного покриття, що запобігає взаємному злипанню витків змотаного в бухту готового виробу (а. с. № SU1720876A1).

У розбризкувальній ванні встановлено «мокрый» калібратор, що містить набір дисків, проходячи крізь які труба калібрується по зовнішньому діаметру (пат. № US6019934A, заявка № EP0788869A1).

Пристрій для калібрування гладкої труби по обох поверхнях та її охолодження за допомогою холодоагенту, що циркулює в порожнинах втулки та дорну «сухого» каліббратора (пат. № US5132062A).

В аналогічному пристрої калібрована по обох поверхнях труба з боку дорну охолоджується холодоагентом, що циркулює в його порожнині, а з боку втулки – навколишнім повітрям (пат. № US3980746A).

Пристрій для охолодження та калібрування екструдованих профілів містить дві плити, що змикаються між собою, з каналами для циркуляції охолоджувальної води (пат. № RU2139611C2).

Аналіз пристроїв для охолодження екструдованих полімерних труб і профілів показує, що найбільш поширеними охолодними пристроями залишаються водяні ванни занурення та зрошення, що можна пояснити простотою їх конструкції та експлуатації, а також достатньою універсальністю для широкої номенклатури продукції. Однак навіть за умови використання стандартних охолоджувальних ванн можна істотно підвищити ефективність охолодження як комбінуванням холодоагентів, що використовуються в них, так і часом та умовами їх впливу на охолоджуваний виріб [69].

4.2. Пристрій для складання рукавних полімерних плівок

Одним із найпоширеніших видів продукції, що отримується екструзією полімерних матеріалів, є рукавні плівки [49, 65, 70].

Якість рукавних полімерних плівок залежить не тільки від базової машини для підготовки розплаву – екструдера та формувального інструменту – кільцевої плівкової екструзійної головки, а й від різного допоміжного обладнання, у тому числі складальних пристроїв, призначених для переведення циліндричної форми плівкового рукава в плоску з метою подальшого намотування складеного рукава в рулон [20, 49, 70].

Основні вимоги, що стоять до складальних пристроїв – мінімальне тертя між складуваною плівкою й напрямними елементами складального пристрою, мінімальне нагрівання напрямних елементів складального пристрою в результаті тертя по них складуваної плівки, можливість регулювання кута складання (кута сходження протилежно розташованих плоских ділянок складуваної плівки), а також унеможливлення утворення складок у складеній плівці, спричиненого різним подовженням складуваної плівки по її ширині.

Аналіз конструктивного оформлення пристроїв екструзійних ліній для складання рукавних полімерних плівок дає змогу запропонувати їх класифікацію (рис. 4.7).

За призначенням розрізняють пристрої для переведення циліндричної форми рукава в плоску, а також пристрої для поздовжнього складування плоского рукава.

Пристрій для переведення циліндричної форми рукава в плоску виконано у вигляді двох плит, що сходяться в напрямку зазору, утвореного тягнучими валками (пат. № GB710271A, GB2375732A, FR994734A, FR1035829A, JPH1044236A, US2559386A, US2631332A, US4022860A, US4869863A, US5350471A, заявки № DE3832057A1, DE3885982T2).

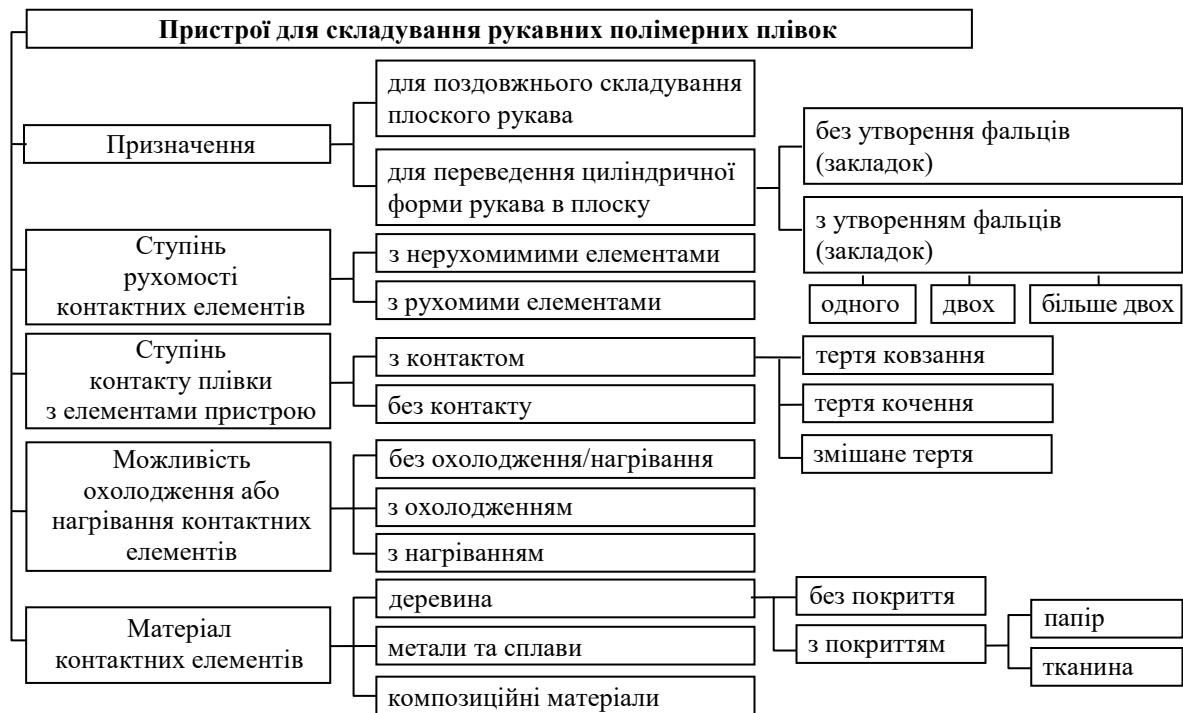


Рис. 4.7. Класифікація пристроїв для складування рукавних полімерних плівок [71]

Аналогічний пристрій, але замість суцільних плит контактні елементи виконано у вигляді рам з набором горизонтально розташованих паралельних планок (заявки № DE10243958A1, DE10243959A1, WO82/00305A1, WO2004/028780A1, US2005/263936A1, US2014/120201A1, US2016/271863A1).

Складальний пристрій у вигляді двох груп планок для попереднього переведення рукава з круглого поперечного перерізу в квадратне, а потім поступово прямокутне й далі в плоске на вході в зазор тягнучих валків (пат. № FR2224277A1, GB1465188A, заявка № DE2416889A1; рис. 4.8). Аналогічний пристрій описано у пат. № FR2343583A1, US4068999A, US4170624A, GB1575071A, JPS52110766A та заявках № DE2416889A1, DE2710426A1. Ці конструкції виключають утворення складок на складеній плівці.

Пристрій оснащено двома протилежно розташованими напрямними елементами, розташованими з боків складальних плит, які виконано по довжині у вигляді шарнірно з'єднаних пластин і забезпечують центрування складеної плівки вздовж зазору між тягнучими валками (пат. № CN104220235A, заявка № WO2013/152933A1).

Пристрої для переведення циліндричної форми рукава в плоску можуть бути оснащено фальцювальними пристроями для утворення в складеному рукаві бічних поздовжніх фальців (складок) [49], або закладок [70].

Найбільш поширені фальцювальні пристрої у вигляді плит (рам), що мають форму рівнобедрених трикутників, розташованих з протилежних боків складуваного рукава та обернених вершинами до зазору між тягнучими

валками. При цьому основи трикутників перпендикулярні до зазначеного зазору й розташовані горизонтально [49]. Плити (рами) можуть переміщатися вздовж зазору між тягнучими валками, змінювати кут нахилу до вертикалі (пат. № DE3506772A1, DE3524391C1, US4650406A, JPS6223738A, CN85108590A, CA1246919A, заявки № EP0183244A1, EP1184153A2, US2016/271863A1). Глибина фальцювання, яка з різних боків складеного рукава може бути різною, визначається положенням вершин відповідної плити (рами) вздовж зазору між тягнучими валками.

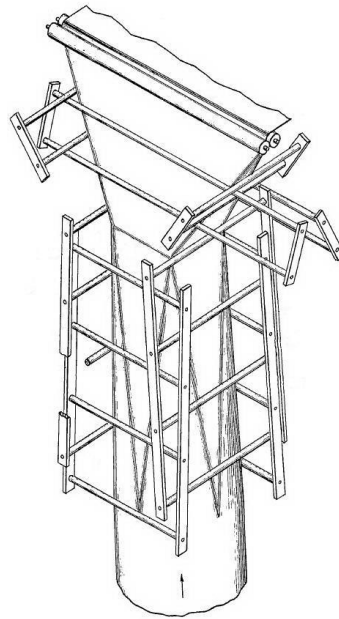


Рис. 4.8. Складальний пристрій згідно з пат. № FR2224277A1, GB1465188A та заявкою № DE2416889A1

Пристрій з фальцювальними елементами у вигляді горизонтальних пластин, що переміщаються по горизонталі, із закругленою робочою крайкою (пат. № JPS59174455A).

Аналогічні пристрої, але з фальцювальними елементами у вигляді переміщуваних по горизонталі вертикальних пластин (пат. № FR1543062A, GB1114930A, GB1529222A, DE2640031A1, US4262581A, CN103192520A, CN203246072U, заявки № DE102007029794A1, WO2008/119570A2), а також пристрої з фальцювальними елементами у вигляді переміщуваних у горизонтальному напрямку клинів (пат. № US3566756A, CN204914552U, CN205439229U).

Фальцювальний пристрій містить пару вільно обертових дисків, закріплених з протилежних боків рукава на поворотних у вертикальній площині планках (пат. № JPS5721687U, заявка № WO82/00305A1). Заміна тертя ковзання тертям кочення між плівкою та фальцювальними елементами (дисками) знижує ймовірність утворення складок на плівці.

Аналогічний пристрій, але з дисками, що переміщуються нормалі до поздовжньої осі плівки (пат. № GB992559A, DE1219210B).

Фальцювальний пристрій містить пару протилежно розташованих зовнішніх вільно обертових дисків, а також пару розташованих усередині рукава блоків, у рівчаки яких частково входять відповідні диски для утворення фальців (пат. № GB1215715A).

В аналогічних пристроях замість кожного розташованого всередині рукава обертового блоку використано два вільно обертових диски (пат. № US3291007A, DE1479072A1, DE1479556A1).

В іншому аналогічному пристрої замість обертових блоків як внутрішні формуютьовальні елементи використано дві пластини, в зазор між якими частково входять зовнішні вільно обертові диски (пат. № CN1156661A; рис. 4.9).

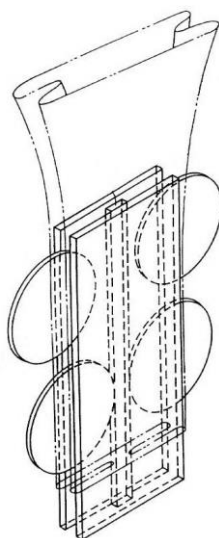


Рис. 4.9. Фальцювальний пристрій згідно з пат. № CN1156661A

Фальцювальні елементи виконано у вигляді набору дисків, закріплених на двох штангах з обох боків рукава, при цьому в напрямку руху плівки діаметр дисків збільшується, а товщина зменшується (пат. № FR2809658A1, заявка № DE10027820A1).

Складально-фальцювальний пристрій містить дві пари зустрічно обертових роликів: більш широких складальних і вузьких фальцювальних (пат. № FR2664199A1, заявка № EP0465391A1).

Пристрій із зовнішнім елементом фальцювання забезпечує виконання одного фальця (пат. № FR1480081A, GB1113136A, DE1504481A1).

Пристрій із зовнішнім і внутрішнім фальцювальними елементами, які взаємодіють між собою через плівку, що їх розділяє, також забезпечує утворення одного фальця (заявка № DE2510515A1).

На відміну від більшості конструкцій, що забезпечують утворення двох протилежно розташованих фальців, пристрій згідно з пат. № UA133093U та

UA133094U дає змогу отримувати по два й більше фальців з кожного краю складеного рукава, що істотно зменшує його ширину.

Також отримання кількох фальців (по краях і щонайменше одного в середній частині) забезпечує пристрій (заявка № DE3637374A1; рис. 4.10).

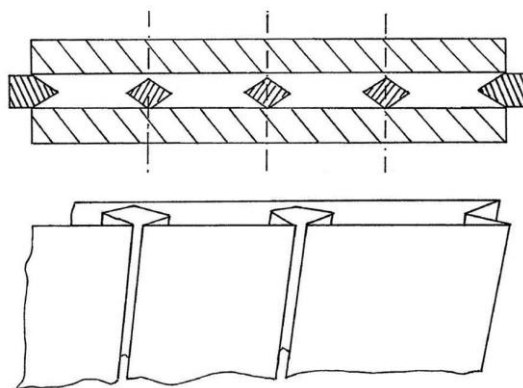


Рис. 4.10. Фальцювальний пристрій і складена за його допомогою полімерна плівка (пат. № DE3637374A1)

Пристрої для поздовжнього складання плоского рукава виконують у вигляді трикутника (складання плоского рукава навпіл) та фасонного жолоба (загинання країв плоского рукава до його середньої частини) ([49], пат. № FR2582983A1, DE3520914C1, US4682941A).

Складальний трикутник розташовують на виході із зазору тягнучих валків, встановлених після складального пристрою для переведення циліндричної форми рукава в плоску. Зазначений трикутник, виконаний у вигляді звареної ферми із округленими і відполірованими крайками в місцях контакту з плівкою, забезпечує плавний переведення одинарного плоского рукава в подвійний плоский рукав (у чотири шари плівки).

Під час використання фасонного жолоба плоский одношаровий рукав поступово переводиться в U-подібний профіль, а потім знову в плоский із загнутими у два шари крайками. Пристрій містить два встановлені по краях плівкового рукава жолоби з профілем, що поступово змінюється вздовж руху плівки. Фасонний жолоб, як і у випадку складального трикутника дає змогу зменшити ширину плоского рукава удвічі [49].

За ступенем рухливості контактних елементів розрізняють пристрої з нерухомими та рухомими елементами.

На відміну від традиційних пристроїв з нерухомими елементами пристрої з рухомими елементами виключають прослизання по них рукава, що знижує ймовірність утворення складок на готовій плівці.

Пристрій у вигляді двох щік, що сходяться з паралельно розташованими вільно обертовими роликами (а. с. № SU1502380A1). Зазначені ролики обертаються за рахунок сил тертя з плівкою, що рухається, при цьому виключається прослизання плівки відносно роликів.

Аналогічні пристрої з вільно обертовими роликами (пат. № GB1114930A, US3322588A).

Пристрій з групою роликів, оснащених механізмом прикладання до них гальмівного зусилля, що забезпечує ковзання плівки по поверхням цих роликів (пат. № DE10140577A1, заявки № WO03/016023A1, WO2005/032798A1, US2006/280828A1). Ці ролики забезпечують регульований натяг практично складеного рукава на вході в зазор тягнучих валків, що також знижує ймовірність утворення складок на готовій плівці.

Пристрій у вигляді двох щік, що сходяться між собою, з паралельно розташованими вільно обертовими роликами, кожен з яких забезпечує розправлення складуваної плівки від її центру до країв, наприклад за рахунок виконаної на поверхні ролика розхідної гвинтової нарізки (пат. № US5912021A).

Пристрій аналогічного призначення з розташованою на вході в зазор між тягнучими валками групою складальних роликів, поверхню кожного з яких покрито ворсинками, які імітують гвинтову нарізку, що розходить від його центру до країв (пат. № DE202004012354U1).

Пристрій у вигляді двох щік, що сходяться між собою, з паралельно розташованими криволінійними валами з вільно обертовими на них короткими роликами (пат. № DE3543198A1, JPS61148026A). Кожна зі складальних щік утворює тривимірну робочу поверхню, що забезпечує майже однакову довжину контакту кожної точки складуваної плівки із зазначеною поверхнею, а отже й знижує ймовірність утворення складок на складеній плівці.

Пристрої у вигляді двох зустрічно обертових складально-тягнучих валків (пат. № GB1287261A, заявки № DE1753895A1, DE1778810A1).

В аналогічному пристрої поверхню одного з валків виконано зі штучною шорсткістю для формування відповідної текстури на поверхні складеної плівки (пат. № GB2124550A).

У пристрої перед двома складально-тягнучими валками встановлено два похилих клина для утворення по краях складеної плівки двох протилежно розташованих фальців (пат. № DE3741210A1).

Складально-фальцювальний пристрій забезпечує попереднє сплющування, подальше утворення двох фальців та остаточне складання плівки в плоский рукав (пат. № DE4202450A1). Усі робочі елементи пристрою виконані рухомими, що виключає прослизання плівки по їх елементам: сплющувальні та складальні – у вигляді валків, а фальцювальні – у вигляді нескінченних ременів.

Фальцювальний пристрій у вигляді нескінченних ременів, що охоплюють напрямні ролики та виключають прослизання плівки (пат. № GB741906A).

Універсальний пристрій містить змонтовані на щоках поворотні обойми з горизонтально закріпленими в них як вільно обертовими роликами, так і з нерухомими планками (пат. № FR2565524A1, GB2159759A, DE3421680C1, IT1185614B, US4615666A). За допомогою механізму, встановленого на кожній щоці, одночасно виставляються обертові ролики або нерухомі планки.

Складально-тягнучий пристрій містить дві нескінченні прогумовані стрічки, що сходяться між собою та виготовлені з синтетичних волокон (пат. № US3002430A, GB834386A, DE1147749B; рис. 4.11).

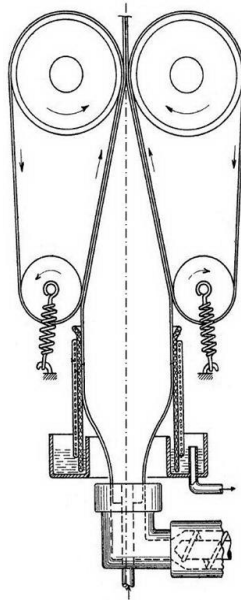


Рис. 4.11. Складально-тягнучий пристрій
згідно з пат. № US3002430A, GB834386A, DE1147749B

За ступенем контакту складуваної плівки з елементами складального пристрою розрізняють пристрої з взаємним контактом плівки та елементів і без зазначеного контакту.

Плівковий рукав попередньо електростатично заряджають, після чого подають у складальний пристрій, напрямні планки якого заряджають однойменним електростатичним зарядом (пат. № JP2002326269A, DE10113089C1, заявка № US2002/180111A1). У результаті взаємного відштовхування складуваного рукава й напрямних планок між ними утворюється повітряний зазор, що виключає контакт плівки з елементами складального пристрою.

Безконтактні складальні пристрої містять дві рами з поперечними трубками з перфораціями, спрямованими в бік складуваної плівки, при цьому порожнини трубок сполучено з магістраллю стисненого повітря (пат. № DE19609638C1). Повітряна подушка, що утворюється між трубками і складуваною плівкою, виключає їх взаємний контакт, а також остаточно охолоджує складувану плівку.

Безконтактні складальні пристрої містять дві перфоровані плити, що сходяться між собою, в які під тиском подається повітря (пат. № FR1286920A, GB939064A, ES264719A1, US5912022A). У результаті між плитами і складуваною плівкою утворюється повітряна подушка, що виключає їх взаємний контакт.

Аналогічний пристрій з вентиляторами, встановленими безпосередньо в порожнинах перфорованих плит (пат. № FR2617759A1).

Протилежно розташовані фальцювальні трикутники у вигляді коробів з перфорованою поверхнею, оберненою у бік складуваної плівки, забезпечують повітряну подушку, що виключає взаємний контакт плівки і фальцювальних трикутників (заявка № DE3937772A1).

За можливістю охолодження або нагрівання контактних елементів розрізняють пристрої із засобами охолодження та без них.

У процесі роботи плівкової лінії в результаті тертя складуваного плівкового рукава по напрямних елементах складального пристрою останні можуть нагріватися, що призводить до збільшення сили тертя між напрямним елементам і плівкою та відповідно утворенню на ній складок. Тому в деяких випадках напрямні елементи примусово охолоджують [49].

Між розміщеними в кожусі пристрою складальними плитами нагнітається охолоджувальне повітря (заявка № DE102007039965A1).

Між групою складальних роликів і тягучими валками розташовано низку роликів з ворсинками на їхніх бічних поверхнях для турбулізації охолоджуючого повітря, що обдуває сплющене полотно (заявка № DE10210845A1). Додаткове охолодження сплющеного рукава унеможливорює взаємне злипання сторін складеного рукава.

Складальний пристрій у вигляді поперечних планок, за якими розміщено нагрівальні екрани для підігріву складуваної плівки з полімолочної кислоти (заявка № US2011/123763A1). Цей пристрій забезпечує розтягування складуваної плівки в поперечному напрямку й відповідну усадку в осьовому, що знижує ймовірність утворення складок.

За матеріалом контактних елементів розрізняють пристрої з контактними елементами, виготовленими деревини, металів та їхніх сплавів, а також полімерних композиційних матеріалів.

У лініях для виробництва широкоформатних плівок зазвичай використовують складальні пристрої, виконані у вигляді двох рам, що сходяться між собою, із закріпленими в напрямку руху плівки дерев'яними планками. Крім напрямних елементів із цільного масиву деревини використовують і елементи у вигляді деревинно-стружкових плит [49].

Для зниження тертя між напрямними елементами складального пристрою їхню поверхню покривають папером або тканиною. Також із цією метою використовують перфоровані алюмінієві листи [49].

Пристрій з поперечними порожнистими стрижнями квадратного поперечного перерізу, обернену в бік складованої плівки поверхня кожного з яких виконано з мікропористого матеріалу, наприклад, міді або бронзи (заявка № DE102004031366A1). Порожнини стрижнів сполучено з джерелом стисненого повітря, тому між ними і складованою плівкою утворюється повітряна подушка.

Складальні плити виготовляють з термореактивної пластмаси, наприклад, на основі феноло-формальдегідної смоли (пат. № GB992559A).

Перспективними конструкційними матеріалами для виготовлення контактних елементів складальних пристроїв є полімерні композиційні матеріали [8, 10], перероблення яких дає змогу отримувати контактні елементи різного типорозміру майже за безвідходними технологіями [6, 18].

Аналіз пристроїв для складання рукавних полімерних плівок показує, що найбільш поширеними складальними пристроями залишаються щокові та роликові складальні пристрої, які зарекомендували себе як універсальні, надійні та прості у виготовленні та експлуатації конструкції. Проте конструкції зазначених пристроїв продовжують удосконалюватися, що сприяє розширенню їхніх технологічних можливостей [71].

4.3. Пристрої для намотування полімерних плівок

Одним з найбільш масових видів продукції з полімерів є плоскі та рукавні плівки, що виготовляються екструзією [18, 49, 70, 72].

У технологічних лініях виробництва полімерних плівок процес намотування є завершальною операцією і в разі виготовлення рукавних полімерних плівок реалізується після їх складання [71].

Намотувальні пристрої мають забезпечувати потрібну щільність намотування плівки, відсутність місцевих ущільнень по ширині рулону, а також плоскі та однакові діаметром торці рулону [49].

Аналіз конструктивного виконання пристроїв для намотування полімерних плівок дає змогу запропонувати таку їх класифікацію:

- за типом приводу рулону;
- за кількістю приводів намотувальної шпулі;
- за методом кріплення шпулі
- за розташуванням осі рулону в просторі
- за ступенем рухливості вузла намотування
- за ступенем мобільності
- за наявністю допоміжних пристроїв.

За типом приводу рулону намотувальні пристрої поділяють на центральні, периферійні та комбіновані.

У намотувальних пристроях центрального типу рулон намотується на шпулю, закріплену на приводній штанзі – спеціальному валу із засобами

фіксації на ньому шпулі. Основні переваги таких пристроїв – простота конструкції механізмів автоматизації процесів відрізання й перезаправлення плівки, а також широкий діапазон регулювання зусилля натягу плівки, що особливо важливо в разі намотування з великою швидкістю тонких плівок (пат. № JPH0286535A, JPH02106542A, CN213356433U, CN213111766U).

Розрізняють два основних способи приводу штанги: за постійного крутного моменту та крутного моменту, що зростає. У першому випадку натяг плівки знижується зі збільшенням діаметра рулону, тоді як у другому – залишається незмінним (пат. № US5437417A, EP0593946A2).

У намотувальних пристроях периферійного типу намотуваний рулон обертається за рахунок сил тертя від приводного валика (барабана), що обертається з постійною частотою, тобто крутний момент передається безпосередньо на поверхню рулону в результаті його притискання під дією власної маси до приводного валика. Зусилля притискання приводного валика до рулону може бути забезпечене за допомогою пружин, механічних та пневматичних приводів (пат. № DE4103799A1, JP2014051370A, JPH1159985A, CN212831823U, CN212831824U, заявки № WO92/13787A1, WO2015/055703A1, US2016/236887A1).

На відміну від пристроїв центрального типу пристрої периферійного типу не потребують регулювання крутного моменту й частоти обертання намотуваного рулону залежно від його діаметра, що істотно спрощує конструкцію пристрою [23]. Основний недолік периферійних пристроїв – передача крутного моменту рулону безпосередньо через поверхню намотуваної плівки, що може призвести до пошкодження продукції, тому ці пристрої зазвичай використовують для намотування товстих плівок [25].

Досить простим і надійним є намотувальний пристрій, у якому рулон намотується на шпулю, що лежить на двох паралельних валиках – опорно-привідному та опорному. Зі збільшенням діаметра рулону щільність його намотування зростає, що може призвести до деформації плівки, тому такий пристрій зазвичай застосовують при намотуванні жорстких комбінованих плівок, менш чутливих до зміни натягу ([49], пат. № DE3412740A1).

Пристрій периферійного типу з двома синхронно обертовими паралельними приводними барабанами – ведучим і веденим (пат. № RU2099271C1).

Периферійний пристрій з передачею крутного моменту намотуваному рулону нескінченною стрічкою, що охоплює два ролики, змонтованих на поворотній кулісі (пат. № JP2004161485A).

Комбіновані намотувальні пристрої поєднують переваги центральних та периферійних пристроїв.

Двопозиційний комбінований пристрій карусельного типу працює як пристрій центрального типу в початковий період намотування з подальшою реалізацією периферійного намотування (пат. № JPS5471267A).

За кількістю приводів намотувальної (робочої) шпулі розрізняють одно- і двопривідні намотувальні пристрої.

Більшість пристроїв належить до однопривідних, однак розроблено двопривідний пристрій, що містить два сервоприводи, кожен з яких крутний момент передає шпулі через один з її торців (пат. № CN212892943U). Завдяки рівномірності крутного моменту по ширині рулону ефективність намотування підвищується.

За методом кріплення шпулі розрізняють штангові та безштангові намотувальні пристрої.

Незалежно від методу кріплення шпулі рулон плівки намотується на циліндричну дерев'яну, паперову, полімерну або металеву шпулю (оправку), при цьому паперові, полімерні та металеві шпулі зазвичай виконують порожнистими.

Застосування безштангового способу кріплення рулону зазвичай обмежується масою рулону та шириною плівки.

У разі фіксації рулону на штанзі – металевому стрижні, що проходить усередині порожнистої шпулі – шпуля зазвичай затиснута з обох торців кінчними ребристими втулками (грибками), а крутний момент передається на рулон через торці шпулі. Проте за високих швидкостей важких рулонів торці шпуль не забезпечують надійного кріплення рулонів, тому для підвищення надійності їх кріплення застосовують розтискні або складені штанги з регульованим зовнішнім діаметром, при цьому шпуля фіксується не торцями, а всією внутрішньою поверхнею ([49], пат. № US5863011A, EP2000429A1, EP2985249A2, CN213084903U, заявка № WO2016/079059A1, рис. 4.12).

Штанги з механічно або пневматично розсувними фіксувальними елементами можна закріплювати консольно, що забезпечує швидку зміну рулону (пат. № CN213230791U). Недолік консольно закріплюваних штанг – значний згинальний момент по їх довжині.

За розташуванням осі рулону в просторі розрізняють пристрої з горизонтальним і вертикальним розташуванням поздовжньої осі рулону.

Більшість пристроїв забезпечують намотування рулону за умови його горизонтального розташування, проте запропоновано двопозиційний револьверний пристрій з вертикальним розташуванням шпуль (пат. № CN213474914U; рис. 4.13). Перевага конструкції – відсутність поперечного вигину шпулі, а недолік – можливість «сповзання» сусідніх шарів плівки під дією сили тяжіння та спотворення циліндричної форми рулону.

За ступенем рухливості вузла намотування розрізняють намотувальні пристрої стаціонарного та карусельного типу, які у свою чергу поділяються на одно-, дво-, трьох-, чотири- та шестипозиційні.

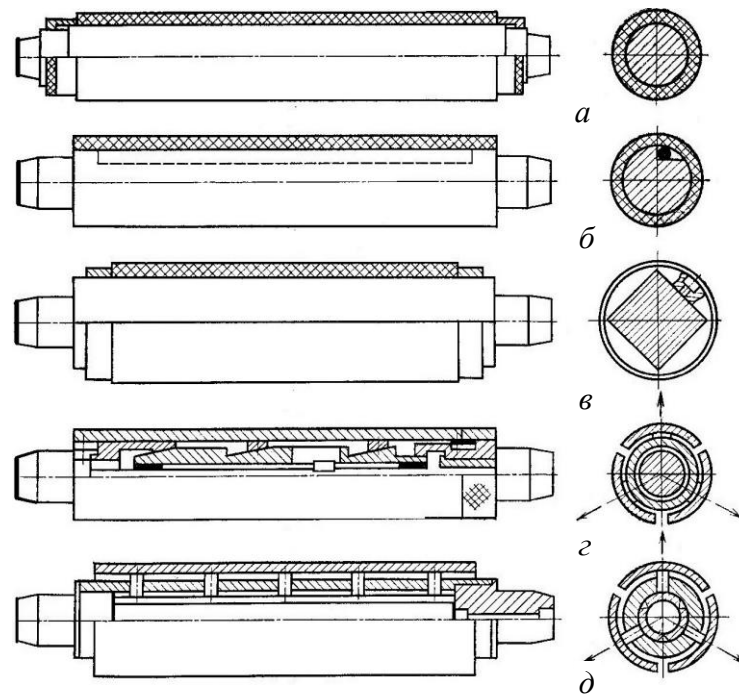


Рис. 4.12. Схема конструкцій штанг для кріплення рулону [49]: *a* – з різбовим затискним грибком; *б* – з фіксацією шпулі циліндричним прутком; *в* – з фіксацією шпулі грибком на чотиригранному осерді; *з, д* – штанги з механічно та пневматично розсувними фіксуючими елементами

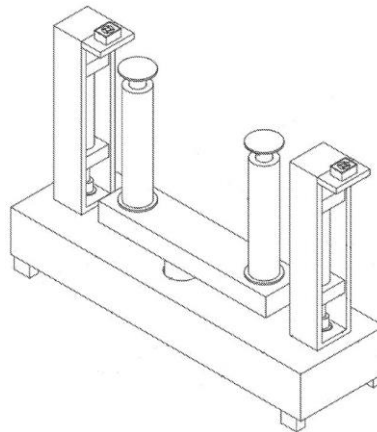


Рис. 4.13. Схема пристрою з вертикальним намотуванням рулону (пат. № CN213474914U)

Однопозиційні намотувальні пристрої стаціонарного типу зазвичай використовують для намотування рулонів великого діаметра з ручним відрізанням і перезаправленням плівки під час зміни рулону (пат. № CN210174239U, CN213445350U), а аналогічний двопозиційний пристрій – для одночасного намотування двох полотен розрізаної рукавної плівки (пат. № CN112477344A).

Автоматизовані двопозиційні пристрої карусельного типу розглянуто в пат. № GB1180826A, CN213037078U, CN213059456U, CN213084871U.

Основний вузол багатопозиційного намотувального пристрою – карусель для встановлення штанги зі шпулями, яку зазвичай виконують двох типів – револьверного (з центральною віссю обертання каруселі) та рамного.

Для намотування двох полотен розрізаної рукавної плівки одночасно на два рулони широко використовують одно- та двосторонні двопозиційні намотувальні пристрої стаціонарного типу [49] (рис. 4.14).

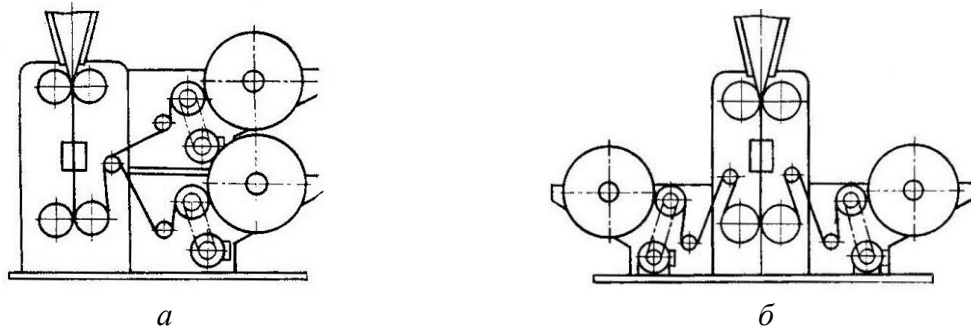


Рис. 4.14. Одно- та двосторонні двопозиційні намотувальні пристрої [49]

Трипозиційний револьверний намотувальний пристрій оснащено підтискним валиком, що запобігає захопленню повітря сусідніми витками плівки під час зміни рулонів (пат. № RU2663057C2).

Привід аналогічного пристрою, який змонтовано безпосередньо на поворотній обоймі та характеризується високою статичною та динамічною збалансованістю, виключає появу вібрації за високих швидкостей намотування (навіть понад 800 м/хв; пат. № RU2678399C2).

Чотиріпозиційні револьверні намотувальні пристрої центрального типу запропоновано в пат. № RU2422350C2, CN112408020A, CN212711935U, JPН107328A та JPS63262362A.

Шестипозиційний револьверний намотувальний пристрій центрального типу для намотування плівки на паперові шпулі описано в пат. № CN213707211U.

За ступенем мобільності розрізняють намотувальні стаціонарні та пересувні намотувальні пристрої.

Змонтований на візку пересувний намотувальний пристрій призначено для швидкого видалення готового великогабаритного рулону за межі установки з виробництва полімерної плівки (пат. № JP2001253603A).

За наявністю додаткових пристроїв розрізняють пристрої з додатковими пристроями, а також без них.

Серед додаткових пристроїв намотувальних пристроїв найбільш поширені пристрої поперечного різання.

Розташований зверху рубальний ніж з прямолінійним горизонтальним лезом розрізає плівку під час взаємодії з нижньою різальною пластиною (пат. № CN213037061U).

Під час поперечного різання плівки літаючим ножом різ виконують лезом ножа, що рухається поперек плівки. Для утворення прямого зрізу, перпендикулярного боковим крайкам плівки, в процесі різання каретка з ножом рухається разом з плівкою, після чого повертається у вихідне положення.

Гільйотинний ніж також монтують на рухомій каретці. Поперечний різ здійснюється суцільним ножом, що ковзає по відповідній кромці корпуса ножа.

Одним з найбільш простих методів поперечного різання є перепалювання плівкового полотна струною, нагрітої вище за температуру плавлення полімеру. Недолік методу – виділення продуктів розкладання полімеру під час розрізання плівки.

Пристрій з розширювальним пристроєм, що забезпечує отримання рулону з плоскими торцями й намотаною плівкою без поздовжніх і поперечних складок, містить розташований над намотуваним рулоном валик, що складається з торцевих обойм із закріпленими в них паралельними осями, на яких встановлено розділені пружинами вільнообертові ролики, крайні з яких взаємодіють з копірами (а. с. № SU1232494A1; рис. 4.15). Під час обертання валика плівка, що охоплює його, перед надходженням на формований рулон безперервно центрується й розгладжується.

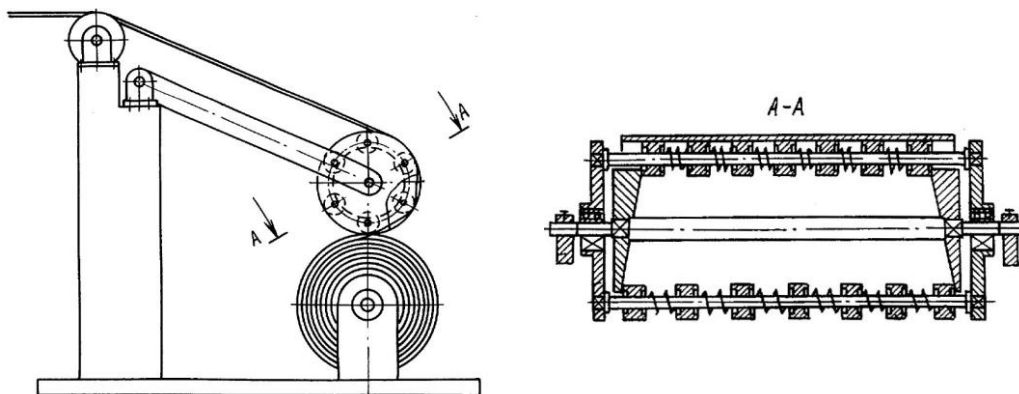


Рис. 4.15. Схема пристрою з розширювальним пристроєм (а. с. № SU1232494A1)

Пристрій центрального типу містить притискний валик, встановлений на радіальних телескопічних штангах і прилеглий до рулону (пат. № CN113291894A). Зазначений валик забезпечує щільне прилягання сусідніх витків рулону без утворення між ними повітряних прошарків.

У пристрої периферійного типу перед притискним роликом поблизу поверхні рулону змонтовано підйомний пристрій, що забезпечує піднімання з рулону намотуваного витка й вихід з-під нього повітря, що усуває утворення поздовжніх і бічних складок (пат. № JPH08225199A).

Намотувальний пристрій оснащено електричним зварювальним пристроєм для фіксації початкового та кінцевого витків рулону та запобігання його несанкціонованого розмотування (пат. № DE3130631A1).

Намотувальний пристрій згідно з пат. № CN213595507U оснащено парою дискових ножів для обрізання крайок намотуваної плівки, пристрій згідно з пат. № CN213445337U – пристроєм для охолодження намотуваної плівки, пристрій згідно з пат. № CN212981885U – лазером для контролю рівномірності намотування плівки по ширині шпулі, а пристрій згідно з пат. № CN212798826U – засобом для точного вимірювання довжини плівки в рулоні.

Зниження залишкових (технологічних) напружень у плівці досягають і її намотуванням на осердя (шпулю) рельєфної форми (пат. № JP2003285978A).

Аналіз пристроїв для намотування полімерних плівок показує, що найбільш поширеними намотувальними пристроями залишаються добре відпрацьовані на практиці пристрої центрального та периферійного типів, забезпечені різноманітними додатковими пристроями. При цьому для розробки нових або вдосконалення існуючих пристроїв для намотування полімерних плівок можна скористатися аналогічними технічними рішеннями, які застосовуються для намотування інших гнучких рулонних матеріалів – металевої фольги та жерсті, а також паперового полотна.

5. ПОДРІБНЮВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РУЙНУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ І ГУМОВИХ ВІДХОДІВ

5.1. Різальні подрібнювачі

Широке використання в промисловості та побуті продукції із застосуванням полімерів і гум спричинює проблему утилізації полімерних і гумових відходів. Це зумовлено як прагненням забезпечити захист довкілля, так і економії цінної хімічної сировини [73–75].

Одним з підготовчих етапів утилізації полімерних і гумових відходів є їх руйнування (дроблення й подрібнення) з метою перетворення великогабаритних відходів на порошок і крихту, придатні для подальшого фізичного й хімічного перероблення [76, 77].

З огляду на особливості фізико-механічних властивостей полімерів і гум, передусім їхніх високих пластичності та еластичності, для подрібнення полімерних і гумових відходів зазвичай використовують такі методи руйнування як різання, стирання, розривання шляхом стиснення з одночасним зсувом, розривання шляхом стиснення з одночасним зсувом та стиранням і набагато рідше – удар [26, 27].

Одним з найбільш поширених методів руйнування зазначених матеріалів завдяки універсальності, а також можливості одержання продукту потрібних розмірів і форми є різання.

Аналіз конструктивно-технологічного оформлення різальних подрібнювачів полімерних і гумових відходів дає змогу запропонувати їхню класифікацію:

- за характером дії різального інструмента на відходи в часі;
- за видом технологічної операції різання;
- за принципом перетворення оброблюваних відходів;
- за кількістю стадій подрібнення;
- за типом руху робочих органів;
- за ступенем універсальності оброблення відходів;
- за формою ротора;
- за розташуванням осі ротора в просторі;
- за формою рухомих різальних елементів роторних подрібнювачів;
- за температурою процесу подрібнення;
- за ступенем мобільності подрібнювача.

За характером дії різального інструмента на оброблюваний матеріал в часі розрізняють процеси руйнування неперервної та переривчастої (періодичної, циклічної) дії.

Подрібнювачі неперервної дії характеризуються більшою продуктивністю, проте подрібнювачі переривчастої дії більш універсальні, оскільки дають змогу обробляти відходи різних типорозмірів.

За технологічною операцією руйнування розрізняють подрібнювачі з реалізацією розрізання, пиляння, фрезерування, стругання, шліфування, стирання, свердління, а також зсувного руйнування оброблюваних відходів.

Розрізання – це процес розділення оброблюваного матеріалу на частини без утворення стружки за допомогою ножиць (зазвичай алігаторних або гільйотинних).

Пиляння – це процес розділення оброблюваного матеріалу на частини з утворенням стружки за допомогою пилок (найчастіше дискових або стрічкових) – інструментів з безліччю різців, зазвичай зубів, для розпилювання різних матеріалів, зокрема полімерів, пластмас та гуми. Існують також беззубі пилки, різальну кромку яких виконано у вигляді закріпленого абразивного порошку або металеві пилки з вільним абразивом (здебільшого піском, корундом, сталевими кульками, оксидом заліза).

Фрезерування – це механічне оброблення різанням оброблюваного матеріалу, за якого обертовий різальний інструмент (фреза) здійснює обертовий рух, а оброблюваний матеріал – поступальний.

Серед фрезерних подрібнювачів найбільшого поширення набули шредери – одно- і двороторні подрібнювачі з боковою робочою поверхнею.

Однороторні шредери зазвичай використовують для попереднього подрібнення великогабаритних відходів різної форми – виливків, труб, гумових виробів. Їх часто оснащують фідером (підпресувальником) для примусового подавання подрібнюваної сировини до робочої зони

Більш універсальними є двороторні шредери, оскільки вони дають змогу ефективно подрібнювати такі важкоутилізовані відходи як плівкові, неткані матеріали, полімерні нитки й стрічки тощо.

Однороторний шредер містить ротор із закріпленими на ньому з проміжками одна відносно одної дисковими пилками, які проходять крізь пази двох нерухомих гребінчастих ножів (пат. № EP0220100A2). Конструкція працює за повільної частоти обертання ротора, що істотно знижує рівень шуму й вібрацій.

Двороторний шредер містить два паралельні зустрічно обертові горизонтальні ротори (заявки № WO2004/014559A1, US2005/242221A1). Кожний ротор подрібнювача виконано складеним з набору встановлених з проміжком фігурних дискових фрез, при цьому в проміжки між якими введено не лише дискові фрези іншого ротора, а й нерухомі ножі у вигляді кільцевих секторів (рис. 5.1).

На рис. 5.2 наведено приклади поширених різальних дисків для встановлення на осерді ротора шредера [78]. Такі або подібні диски фіксують на осерді як щільно один до одного з утворенням неперервно-дискретної структури різальних елементів, так і з проміжком один відносно одного. При цьому сусідні диски встановлюють без кутового зміщення один відносно

одного або з кутовим зміщенням з розташуванням відповідних зубів дисків, наприклад, по гвинтових лініях (рис. 5.3 [79]).

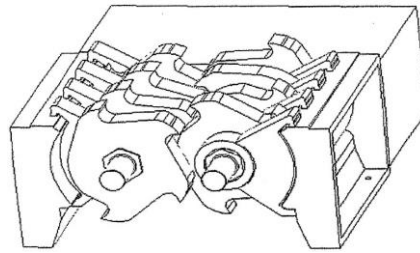


Рис. 5.1. Двоторний шредер (заявки № WO2004/014559A1, US2005/242221A1).

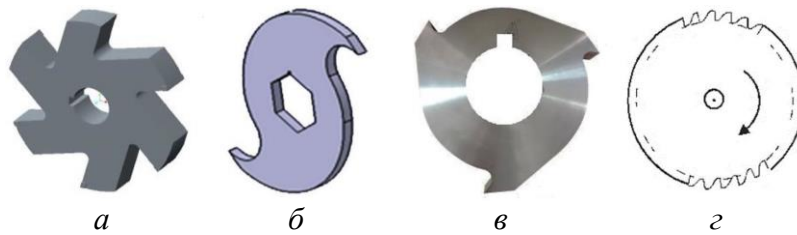


Рис. 5.2. Леза шредерів: а – з шістьма зубами; б – з двома зубами; в – з трьома зубами; з – лезо у вигляді зубчастої пилки [78]

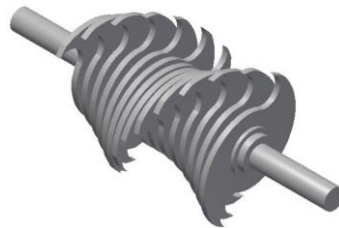


Рис. 5.3. Складений з двозубчастих лез ротор шредера [79]

Стругання – процес оброблення матеріалів різанням зі зняттям стружки, здійснюється за відносного зворотно-поступального руху різального інструмента або оброблюваного матеріалу.

Шліфування – це метод абразивного оброблення поверхонь твердих відходів інструментом, що має вигляд здебільшого тіла обертання, різальними елементами якого є безліч абразивних зерен.

Стирання – це метод відокремлення частинок матеріалу з поверхні твердих відходів за допомогою інструмента (робочого органа) або інших частинок оброблюваних твердих відходів внаслідок їх зсувного руху в площині оброблюваної поверхні.

Свердління – це процес утворення у твердих відходах отворів різанням за допомогою обертового різального інструменту (свердла). Відповідний спосіб описано зокрема в пат № RU2605128C2.

Зсувне руйнування оброблюваних відходів – це процес розривання матеріалу прикладанням до нього зсувних напружень у масиві твердого тіла (а не в площині оброблюваної поверхні, як під час стирання) [80–84].

Комбінований пиляльно-розрізальний двооторний подрібнювач містить два зустрічно обертові ротори із зубцями у вигляді коротких пилок, а також два закріплені на корпусі прямолінійні контрножі (пат. № CN103521328A, CN203591859U). Процес пиляння здійснюється між зубцями роторів у проміжку між ними, а розрізання – між зубцями й контрножами.

За принципом перетворення оброблюваних відходів розрізняють різальні подрібнювачі полімерних і гумових відходів, у яких руйнування відходів здійснюється з утворенням стружки, без утворення стружки, а також з частковою термодеструкцією матеріалу відходів.

Утворення стружки під час оброблення полімерних і гумових відходів реалізується методами їх руйнування, відмітними від розрізання.

З частковою термодеструкцією матеріалу відходів (терморізанням) зазвичай руйнують відходи газонаповнених полімерів. Іноді цей метод називають також різанням нагрітою струною (дротом).

Для реалізації терморізання зазвичай використовують нагріту струну з матеріалу, що має великий питомий електричний опір. Під час нагрівання електричним струмом, що проходить крізь струну, оброблюваний полімерний матеріал нагрівається до температури вище за температуру плавлення (наприклад, пат. № UA65413U, UA77905U, CN692282A5). При цьому швидкість різання залежить від діаметра й температури струни, типу та структури матеріалу відходу, а також відносної швидкості руху струни та оброблюваного відходу. Наприкінці процесу різання струна завдяки випаровуванню з її поверхні залишків оброблюваного матеріалу самоочищується.

За кількістю стадій подрібнення розрізняють одно-, дво- і багатостадійні подрібнювачі.

Одностадійний двоторний подрібнювач з розташованим під роторами віброгрохотом дає змогу розділяти подрібнені відходи за розміром на дві фракції (пат. № CN214346760U).

Двостадійний роторний подрібнювач містить кожух з розміщеними в ньому одна над одною у взаємно перпендикулярних напрямках парами горизонтальних ножових роторів, оснащених індивідуальними приводами (пат. № CN208962235U). В аналогічному подрібнювачі вузол остаточного подрібнення (друга стадія) містить не два, а три ротори, розташовані в одній площині (пат. № CN213996059U).

В інших двостадійних роторних подрібнювачах аналогічні пари горизонтальних ножових роторів також розташовано на різному рівні, але паралельно одна одній (пат. № CN212498517U, CN213382420U, CN214491218U).

Двостадійний роторний подрібнювач містить розташовані один під одним двороторний вузол попереднього подрібнення та однороторний вузол остаточного подрібнення (пат. № CN213500266U).

Двостадійний подрібнювач містить розташовані одні під одним двороторний вузол попереднього подрібнення та лопатевий вузол остаточного подрібнення (пат. № CN213797577U).

Двостадійний подрібнювач містить розташовані одні під одним двороторний вузол попереднього подрібнення та вузол остаточного подрібнення, виконаний у вигляді вертикального вала з трьома різальними дисками та закріпленими між ними на корпусі трьома кільцевими контрножами, діаметр яких зменшується зверху донизу (пат. № CN213797577U).

Багатостадійний (тристадійний) подрібнювач наведено в пат. № CN214111070U. Перші дві стадії руйнування відходів реалізуються в розташованих один під одним двороторних подрібнювачах, а третя стадія – в розташованому під ними однороторному подрібнювачі.

За типом руху робочих органів розрізняють подрібнювачі з обертовими робочими органами (органом), з поступальним і коливальним рухом робочого органа, а також з комбінованим рухом робочих органів.

У виробництвах з перероблення полімерних відходів найбільшого поширення набули пристрої з обертотворним рухом різальних елементів – роторні, тарілчасті, лопатеві й дискові подрібнювачі.

Роторні подрібнювачі – подрібнювачі з ножовим ротором – використовують для подрібнення полімерних відходів різних форми й розмірів (насамперед для подрібнення відходів, що утворюються в процесах перероблення пластмас: ливники, облой, відходи плівки, брак тощо)

Схему типового ножового роторного подрібнювача зі шнековим (черв'ячним) живильником наведено на рис. 5.4. Подрібнюваний матеріал завантажується в бункер 1, з якого він захоплюється шнеком 2, розташованим у корпусі 3, і подається в циліндричний корпус 4, де встановлено ножовий ротор 5. Матеріал, що потрапив у корпус, захоплюється ножовим ротором і, потрапляючи в простір між нерухомими 6 і рухомими 7 ножами, подрібнюється. Фрагменти матеріалу, відрубані ножами, відкидаються на сито 8, встановлене в нижній частині корпуса 4. Якщо їх розмір менше за розмір комірок сита, вони проходять крізь комірки в розвантажувальний патрубок 9, з якого подрібнений матеріал потрапляє в приймальну ємність або за допомогою пневмотранспорту подається на повторне перероблення [31].

Значним недоліком швидкохідних ротаційних дробарок є високий рівень шуму, що досягає 115 дБ. Основні джерела шуму – зіткнення частинок подрібнюваного матеріалу з корпусом, ножами та між собою, а також наявність турбулентних повітряних потоків. Для зменшення рівня шуму

використовують звукоізоляцію бункера та завантажувального отвору, що дає змогу знизити рівень шуму до 90–95 дБ. Застосування масивних корпусів і знижених частот обертання роторів знижує рівень шуму ще на 10–15 дБ, але це істотно ускладнює конструкцію подрібнювача [31].

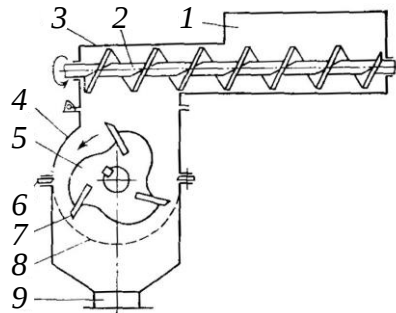


Рис. 5.4. Схема ножевого роторного подрібнювача зі шнековим живильником [31]:

- 1 – завантажувальний бункер; 2, 3 – шнек і корпус шнекового живильника;
- 4 – корпус подрібнювача; 5 – ножовий ротор; 6, 7 – нерухомі й рухомі ножі;
- 8 – сито; 9 – розвантажувальний патрубок

Конструкція ротора залежить від умов роботи. У разі подрібнення відходів плівки, порожнистих відходів (тонкі матеріали, легкі умови) застосовують зварні та складені ротори, що є рами із закріпленими на них ножами. У дробарках, призначених для подрібнення великих відходів, ротор одночасно грає роль маховика. Тому його виконують у вигляді суцільного циліндра. Для особливо важких умов роботи при подрібненні щільних масивних відходів ротори виконують у вигляді спеціальних фрез.

Якість подрібнення та споживана потужність істотно залежать від конструкції ротора й ножів, передусім рухомих (розташованих на роторі).

Кількість ножів, їх розташування і форму вибирають таким чином, щоб у кожний момент часу в розрізанні матеріалу, що контактує з нерухомим ножем, брав участь тільки один рухомий ніж. Конструкція кріплення ножів до барабана має забезпечувати передачу динамічних навантажень від різання безпосередньо на тіло ротора, а не пристрій кріплення ножів.

Кількість рухомих ножів зазвичай становить від двох до чотирьох, проте відомі конструкції з рухомими 27 ножами. Кількість нерухомих ножів зазвичай дорівнює двом, хоча відомі конструкції з 12 нерухомими ножами. Профіль ножів залежить від властивостей подрібнюваного матеріалу. Враховуючи швидке зношування робочих кромek, ножі виготовляють з декількома різальними кромками (до чотирьох) і переставляють у міру їх зношування [31].

Подрібнений матеріал вивантажується з камери дробарки крізь розташовану в нижній частині камери металеву сітку з розміром комірок, який визначає розмір частинок одержуваного продукту.

Однороторний подрібнювач споряджено двома зустрічно обертовими валками для попереднього сплющування об'ємних порожнистих відходів, наприклад, пляшок, каністр або інших ємностей (пат. № FR2711552A1). Для надання сплющених відходів потрібної гнучкості перед їхнім подрібненням щонайменше один з валків оснащено нагрівниками.

Ротор однороторного подрібнювача виконано у вигляді горизонтально розташованої правильної прямої трикутної призми із закріпленими на її бокових гранях прямих ножах (заявка № WO03/103839A1). Перевага конструкції – висока надійність і зручність фіксації ножів на роторі. Ротор аналогічної форми також запропоновано в пат. № CN213533365U.

Серед подрібнювачів з обертовим робочим органом крім однороторних використовуються також двороторні подрібнювачі, які містять два здебільшого зустрічно обертові паралельні валки з поздовжніми ножами (часто виконаними у вигляді рифлів) і зазвичай використовуваними для подрібнення великогабаритних відходів, наприклад, спрацьованих пневматичних шин ([75], пат. № KR102264246B1).

Двороторний подрібнювач з дисковими ножами, які встановлено з проміжком один відносно одного й частково входять у проміжки між ножами іншого ротора (пат. № JP2003047872A). Вали роторів виконано гнучкими, так що вони підлаштовуються під форму й ширину оброблюваних плоских відходів, наприклад, оптичних дисків, пластикових карток або листів тощо.

Аналогічний двороторний подрібнювач оснащено пристроєм для примусового подавання відходів у проміжок між роторами, що складається з двох нескінченних ланцюгів із зачепами (заявка № DE102008012724A1).

Рідше зустрічаються багатороторні подрібнювачі. Так, розроблено багатороторний стругальний подрібнювач, який містить декілька розташованих в одній площині вертикальних роторів односпрямованого обертання із закріпленими на кожному з них з проміжками одна відносно одної дисковими пилками, які частково проходять крізь проміжки дискових пилок сусідніх роторів (або одного ротора для крайніх роторів). Конструкцію призначено для подрібнення спресованих тюків пакувальних полімерних матеріалів, при цьому загальна ширина роторів перевищує ширину подрібнюваного тюка (пат. № GB2390043A).

До багатороторних належить трироторний подрібнювач з повним зачепленням роторів [15, 19, 20, 24], кожний з яких виконано у вигляді сукупності встановлених по черзі дискових пилок двох діаметрів (заявка № DE2526650A1). Він належить до подрібнювачів з комбінованим обертанням роторів, адже перші два ротори розташовано в горизонтальній площині й обертаються назустріч один одному, а другий і третій, які розташовано у вертикальній площині, – в одному напрямку. Для підвищення ефективності руйнування відходів ротори обертаються з різною частотою.

Також серед подрібнювачів з обертовим робочим органом використовуються тарілчасті подрібнювачі, які зазвичай містять вертикальний циліндричну ємність та розміщену біля її днища горизонтальну тарілку зі змонтованими на ній радіальними ножами (заявка № DE3009410A1).

Тарілчастий подрібнювач для оброблення ПЕТ-пляшок та інших ємностей містить опуклу тарілку у вигляді зрізаного кругового конуса (різальні елементи закріплено на зовнішній поверхні оболонки), а також споряджений контрножами кожух (пат. № DE10113953C1).

Тарілчастий подрібнювач містить щонайменше одну зубчасту тарілку у вигляді круглої пилки, змонтовану на горизонтальному валу, при цьому зазначена тарілка (або тарілки) розміщено в циліндричному кожусі, внутрішню поверхню якого виконано зі штучною шорсткістю, наприклад, з поздовжніми гофрами (пат. № FR2732623A1). Оброблюваний матеріал, який рухається вздовж кожуха потоком повітря, дещо затримується зазначеними гофрами та одночасно інтенсивно ріжеться зубцями тарілки (тарілок), після чого подрібнений матеріал тим самим потоком повітря видаляється з подрібнювача.

Лопатевий роторний подрібнювач конструктивно аналогічний лопатевій мішалці [85, 86], на відміну від якої замість двох ярусів закріплених на вертикальному валу перемішувальних лопатей встановлено ножові лопаті, запропоновано в пат. № CN213797577U.

В аналогічних подрібнювачах на вертикальному валу закріплено чотири яруси скручених по довжині ножових лопатей (пат. № CN214077022U, CN214214410U).

Дводисковий подрібнювач містить корпус з розташованим в ньому вертикальним валом зі змонтованими на ньому двома різальними дисками, один з яких зафіксовано на валу жорстко, а другий – через паразитну шестірню вільно, що забезпечує обертання дисків у протилежних напрямках та ефективно руйнування відходів (пат. № CN214136889U).

Подрібнювач з коливальним рухом робочого органа описано в заявці № DE19610567A1. Дугоподібні пилки у верхній частині змонтовано на двох паралельних колінчастих валах, а нижні контактують з упорами (обмежниками горизонтального руху). Зазначені пилки утворюють криволінійний клиновий робочий проміжок. Оброблюваний матеріал після потрапляння в зазначений проміжок піддається різанню пилками, які здійснюють незалежний від інших пилок коливальний рух (за аналогією зі щоквою дробаркою зі складним рухом щоки [21, 22, 87]).

Призначений для руйнування ПЕТ-пляшок на вузькі смуги подрібнювач з комбінованим рухом робочих органів наведено в пат. № US4987829A та заявці № WO91/04848A1. Цей подрібнювач містить вертикально розташований замкнений ланцюг з клиноподібними зубами, який захоплює

пляшки, пробиває їх зубами, сплющує в проміжку між ланцюгом і вертикальною плитою, після чого подає їх в проміжок між багатодисковим горизонтально розташованим ротором і зазначеним ланцюгом,

За ступенем універсальності оброблення відходів розрізняють універсальні та спеціалізовані подрібнювачі.

Універсальні подрібнювачі призначені для оброблення полімерних відходів різного типу: об'ємних, плівкових, листових, погонажних тощо. До них належать передусім однороторні подрібнювачі.

До спеціалізованих належать подрібнювачі для руйнування плівок, листів, труб, пляшок, пінополімерів.

Для подрібнення листових полімерних відходів на частинки у формі паралелепіпеда певних розмірів часто використовують так звані «дайсери». Розмір одержуваних на них частинок можна регулювати, змінюючи кількість встановлених на роторі ножів, швидкість обертання ротора та швидкість подачі сировини.

Типовий дайсер (рис. 5.5) містить поздовжньо-різальний пристрій з дисковими ножами 1 і 4 та ножовий барабан 9, встановлений у кожусі 8 на приводному валу 10. Полімерний лист 2, що підлягає подрібненню, проходить між напрямними 3 і надходить до поздовжньо-різального пристрою, циркулярні ножі якого 1 і 4 ріжуть лист у поздовжньому напрямку на стренги. Верхній ніж 4 укріплено на оснащений підтискною пружиною 5 рухомий опорі. Далі стренги надходять на тягнучі ролики 6 і 14, які просувають їх до нерухомого ножа 13. Ролик 6 при цьому також оснащено підтискною пружиною 7. Потрапляючи на нерухомий ніж 13, стренги розрізаються в поперечному напрямку обертовими ножами 11 ротора 9. Подрібнений матеріал виводиться з дробарки крізь розвантажувальний патрубок 12 [31].

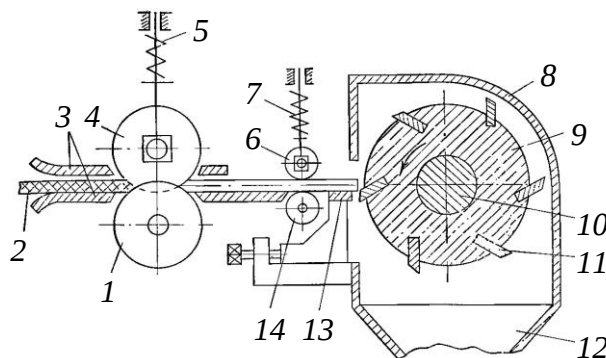


Рис. 5.5. Схема подрібнювача з дисковими ножами та обертовим ротором для руйнування листового матеріалу на частинки у вигляді паралелепіпеда певних розмірів [31]:

- 1, 4 – дискові ножі для поздовжнього розрізання листових відходів; 2 – листові відходи; 3 – напрямна; 5, 7 – притискні пружини; 6, 14 – тягнучі ролики; 8 – кожух; 9 – ножовий ротор; 10 – вал ротора; 11 – ножі ротора; 12 – розвантажувальний патрубок; 13 – нерухомий ніж

У пат. № CH505650A та FR2062100A5 розглянуто конструкцію дайсера з парними дисковими ножами для поздовжнього розрізання листових, рулонних або плівкових відходів (рис. 5.6). Подальше поперечне розрізання одержаних стренг або стрічок здійснюється за допомогою ролика з гвинтовими лезами (зубцями).

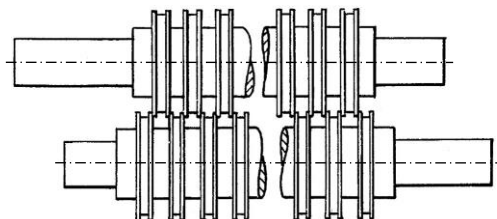


Рис. 5.6. Блок поздовжнього розрізання листових, рулонних або плівкових відходів (пат. № CH505650A, FR2062100A5)

У пат. № JP2013252609A описано дайсер з дисковими ножами для поздовжнього розрізання листових, рулонних або плівкових відходів і подільшого поперечного розрізання одержаних стрічок за допомогою ролика з прямолінійними лезами. Кожний ротор для попереднього поздовжнього розрізання містить закріплені на валу дискові ножі у вигляді спрямованих в одному напрямку зрізаних конусів, при цьому зрізані конуси обох роторів повернуто в протилежні сторони, а самі ротори можуть мати різний діаметр.

Однороторний подрібнювач для подрібнення полімерної плівки містить горизонтальний ротор з неперервними поздовжніми ножами розглянуто в заявці № DE4231225A1, а аналогічний подрібнювач для оброблення більш широкого класу полімерних відходів – у пат. № US4871118A.

У двороторному подрібнювачі для подрібнення полімерної плівки один з роторів виконано притискним, а другий – робочим (заявка № DE2343728A1). Робочий ротор виконано циліндричним з кільцевими ножами для поздовжнього розрізання полімерної плівки, виконаними з двома розривами, в яких встановлено поздовжні ножі для поперечного розрізання утворюваних за допомогою кільцевих ножів плівкових смужок.

Двороторний подрібнювач для руйнування полімерних пляшок розроблено та досліджено в праці [88].

Механічний подрібнювач для пінополімерів [89] описано в пат. № CN201275825Y, а двороторний подрібнювач для руйнування полімерних труб – у пат. № CN206899582U.

За формою роторів розрізняють подрібнювачі з роторами у вигляді кругового циліндра (найбільш поширені) й зрізаного кругового конуса.

Однороторний подрібнювач з ротором у вигляді зрізаного кругового конуса, встановленим у конічному кожусі, при цьому на боковій поверхні ротора та внутрішній поверхні кожуха виконано різальні елементи (заявка № DE2736349A1).

За розташуванням осі ротора (осей роторів) у просторі розрізняють подрібнювачі з горизонтальним і вертикальним розташуванням роторів.

При цьому у двороторних подрібнювачах ротори з їх горизонтальним розташуванням можуть бути розташовані як у горизонтальній, так і вертикальній площині (один біля другого (пат. № CN209191073U) та один над другим (пат. № CN210552394U), відповідно). Набагато рідше ротори з їх горизонтальним розташуванням розташовано один над одним та зі певним зміщенням у горизонтальному напрямку (пат. № CN206899582U).

За формою рухомих різальних елементів роторних подрібнювачів розрізняють подрібнювачі з неперервними (на всю довжину ротора), дискретними та комбінованими різальними елементами, при цьому неперервні різальні елементи (ножі) можуть бути прямими й гвинтовими.

Роторний подрібнювач з дискретними різальними елементами у вигляді різьбового шипа, що має форму правильної три- або чотирикутної піраміди (заявка № DE102006002507A1).

Ротор подрібнювача з дискретними різальними елементами у вигляді знімних штирів, закріплених на поверхні циліндричного ротора з утворенням сукупності еквідистантно розташованих V-подібних ламаних ліній (пат. № CN201755880U).

Ротор подрібнювача для подрібнення поліетиленових труб містить дискретні різальні елементи у вигляді клинів, закріплених на поверхні циліндричного ротора з утворенням дванадцяти еквідистантно розташованих U-подібних кривих ліній (пат. № CN202683304U). Аналогічну конструкцію ротора, але з різальними елементами іншої форми, наведено в пат. № CN202909796U.

На циліндричному роторі подрібнювача розміщено сукупність дискретних елементів різної форми як для різання, так і ламання полімерних відходів, що розширює технологічні можливості подрібнювача (пат. № CN203972064U).

Роторний подрібнювач із закріпленими на роторі чотирма прямими однолезвійними ножами описано в пат. № RU2104867C1.

Роторний подрібнювач із закріпленими на роторі прямими дволезвійними V-подібними ножами розглянуто в а. с. № SU1747162A1. Зазначена форма ножів не лише збільшує кількість різальних поверхонь, але й змінює напрямок швидкості відокремлених від подрібнюваного матеріалу фрагментів, які відкидаються до нерухомих ножів, корпуса та розвантажувальної решітки. Недолік конструкції – складність конструкції V-подібних ножів.

На відміну від прямих гвинтові ножі сприяють більш плавному (без різких ударів) руйнуванню, що знижує вібрацію обладнання та рівень його шуму під час роботи.

Ротор подрібнювача згідно із заявкою № US2006/086855A1 оснащено комбінованими різальними елементами: шевронними в центральній частині ротора та розташованими по гвинтових лініях дискретними ромбічними виступами (рис. 5.7).

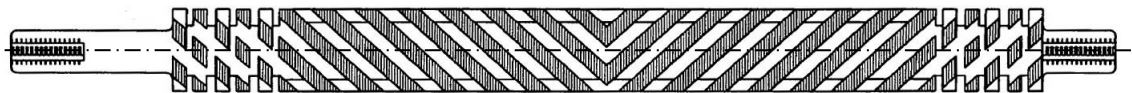


Рис. 5.7. Схема ротора з комбінованими різальними елементами (заявка № US2006/086855A1)

Також до роторів з комбінованими різальними елементами можна віднести ротор з набором окремих пилок, зміщених по куту одна відносно одної з утворенням розташованих по гвинтових лініях неперервно-дискретних зубів (заявки № US2013/119171A1, US2013/119575A1; рис. 5.8). Така конструкція забезпечує ефективне та руйнування полімерних відходів широкої номенклатури з низьким рівнем шуму й вібрацій.

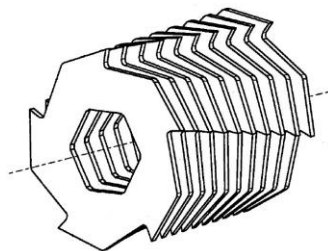


Рис. 5.8. Схема ротора з комбінованими різальними елементами (заявки № US2013/119171A1, US2013/119575A1)

Двороторний подрібнювач із зустрічно обертовими роторами схожої конструкції запропоновано в заявках № US2008/115647A1, US2008/265072A1. У кожному роторі окремі пилки виконано з трьома великими різально-розривними зубами, повернутими один відносно одного на 120°.

За температурою оброблення відходів розрізняють подрібнювачі з робочою температурою, близькою до температури навколишнього середовища, нижчою за температуру навколишнього середовища, а також вищою за температуру навколишнього середовища, при цьому в останньому разі температура може бути нижчою за температуру термодеструкції та вищою за неї.

Експериментально доведено, що мінімальна енергоємність процесу руйнування еластомерів, які є основою гумовмісних відходів, має місце за низьких (приблизно мінус 70–80 °С), а також за підвищених (100–120 °С) температур, що відповідно реалізується під час їх криогенного та зсувного руйнування [82, 81].

Для забезпечення підтримання потрібної температури поверхні роторів двороторного подрібнювача й запобігання плавлення або термодеструкції

подрібнюваних відходів ротори оснащують системами рідинного охолодження (пат. № CN210552394U, CN210590081U). Зазначена система аналогічна системам охолодження валків валкових машин для перероблення гумових сумішей (вальців і каландрів) [56].

Пристрої для розрізання відходів пінополімерів за допомогою гарячої струни (температура струни в цьому разі вище за температуру термодеструкції оброблюваного полімеру) запропоновано в пат. № CN692282A5 та UA77905U. При цьому струмопровідну струну виготовлено з матеріалу з високим питомим електричним опором і підключено до джерела електричного струму.

За ступенем мобільності розрізняють стаціонарні та пересувні (рухомі) подрібнювачі.

Стаціонарні подрібнювачі простіші у виготовленні та експлуатації, проте пересувні (рухомі) подрібнювачі вирізняються ширшими технологічними можливостями, оскільки можуть бути оперативно доставлені до місця перероблення відходів. Пересувні подрібнювачі зазвичай монтують на самохідному або несамохідному (причіпному) транспортному (здебільшого автомобільному) шасі ([75, 90], пат. № US5395061A, US5601240A, заявка № WO94/19106A1, WO94/25168A1, WO96/33020A1).

Достатньо актуальним є пересувний двороторний подрібнювач, призначений для подрібнення полімерних відходів у закладах охорони здоров'я, передусім, лікарнях і госпіталях (заявка № WO2020/133135A1). Подрібнювач при цьому оснащено пристроєм для промивання подрібненого матеріалу водою, що може стати в пригоді в сучасній несприятливій епідеміологічній ситуації [73].

Також розроблено мобільні енергонезалежні подрібнювачі полімерних відходів, оснащені сонячними батареями для живлення приводних електродвигунів [91, 94].

Аналіз сучасного стану і перспектив використання різальних подрібнювачів полімерних і гумових відходів дає змогу стверджувати, що подрібнювачі цього типу залишаються й найближчому майбутньому залишатимуться основним видом обладнання для руйнування полімервмісних відходів з метою їх подальшого перероблення фізичними методами та їх використання для створення нових композиційних матеріалів з прогнозованими властивостями [48, 93, 93, 95].

При цьому розробники нової техніки намагатимуться створити універсальні різальні подрібнювачі, здатні переробляти відходи з різних полімерів та еластомерів та різного типорозміру, а також максимально позбутися недоліків найбільш поширених традиційних роторних різальних подрібнювачів, передусім високого рівня шуму та відносно низької стійкості різальних елементів.

5.2. Пружно-деформаційні подрібнювачі

Широке використання в промисловості та побуті виробів із застосуванням гум, і передусім автомобільних шин, породжує проблему утилізації гумовмісних відходів. Це зумовлено як прагненням забезпечити захист довкілля, так і заощадження цінної хімічної сировини.

Одним із шляхів утилізації гумовмісних відходів є їх перероблення на порошок і крихту, які можуть бути використані як компоненти різноманітних композицій (у тому числі і гумових сумішей) [75, 96, 97].

Для подрібнення відходів зазвичай використовують такі методи руйнування матеріалів як різання, удар, стирання, стиснення, стиснення з одночасним зсувом та стиснення з одночасним зсувом і стиранням [98].

При цьому експериментально доведено, що мінімальна енергоємність процесу руйнування еластомерів має місце за низьких (приблизно мінус 70–80 °C), а також за підвищених (100–120 °C) температур [5, 99].

Незважаючи на отримання більш чистої гумової крихти і приблизно однакові з подрібненням за температури навколишнього середовища сумарні витрати енергії, подрібнення за низьких температур (криогенне подрібнення) не набуло широкого поширення внаслідок значних експлуатаційних витрат та необхідності спеціального холодильного обладнання. Крім того, криогенна гумова крихта має відносно невисоку питому поверхню, а не пористу й розвинену, що зменшує її поверхневу активність під час її подальшого використання як компонента різноманітних композицій, тому перевага надається методам подрібнення за підвищених температур (рис. 5.9).

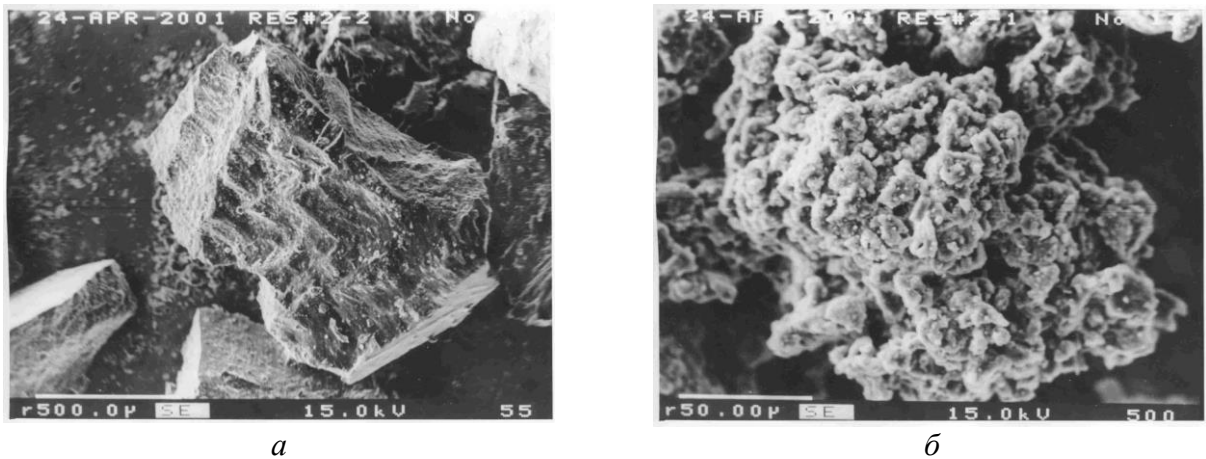


Рис. 5.9. Загальний вигляд гумової крихти, отриманої подрібненням за низьких (а) та підвищених (б) температур [80]

На етапі попереднього подрібнення гумовмісних відходів найчастіше застосовують механічні ножиці, валкові дробарки і шнекові подрібнювачі, після яких частково подрібнені відходи зазвичай доподрібнюють у ножових

дробарках і грануляторах. Остаточне оброблення попередньо подрібнених відходів з метою зниження енергоємності процесу отримання високоякісного продукту доцільно реалізувати на обладнанні, що забезпечує подрібнення за підвищених температур. До такого обладнання насамперед належать роторні подрібнювачі, в яких реалізується високоефективний процес пружно-деформаційного подрібнення. Зазначений метод ґрунтується на руйнуванні стисненням з одночасним зсувом та стиранням і при цьому не тільки забезпечує отримання крихти з розвиненою активованою поверхнею, а й характеризується відносно невисокою енергоємністю [5, 75, 80].

У прототипах роторних подрібнювачів – черв'ячно-дискових подрібнювачах з черв'яком і розташованим на його наконечнику диском – також реалізується подрібнення відходів стисненням з одночасним зсувом та стиранням. Однак такі конструкції внаслідок багаторазової та стрімкої зміни напрямку руху потоку подрібнюваної сировини схильні до забиття, що може призвести до зниження продуктивності та якості одержуваного продукту внаслідок термодеструкції перероблюваного матеріалу (а. с. № SU1717381A1, пат. № UA17843A). При цьому диск і корпус таких подрібнювачів часто оснащують різноманітними різальними елементами, які дещо змінюють механізм пружно-деформаційного руйнування, що призводить до зниження питомої поверхні одержуваної крихти або порошку (пат. № UA17843A).

Основними елементами роторних подрібнювачів є корпус 4 із завантажувальним 2 і розвантажувальним 6 отворами, послідовно розташованими камерами стиснення 9 і подрібнення 8, а також розміщений у корпусі із зазором відносно нього й можливістю обертання транспортувально-ущільнювальний шнек 3 (далі – шнек) з подрібнювальним ротором 5 (далі – ротор), який іноді оснащують наконечником 7, наприклад, у вигляді зворотного конуса (рис. 5.10).

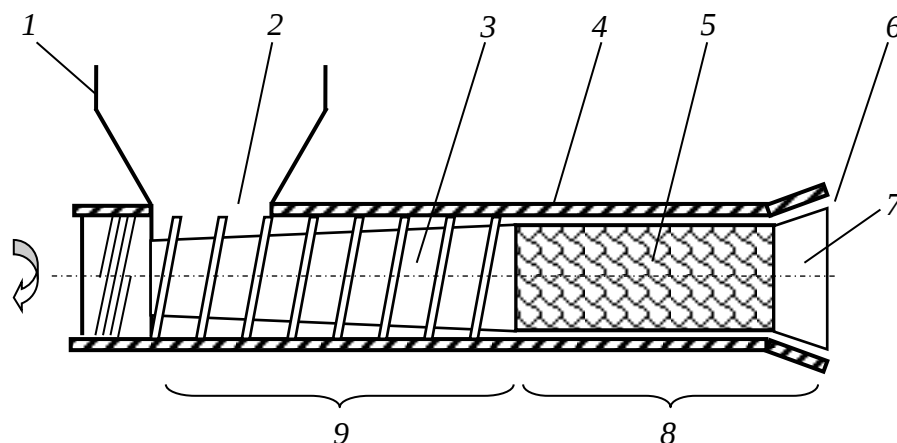


Рис. 5.10. Принципова схема влаштування роторного подрібнювача:

- 1 – завантажувальний бункер; 2, 6 – завантажувальний та розвантажувальний отвори;
- 3 – транспортувально-ущільнювальний шнек; 4 – корпус; 5 – подрібнювальний ротор;
- 7 – наконечник ротора; 8, 9 – камери подрібнення та стиснення

Одержуваний порошок з частинками середнього розміру 150–500 мкм має значну питому поверхню. Внаслідок цього, а також наявності вільних радикалів на поверхні частинок, що утворюються в результаті руйнування вихідної сировини, кінцевий продукт має значну поверхневу активність, що сприяє підвищенню характеристик композицій з його використанням. У той самий час висока поверхнева активність високодисперсних порошків призводить до зниження терміну їх зберігання як у чистому вигляді, так і у складі різних композицій, наприклад бітумних [76, 100].

Подрібнений гумовмісний матеріал безпосередньо переробляють на різні вироби (шланги, килимки, плити для покриття підлог), застосовують як наповнювач композиційних матеріалів (наприклад, поліетилен-гумових композицій, з яких виготовляють підрейкові підкладки і т.п.), як добавки в бітуми для виготовлення покрівельних і мастикових матеріалів, а також як домішку до палива (наприклад, у цементній промисловості).

Останнім часом запропоновано численні конструкції роторних подрібнювачів, які можна класифікувати за різними ознаками (рис. 5.11).

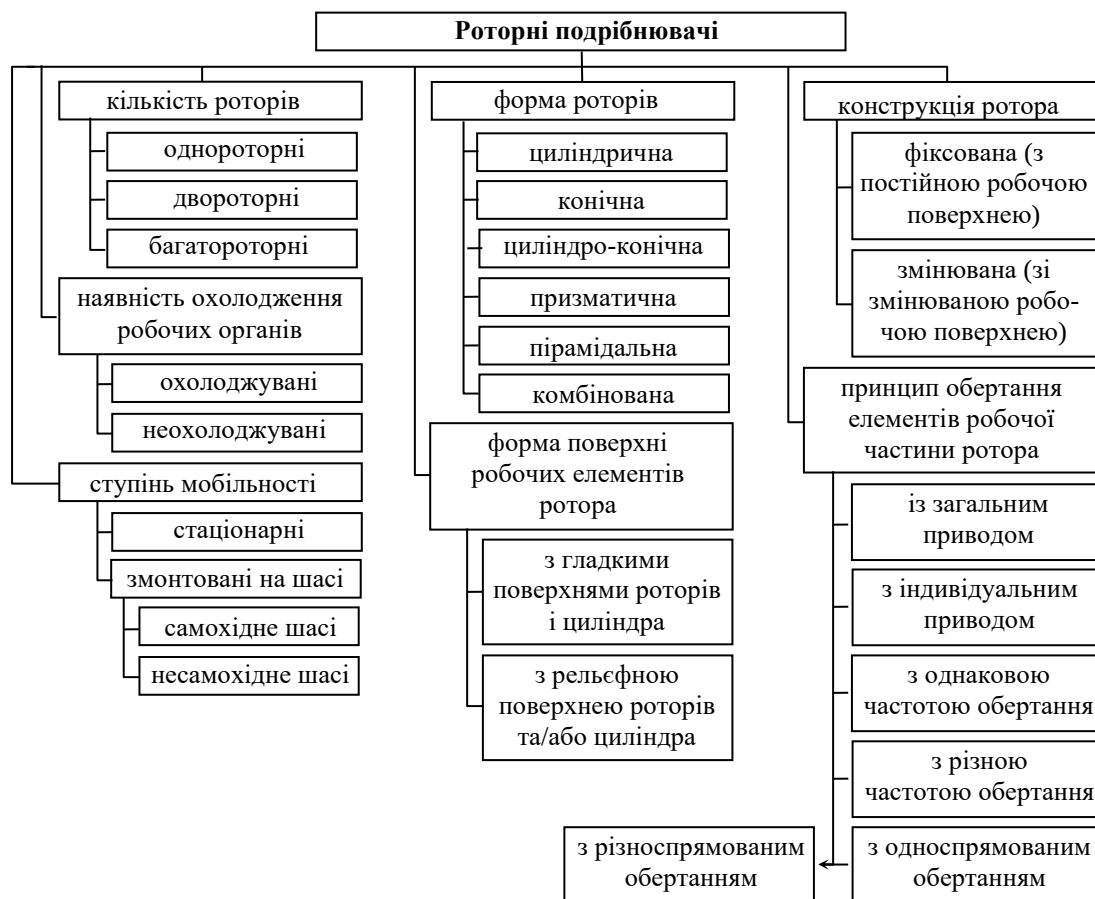
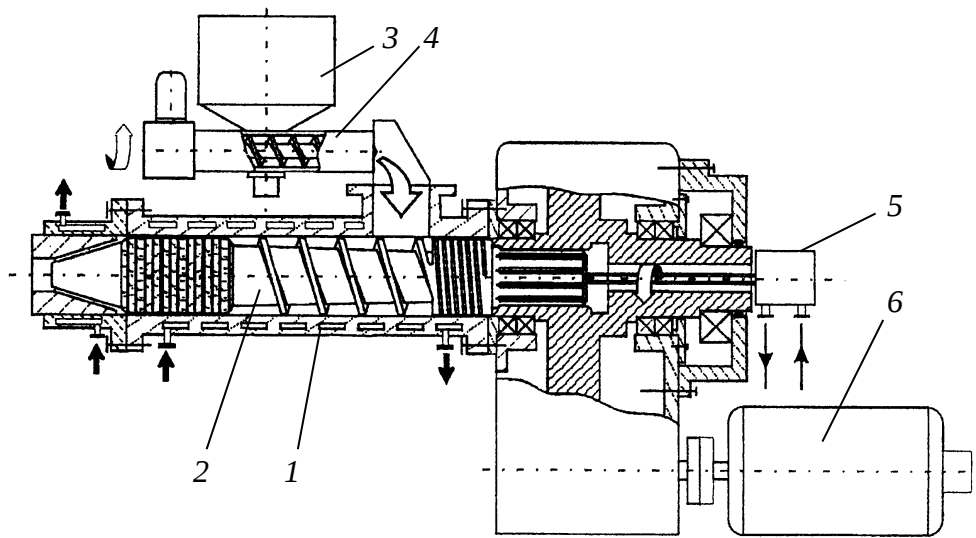


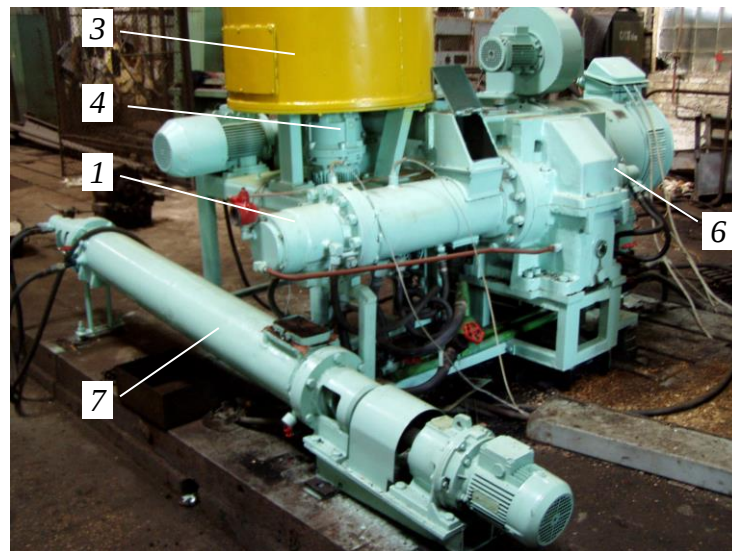
Рис. 5.11. Класифікація роторних подрібнювачів

На рис. 5.12 наведено конструкцію диспергатора-екструдера черв'ячно-роторного ДЕКЧЕР-150, розробленого Першим київським механічним

за заводом (колишнє ПАТ «Більшовик», м. Київ). Цей подрібнювач належить до стаціонарних машин з одним циліндричним ротором, а також охолоджуваними робочими органами, що мають рельєфні поверхні.



a



б

Рис. 5.12. Схема (а) та фотознімок (б) конструкції роторного подрібнювача ДЕКЧЕР-150 виробництва Першого київського механічного заводу: 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – бункер вихідної сировини; 4 – дозатор; 5 – система охолодження ротора; 6 – привід; 7 – охолодний гвинтовий транспортер [5]

З метою запобігання термодеструкції перероблюваного матеріалу (швидкість зсуву в камері подрібнення може перевищувати 2500 с^{-1}) робочі органи роторних подрібнювачів – корпус, шнек та ротор – необхідно охолоджувати (пат. № RU2038979C1). При цьому наближення охолоджувальних каналів до робочої поверхні ротора сприяє зниженню витрати води та інерційності системи охолодження (пат. № UA1673U).

У високопродуктивних подрібнювачах іноді застосовують проміжне охолодження перероблюваної сировини між послідовно розташованими парами «шнек – ротор», змонтованими на загальному валу (пат. № RU2038214C1, RU2134639C1). При цьому виконання пар «шнек – ротор» з діаметром, що збільшується в напрямку перероблення матеріалу, сприяє зменшенню розміру частинок одержуваного продукту та зменшує ймовірність забивання камери подрібнення (пат. № RU2134639C1).

Переважає більшість удосконалень роторних подрібнювачів стосується модернізації їхніх основних робочих органів – ротора та корпусу – на ділянці розташування ротора.

Так, наприклад, ротор запропоновано оснащувати щонайменше однією профільованою ділянкою, що утворює з циліндричною поверхнею порожнини корпусу зазор змінної величини (в коловому напрямку) (пат. № UA1427U). Цього можна досягти, наприклад, виконанням ротора не у вигляді співвісного з порожниною корпусу кругового циліндра, а у вигляді співвісного з порожниною еліптичного корпусу циліндра або призми. Також у цьому разі ротор можна виконати і у вигляді одного або декількох кругових циліндрів, розміщених з ексцентриситетом відносно поздовжньої осі порожнини корпусу (пат. № RU2254992C1).

Для підвищення ефективності руйнування перероблюваного матеріалу внутрішню поверхню порожнини корпусу й зовнішню поверхню ротора оснащують дискретними робочими виступами, які не ріжуть матеріал, а розривають його, тим самим забезпечуючи високу питому поверхню одержуваного продукту (пат. № RU2038979C1). Для спрощення виготовлення таких виступів запропоновано утворювати їх багатозахідними гвинтовими різьбами обох напрямків, при цьому різьби можуть мати різні кроки та/або різну кількість заходів (пат. № UA53728C2).

Багатозахідні гвинтові різьби обох напрямків також виконують на внутрішній поверхні корпусу, які в поєднанні з багатозахідною нарізкою ротора істотно підвищують ефективність подрібнення (заявка № DE102008046633B3). Однак при цьому не тільки ускладнюється виготовлення машини, а й її експлуатація (зокрема, ускладнюється очищення канавок на внутрішній поверхні корпусу).

Оснащення робочих органів подрібнювача безперервними робочими виступами, розташованими під кутом до поздовжньої осі шнека (пат. № UA54588C2), забезпечує можливість регулювання часу перебування подрібнюваного матеріалу в робочій зоні машини. Так, за умови збігу напрямку кута поздовжніх робочих виступів ротора з напрямом кута виступів шнека (і відповідно протилежним напрямом кута відповідних виступів порожнини корпусу) рух матеріалу крізь робочу зону прискорюється, що зменшує час перебування в ній матеріалу та знижує ймовірність його

термодеструкції. За умови протилежного розташування зазначених виступів рух подрібнюваного матеріалу крізь робочу зону сповільнюється, що сприяє отриманню високодисперсного продукту, проте при цьому підвищується ймовірність перегріву подрібнюваного матеріалу.

У патенті № UA40351A в кожному з поздовжніх пазів стінки порожнини корпусу запропоновано розміщувати пластину, встановлену з можливістю регулювання ступеня її занурення у відповідний паз, що забезпечує можливість зміни глибини паза й відповідно розміру частинок одержуваного продукту, а також коефіцієнта зчеплення подрібнюваного матеріалу з корпусом, що розширює технологічні можливості машини.

Для компенсації значних осьових зусиль, що діють на робочі органи з боку перероблюваного матеріалу запропоновано конструкцію подвійного шнека, що має по дві ділянки стиснення й подрібнення, при цьому дві однотипних ділянки шнека розташовано послідовно (пат. № UA40302A). Таке технічне рішення майже повністю усуває осьове зусилля, що діє на рухомий робочий орган, і таким чином дає змогу відмовитися від складних і громіздких упорних підшипників.

У цьому ж пристрої з метою підвищення ремонтпридатності подрібнювача, а також розширення його технологічних можливостей (перероблення відходів широкої номенклатури як за видом матеріалу, так і за розмірами й формою вихідних кусків сировини) робочі поверхні корпусу й ротора виконують на знімних елементах – гільзах, виконаних із зносостійкого матеріалу, втулках або «шкаралупах» (секторах циліндричних гільз).

Значна довжина шнека з ротором внаслідок їх консольного закріплення у хвостовій опорі підвищує ймовірність інтенсивного зношування робочих органів машини, тому вал подрібнювача іноді оснащують не тільки хвостовою, а й додатковою передньою опорою, що забезпечує гарантований кільцевий зазор між шнеком і ротором з одного боку й корпусом з іншого (№ RU2134639C1, RU2057013C1, RU2167056C1, RU2145282C1).

Для підвищення ефективності руйнування відходів з композитного матеріалу, наприклад автомобільних шин з металокордом, на роторі або відповідній ділянці корпусу встановлюють запірну шайбу, яка утворює зменшуваний у напрямку руху матеріалу робочий зазор. Таке конструктивне рішення збільшує внутрішні напруження в подрібнюваних фрагментах і сприяє відокремленню різнорідних компонентів композитного матеріалу один від одного (пат. № RU2167056C1). У подрібнювачі (пат. № RU2145282C1) використовують дві подібних послідовно розташовані ділянки, одну з яких виконано такою, що розширюється, а другу – такою, що звужується за рухом перероблюваного матеріалу.

Технологічні можливості роторних подрібнювачів значно розширюються за наявності в шнеку й роторі незалежних приводів (пат.

№ RU2057013C1, UA71618U). Однак при цьому суттєво ускладнюється конструкція обладнання.

Як було показано на рис. 5.10, на циліндричних роторах часто виконують один або кілька елементів у вигляді зворотних конусів (у вигляді втулок в середній частині ротора або у вигляді наконечника на кінці ротора). Кожен із зазначених елементів забезпечує збільшення зсувних деформацій, що підвищує ефективність процесу подрібнення. При цьому конічну поверхню зазвичай виконують гладкою й рідше – рифленою (пат. № UA70729U, UA71617U, UA72446U). Рідше аналогічний конічний елемент виконують на внутрішній поверхні корпусу (пат. № RU2167056C1). Також іноді конічний зазор між ротором і корпусом виконують таким, що не розширюється, а сходить (звужується), проте такий зазор схильний до забивання подрібнюваним матеріалом (пат. № RU2145282C1).

Зазначені конічні елементи виконують за одне ціле з ротором або у вигляді знімних деталей чи складальних одиниць (пат. № UA2585U), при цьому в останньому випадку заміною конічного елемента можна змінювати режим подрібнення. Також розроблено конструкцію, що дає змогу змінювати величину робочого зазору на ділянці розташування конічного елемента (пат. № UA26990U), що розширює технологічні можливості подрібнювача.

Менш поширені конічні ротори (пат. № UA70728U, CN1548232A), що не мають встановленого перед ними транспортувально-ущільнювальних шнеків та передбачають надходження на перероблення сировини у вигляді фрагментів попередньо подрібнених відходів.

У пат. № UA764U вихід роторного подрібнювача запропоновано з'єднувати зі входом черв'ячного екструдера для перероблення композиції з використанням одержаного в подрібнювачі наповнювача. При цьому до екструдера подрібнений наповнювач надходить за підвищено температури, що знижує енергоємність перероблення наповненого композиту в екструдері.

Рідше використовуються двошнекові (і набагато рідше багатошнекові) роторні подрібнювачі, в яких руйнування матеріалу здійснюється переважно безпосередньо між роторами, а не між роторами і корпусом. При цьому ротори можуть бути виконано у вигляді шестерень (пат. № UA3278U) або кулачків різноманітної форми (пат. № UA15853U). В останньому випадку під час проходження подрібнюваним матеріалом ділянки зачеплення пари кулачків безперервно змінюється не тільки величина, а й знак градієнта швидкості в зазорі між кулачками, що інтенсифікує процес подрібнення. У разі обертання шнеків у різних напрямках, на відміну від шнеків односпрямованого обертання (пат. № RU2059435C1), між кулачками реалізується менш ефективний метод руйнування відходів стисненням.

Більшість установок для подрібнення гумовмісних відходів є стаціонарними, проте пропонуються конструкції й пересувного обладнання,

змонтованого зазвичай на автомобільному шасі (самохідному або несамохідному, тобто причіпному; пат. № RU2030999C1, RU105222U1, RU142778U1, пат. № UA1205U).

Для подрібнення відходів, що містять гуму, пропонується досить широка номенклатура роторних подрібнювачів, у тому числі й таких, що виготовляються в промислових масштабах. Принцип дії роторних подрібнювачів передбачає їх експлуатацію за температури навколишнього середовища, що робить цей вид обладнання не тільки енергетично вигідним, але й доцільним для перероблення відходів гумовмісних на місці їх утворення або збирання [75].

Тим не менш, основна проблема широкого використання зазначеного обладнання полягає не в тому, що для значного розмаїття типорозмірів відходів гумовмісних потрібні якщо не певний подрібнювач, то певний режим його експлуатації, а неготовність промисловості переробляти значні обсяги подрібненого продукту – гумових порошку і крихти.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Багаторічний досвід промислової експлуатації традиційного змішувального, перероблювального та оброблювального обладнання для виготовлення найрізноманітнішої продукції з полімерних матеріалів довів його високу ефективність.

Проте поява на ринку принципово полімерних матеріалів, насамперед полімерних і гумових композицій з прогнозованими властивостями, а також технологічних процесів їх оброблення, спричинює потребу в розробленні й нових типів відповідного устаткування для одержання зазначених матеріалів та їх подальшого перероблення на різноманітну продукцію.

Для підвищення ефективності змішувального, перероблювального та оброблювального обладнання можна рекомендувати такі заходи:

- розробляти (насамперед із застосуванням широких можливостей математичного моделювання та комп'ютерної техніки) ефективні змішувальні та змішувально-диспергувальні елементи робочих органів змішувального обладнання: універсальних черв'ячних екструдерів та високопродуктивних роторних змішувачів закритого типу;

- удосконалювати конструкції традиційних черв'яків черв'ячних екструдерів, у тому числі й системи їх охолодження;

- вдосконалювати конструкції найбільш простих у виготовленні та експлуатації фільтрів екструдерів шибєрного, касетного та пробкового типів;

- вдосконалювати конструкції добре апробованих на практиці традиційних валків з периферійними каналами, а також порожнистих валків з точки зору зниження їх гідравлічного опору та термічної інерційності;

- ширше застосовувати комбіноване (водно-повітряне) охолодження екструдованих полімерних труб і профілів, яке дає змогу як зменшити витрати холодоагентів, так і технологічні напруження в одержуваній продукції, що підвищить її якість;

- підвищувати ефективність щоківих і роликівих пристроїв для складання рукавних полімерних плівок, які зарекомендували себе як універсальні, надійні та прості у виготовленні та експлуатації конструкції;

- вдосконалювати пристрої для намотування полімерних плівок центрального та периферійного типів, насамперед з точки зору їх механізації та автоматизації, для чого можна скористатися відповідними напрацюваннями в конструкціях для намотування інших гнучких рулонних матеріалів – металевої фольги та жерсті, а також паперового полотна;

- розробляти універсальні різальні подрібнювачі полімерних відходів, здатні переробляти відходи з різних полімерів та еластомерів і різного типорозміру, а також максимально позбутися недоліків найбільш поширених традиційних роторних різальних подрібнювачів, передусім високого рівня шуму та відносно низької стійкості різальних елементів;

– розробляти й впроваджувати високоефективні пружно-деформаційні подрібнювачі полімерних і гумових відходів. а також шляхи застосування значних обсягів одержуваних на них гумових порошку і крихти.

Наведені в монографії численні інноваційні конструкції обладнання для змішування, перероблення та оброблення полімерних матеріалів і виробів, здебільшого запатентовані в провідних країнах світу, а також їхня ґрунтовна класифікація може стати у пригоді конструкторам і винахідникам технологічного обладнання хімічних, харчових, мікробіологічних і переробних виробництв.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Калинин Э. Л., Саковцева М. Б. Свойства и переработка термопластов : справ. пособие . Ленинград : Химия, 1983. 288 с.
2. Фридман М. Л. Развитие оборудования для смешения расплавов термопластов: [обзор. информ.]. Москва : ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. 51 с. (Серия ХМ-2 «Оборудование для переработки пластмасс и резины»).
3. Калинин Э. Л., Саковцева М. Б. Научно-технические основы и опыт создания технологических линий стадии конфекционирования конструкционных полимеров. Ч. 1 // Пластические массы. 2003. № 11. С. 27–33.
4. Технические свойства полимерных материалов : учеб.-справ. пособ. / В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко, Ю. В. Крыжановский. [изд. 2-е, испр. и доп.]. Санкт-Петербург : Профессия, 2005. 248 с.
5. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини. Київ : НТУУ «КПІ», 2009. 264 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28259>
6. Фізико-хімічні властивості пакувальних матеріалів / В. С. Костюк, А. І. Соколенко, К. В. Васильківський та ін. ; за ред. А. І Соколенка. Київ : Кондор-Видавництво, 2013. 402 с.
7. Наполнители для полимерных композиционных материалов : справ. пособие / под ред. Г. С. Каца, Д. В. Милевски. Москва : Химия, 1981. 736 с.
8. Мікульонок І. О. Термопластичні композитні матеріали та їх наповнювачі. Класифікація та загальні відомості // Хімічна промисловість України. 2005. № 5. С. 30–39.
9. Chung D. D. L. Composite Materials: Science and Applications. London : Springer Verlag London Limited, 2010. 349 p. URL: https://www.academia.edu/36174278/Composite_Materials_Science_and_Applications
10. Микулёнок И. О. Классификация термопластических композиционных материалов и их наполнителей // Пластические массы, 2012. № 9. С. 29–38.
11. Ким В. С., Скачков В. В. Диспергирование и смешение в процессах производства и переработки полимеров. Москва : Химия, 1988. 240 с.
12. Mikulyonok I. O. Equipment for preparing and continuous molding of thermoplastic composites // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 48, N 11–12. P. 658–661. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9676-x>

13. Mikulionok I. O. Screw extruder mixing and dispersing units // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 49, N 1–2. P. 103–109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9711-y>.
14. Мікульонок І. О., Радченко Л. Б. Переробка вторинної сировини екструзією : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 184 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38062>
15. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of polymer processing. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 961 p. URL: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/procesamiento1/material/Tadmor-Gogos.pdf>
16. Rauwendaal C. Understanding extrusion. Munich : Hanser Publishers, 2010. 231 p.
17. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров. Москва : Химия, КолосС. 2005. 568 с.
18. Mikulionok I. O. Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51, N 1–2. P. 14–19. doi: 10.1007/s10556-015-9990-6
19. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 5th ed. Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 p. – URL: <https://doi.org/10.3139/9781569905395>
20. Vlachopoulos J., Pochan P. D. Understanding Rheology and Technology of Polymer Extrusion. Dundas (ON, Canada) : Polydynamics Inc, 2019. 337 p. URL: http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Rheo_Tech_Book_Part_A.pdf
21. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с.
22. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>
23. Schenkel G. Plastics Extrusion Technology and Theory. The design and operation of screw extruders for plastics. London : Liffé Books Ltd., 1966. 477 p.
24. Todd D. B. Improving incorporation of fillers in plastics. A special report // Advances in Polymer Technology. 2000. Vol. 19, N 1. P. 54–64. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2329\(20000117\)19:1<54::AID-ADV6>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2329(20000117)19:1<54::AID-ADV6>3.0.CO;2-%23)
25. Mikulionok I. O. Intensification of Fabrication of Extruded Polymeric Shapes // Chemical and Petroleum Engineering. 2014. Vol. 50, No. 7–8. P. 483–488. DOI: 10.1007/s10556-014-9927-5

26. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
27. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 292 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084> (дата звернення: 04.12.2021).
28. Сокольський О.Л., Мікульонок І.О. Моделювання обладнання і процесів перероблення полімерних матеріалів методом екструзії. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 252 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37481>
29. Активирующее смешение в процессах получения и модифицирования полимерных композиционных материалов / В. П. Бритов, В. В. Богданов, О. О. Николаев, А. Е. Туболкин // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77, Вып. 1. С. 122–127.
30. Mikulionok I. O., Radchenko L. B. Screw Extrusion of Thermoplastics: I. General Model of the Screw Extrusion // Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. Vol. 85, N 3, P. 489–509. DOI: 10.1134/S1070427211030305
31. Торнер Р. В., Акутин М. С. Оборудование заводов по переработке пластмасс. Москва : Химия, 1986. 400 с.
32. Микульонок І. О., Петухов А. Д. Производство полимерных сеток. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 72 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38183>
33. Говша А. Г., Бастрыгин В. В., Остроухов А. В. Состояние, перспективы применения и развития одночервячных резиноперерабатывающих машин : обзор. информ. Москва : ЦИНТИхимнефтемаш, 1986. 44 с. (Серия ХМ-2 «Оборудование для переработки пластмасс и резины»).
34. Мікульонок І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061> (дата звернення: 04.12.2021).
35. Mikulionok I. O. Pretreatment of Recycled Polymer Raw Material // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 83, N 6. P. 1105–1113. DOI: 10.1134/S1070427211060371
36. Рябинин Д. Д., Лукач Ю. Е. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. Москва : Машиностроение, 1972. 272 с.
37. Смешение полимеров / В. В. Богданов, Р. В. Торнер, В. Н. Красовский, Э. О. Регер. Ленинград : Химия, 1979. 192 с.

38. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы, технология, оборудование) / Е. Г. Вострокнутов, М. И. Новиков, В. И. Новиков, Н. В. Прозоровская. Москва : Максипресс, 2005. 369 с.

39. Mikulionok I. O. Simulation of Processing the «Power» Composition in a Mixer with Oval Rotors // Russian Journal of Applied Chemistry. 2010. Vol. 83, N 12, P. 2229–2239. DOI: 10.1134/S107042721012030X

40. Mikulionok I. O. Classification of the Structures of Closed-Type Rotary Mixers for Plastics and Rubber Mixtures (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, N 5–6. P. 437–444. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00956-3>

41. Mikulionok I., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Modeling the process of polymer processing in twin-screw extruders // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 4/5 (94). P. 35–44. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.139886

42. Микулёнок И. О. Уплотнительные устройства шеек роторов смесителей для резины и пластмасс // Химическая промышленность. 2013. Т. 90, № 1. С. 21–27.

43. Mikulionok I. O. Classification of the Rotor Seals of Internal Mixers for Plastics and Rubber Compounds (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 58, N 1–2. P. 165–172. DOI: 10.1007/s10556-022-01070-8

44. Mikulionok I. O., Radchenko L. B. Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder // Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. Vol. 85, N 3. P. 505–514. DOI: 10.1134/S1070427211030317

45. Mikulionok I. O. Classification of Screw Cooling Devices of Single-Screw Extruders for Polymer Materials Processing (Survey of Designs) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 58, N 1–2. P. 68–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01057-5>

46. Mikulionok I. O. Use of Polymer Materials in Heat Exchangers (Review of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Vol. 55, N 7–8. P. 687–695. DOI: 10.1007/s10556-019-00680-z

47. Мікульонок І.О. Використання полімерів та пластмас у теплообмінному обладнанні (Огляд) // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2020. № 1. С. 59–71. DOI: 10.33070/etars.1.2020.08

48. Mikulionok I. O. Determining the thermophysical properties of thermoplastic composite materials // International Polymer Science and

Technology. 2013. Vol. 40, N 9. P. 23–28. doi: <https://doi.org/10.1177/0307174X1304000905>

49. Лукач Ю. Е., Петухов А. Д., Сенатос В. А. Оборудование для производства полимерных пленок. Москва : Машиностроение, 1981. 224 с.

50. Микулёнок И. О. Классификация фильтров экструдеров для переработки полимерных материалов и резиновых смесей (обзор конструкций) // Химическое машиностроение. 2022. № 3. С. 44–48.

51. Классификация конструкций насадок колонных аппаратов и методов интенсификации в них процессов тепломассообмена / А. С. Пушнов, И. О. Микулёнок, А. С. Севрюков, М. Г. Беренгартен // Химическая технология. 2014. № 4. С. 244–250.

52. Mikulionok I. O. Classification of Nozzles of Mass Transfer Apparatuses // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 83, N 9. P. 1631–1637. DOI: 10.1134/S107042721109031X

53. Mikulionok I. O. Ring packing contact elements of mass transfer devices (review of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Vol. 54, N 1–2. P. 125–129. DOI: 10.1007/s10556-018-0450-y

54. Mikulionok I. O. Stabilization of the temperature of the working medium in the equipment of chemical plants (a survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51, N 5–6. P. 324–327. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-015-0046-8>

55. Мікульонок І. О. Застосування феромагнітних матеріалів для забезпечення потрібного теплового режиму технологічного обладнання (Огляд) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2019. № 1. С. 60–72. DOI: 10.33070/etars.1.2019.06

56. Лукач Ю. Е., Рябинин Д. Д., Метлов Б. Н. Валковые машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. Москва : Машиностроение, 1967. 298 с.

57. Мікульонок І. О. Моделювання обладнання технологічних ліній для перероблення пластмас і гумових сумішей на базі валкових машин. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 244 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37520>

58. Mikulionok I. O. Determination of the Camber in a Calender Roll for Polymer Reworking // Chemical and Petroleum Engineering. 2011. Vol. 47, N 5–6. P. 315–318. DOI: 10.1007/s10556-011-9466-2

59. Попов Ю. В., Панферов П. Я., Клочков В. И. Современное состояние валков с жидкостным нагревом в оборудовании для производства полимерных

плёнок и листов // Химическое и нефтяное машиностроение. 1985. № 10. С. 36–38.

60. Мікульонюк І. О., Кулініч С. І., Кудренко О. О. Валки валкових машин для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей. Огляд конструкцій // Хімічна промисловість України. 2009. № 3. С. 25–29.

61. Валок верхний. Сборочный чертёж. 504016-02.00.000СБ. Завод «Большевик», СКБ, г. Киев.

62. Mikulionok I. O. Rollers with Peripheral Heat-Supply Channels for Treatment of Plastics and Rubber Mixtures (a Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 49, N 5–6. P. 382–387. DOI: 10.1007/s10556-013-9760-2

63. Mikulionok I. O. Technique of Parametric and Heat Computations of Rollers for Processing of Plastics and Rubber Compounds // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 83, N 9. P. 1642–1654. DOI: 10.1134/S1070427211090333

64. Володин В. П. Экструзия профильных изделий из термопластов. Санкт-Петербург : Профессия, 2005. 480 с.

65. Вознюк В. Т., Мікульонюк І. О. Інтенсифікація процесу виготовлення екструдованих полімерних труб. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 144 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37521>

66. Mikulionok I. O. Classification of Cooling Devices for Extruded Polymer Pipes and Profiles (Review of Designs) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 57, N 9–10. P. 797–804. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01009-z>

67. Voznyuk V. T., Mikulyonok I. O., Petukhov A. D. Study of two-sided cooling of extruded smooth polymer pipes. Part 1. Small diameter pipe cooling // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 48, N 11–12. P. 699–704. DOI: 10.1007/s10556-013-9683-y

68. Voznyuk V.T., Mikulyonok I.O., Petukhov A.D. Study of two-sided cooling of extruded smooth polymer pipes. Part 2. Large Diameter Pipe Cooling // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 48, N 11–12. P. 765–768. DOI: 10.1007/s10556-013-9693-9

69. Voznyuk V. T., Karvatskii A. Ya., Mikulionok I. O. Investigation of the Cooling of Two-Layer Corrugated Polymeric Pipes // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2013. Vol. 86, N. P. 505–510. DOI: 10.1007/s10891-013-0861-8

70. Лебедева Т. М. Экструзия полимерных плёнок и листов. Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2009. 216 с.

71. Mikulionok I. O. Classification of Structures for Folding Tubular Plastic Sheets (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, N 7–8. P. 704–710. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00995-w>

72. Полимерные пленки. Технологии производства, деструкция и стабилизация, применение, рециклинг / ред. Е.М. Абдель-Бари; пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. Санкт-Петербург : Профессия, 2006. 352 с.

73. Мікульонок І. О. Стан та перспективи поводження з твердими полімерними відходами // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2021. № 2. С. 52–73. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.2.2021.05>

74. Мікульонок І.О. Стан та перспективи поводження з використаними ПЕТ-пляшками // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2021. № 4. С. 52–73. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.4.2021.05>

75. Мікульонок І. О. Стан та перспективи поводження з пневматичними шинами, що втратили свої споживчі властивості // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2021. № 3. С. 63–83. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.3.2021.06>

76. Recycling of plastic materials / La Mantia F. P. (ed). Toronto–Scarborough: ChemTec Publishing, 1993. 189 p.

77. Handbook of plastics recycling / La Mantia F. P. (ed). Shrewsbury UK: Rapra Technology, 2002. 441 p.

78. Shredder machine for plastic recycling: A review paper / J. H. Wong, M. J. H. Gan, B. L. Chua et al. // Material and Energy Engineering for Sustainable Advancement (MEESA 2021): IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2022. Article 012007. 10 p. doi: 10.1088/1757-899X/1217/1/012007

79. Pranoto H., Arifin Z., Carles H. Innovation Design and Development of PET Plastic Waste Processing Machines by Extruder Method // International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials (IJATEC). 2020. Vol. 1, № 3. P. 90–99. doi: 10.37869/ijatec.v1i3.32

80. Микулёнок И. О., Лукач Ю. Е. Особенности конструктивного исполнения роторных измельчителей для резино- и полимерсодержащих отходов (Обзор) // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2007. № 3. С. 69–72.

81. Mikulionok I.O. Structural Implementation of the Process of Elasto-Deformation Shredding of Rubber-Containing Wastes (Survey of Patents) //

Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Vol. 51, № 9–10. P. 604–608. doi: 10.1007/s10556-016-0093-9

82. Упругодеформационное измельчение термопластов / Е. Л. Акопян, А. Ю. Кармилов, В. Г. Никольский и др. // Доклады АН СССР. 1986. Т. 291, № 1. С. 133–136.

83. Влияние метода измельчения на структуру резиновой крошки / Г. М. Трофимова, Д. Д. Новиков, Л. В. Компаниец и др. // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2000. Т. 42, № 7. С. 1238–1245. – URL:

http://polymsci.ru/static/Archive/2000/VMS_2000_T42_7/VMS_2000_T42_7_1238-1245.pdf.

84. Ахметханов Р. М., Кадыров Р. Г., Минскер К. С. Вторичная переработка отходов поливинилхлорида с использованием метода упругодеформационного диспергирования // Пластические массы. 2002. № 4. С. 45–46.

85. Васильцов Э. А. Ушаков В. Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. Ленинград : Машиностроение, 1979. 271 с.

86. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности. Ленинград : Госхимиздат, 1963. 416 с.

87. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности. Москва : Химия, 1977. 368 с.

88. Manufacturing of Shredder for used Plastic Bottle / M. A. Shaikh, V. D. Kadam, D. S. Jagtap et al. // International Journal for Scientific Research & Development (IJSR). 2018. Vol. 6, № 3. P. 212–214. – URL: https://www.researchgate.net/publication/335378000_Manufacturing_of_Shredder_for_used_Plastic_Bottle

89. Лукашова В. В., Мікульонок І. О., Радченко Л. Б. Екструзія пінополімерів. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 176 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37522>

90. Vatskicheva M., Grigorova I. Chassis loading investigation of two-shaft shredder for construction waste management // Recycling and Sustainable Development. 2017. Vol. 10. P. 15–21. doi: 10.5937/ror1701015V

91. Development of Solar Powered Shredder Machine for Waste Management / D. N. Dubey, N. A. Dable, S. S. Kumare et al. // International Journal for Innovative Research in Science and Technology (IJIRST). 2020. Vol. 6, № 12. P. 874–879. – URL:

https://www.academia.edu/43433104/Waste_Management_by_Solar_Powered_Mechanical_Shredder_Machine

92. Development of Solar Powered Shredder Machine for Waste Management / M. Waghmare, D. Nasane, J. Charpe et al. // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). 2022. Vol. 10, № 2. P. 305–310. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40248>

93. Мікульонок І. О., Рябцев Г. Л. Основні методи і шляхи використання полімервмісних відходів // Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2001. № 2. С. 135–147.

94. Микулёнок И. О. Определение реологических свойств термопластичных композиционных материалов // Пластические массы. 2011. № 7. С. 26–30.

95. Мікульонок І. О., Сокольський О. Л. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості) : термінологічний словник. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 208 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37632>

96. Мікульонок І. О. Основні методи використання гумовмісних відходів // Хімічна промисловість України. 2001. № 5. С. 53–58.

97. Микулёнок И. О. Основные методы использования вышедших из употребления автомобильных шин // Химическая промышленность. 2013. Т. 90, № 4. С. 202–212.

98. Мікульонок І. О. Обладнання для механічного руйнування полімерта еластомервмісних відходів // Вісник КНУТД : Напрямок «Хімія та хімічні технології». 2003. № 1. С. 131–134.

99. Переработка покрышек: достоинства и недостатки // Ресурсосберегающие технологии : экспресс-информ. Москва : ВИНТИ, 2007. Вып. 19. С. 6–16.

100. Переработка покрышек: достоинства и недостатки // Ресурсосберегающие технологии: экспресс-информ. Москва : ВИНТИ, 2007. Вып. 19. С. 6–16.

101. Гавва О.М. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 2 кн. Обладнання для групового пакування / Гавва О.М., Безпалько А.П., Волчко А.І. [За ред. А.І.Волчка]. – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2007. – 136с.

102. Гавва О.М. Обґрунтування конструктивної схеми приводу вібраційно-інерційного лотка для транспортування штучних продуктів / О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, Т.Т. Гнатів, О.І. Савченко // «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції - основні засади її конкурентоздатності»: VI Міжнародна спеціалізована

науково-практична конференція, 2017 р. - К.: НУХТ, 2017. – с. 100-102.

103. Кривопляс-Володіна, Л.О. Аналіз динамічних процесів в системі активних лотків- живильників блістерних машин// Кривопляс-Володіна, Л.О., Гавва О.М., Кохан О.О. Науковий журнал «Харчова промисловість». – 2014 р. – № 15. – с. 136- 140

104. Кривопляс-Володіна Л.О., Багатокритеріальний структурно-параметричний синтез функціональних модулів потоково-технологічних пакувальних систем// Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В. - Scientific Works of NUFT 2017. Volume 23, Issue 5, Part 1 p. 98 - 109

105. Кривопляс-Володіна, Л.О. Вплив точності виготовлення поршневого дозатора на точність дозування в'язких продуктів// Кривопляс-Володіна, Л.О., Г.Р. Валиулін, А.В. Легун - Упаковка, 2009, №3.-с. 46-50.

106. Кривопляс-Володіна, Л.О., Двигатель в упаковочной технике// Лук'яненко М.С., Гавва О.М. - ж-л «Упаковка», №1, 2016 – с.31 – 34.

107. Кривопляс-Володіна, Л.О., Забезпечення заданої інтенсивності переміщення сипкої продукції із бункера в лінійних вагових дозаторах// Кривопляс-Володіна, Л.О., Гавва О.М. - Вібрації в техніці та технологіях. – 2012 р. – № 4. – С. 103-109.

108. Кривопляс-Володіна, Л.О., Дослідження електропривода з лінійним двигуном для пакетоформувальних машин// Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Токарчук С.В. - Харчова наука і технології - Volume 11 - Issue 2 / 2017 – с. 111 – 118.

109. Кривопляс-Володіна, Л.О. Інтегровані рішення функціональних мехатронних модулів в задачах синтезу пакувальних машин / Кривопляс-Володіна Л.О. та ін. Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції 19-22.06.2018, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». С.39-41.

110. Кривопляс-Володіна, Л.О., Синтез мехатронної системи функціонального модуля пакувальної машини з пропорційним регулятором тиску // Кривопляс-Володіна, Л.О., Володін О.С., Гнатів Т.Т. - Матеріали XXII міжнародної науково-технічної конференції "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці" 23-26 травня 2017р. - с. 111-114.

111. Кривопляс-Володіна, Л.О., Методологія синтезу компоновочних рішень// Кривопляс-Володіна, Л.О., Гавва О.М., Волчко А.І. - Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – Київ, 2013. – № 3. – с. 178-182.

112. Кривопляс-Володіна, Л.О., Обґрунтування режимів вібро-транспортування сипкої продукції у системах із пневмоприводом// Кривопляс-Володіна, Л.О., О.М. Гавва, - Новітні технології пакування: XI Науково-практична конференція молодих вчених. Додаток до журналу «Упаковка», 2015 р. – Київ, 2015. - с.37-38.

113. Gavva, O.M. Methodological aspects of the mathematical theory of friction it is applicable to bearing surfaces of overload devices// Gavva O.M , Kryvoplias-Volodina, L. , Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. – Пловдив, 2013. – с. 189-193.

114. Gavva, O.M. Intensification of orientation for packing-case loads in machines that form packages // Gavva O., Kryvoplias-Volodina, L. Journal of Food and Packaging Science Technique and Technologies. - 2014. - № 3. - p. 111-116.

115. Gavva, O.M. Reasons for the main directions of enhancement of mechanisms of orientation of tare loads in a packet creating machines// Gavva O., Kryvoplias-Volodina, L., Kohan E. - Technological complexes (scientific journal) - 2014. - №2(10). – p. 74-79.

116. Gavva, O. The research mechanical dynamic of model of the asynchronous engine in systems of continuous transport// Gavva O., Yakymchuk M., Kryvoplias-Volodina, L., - Праці інституту електродинаміки НАН України, випуск 44, 2016. - 94-99 p.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Перелік умовних позначень і скорочень.....	4
1. Змішувальне обладнання для приготування полімерних матеріалів і гумових сумішей	
1.1. Класифікація змішувального обладнання	5
1.2. Змішувальні елементи черв'ячних екструдерів	10
1.3. Роторні змішувачі закритого типу для пластичних мас і гумових сумішей	21
1.4. Ущільнення роторів змішувачів закритого типу для пластичних мас і гумових сумішей	32
2. Екструзійне обладнання для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей	
2.1. Пристрої для охолодження черв'яків екструдерів	41
2.2. Фільтри екструдерів.....	48
3. Валкове обладнання для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей	
3.1. Валки з периферійними каналами.....	62
3.2. Порожнисті валки	70
4. Оброблювальне обладнання відформованих матеріалів і виробів	
4.1. Охолоджувальне обладнання екструдованих матеріалів і виробів	77
4.2. Пристрої для складання рукавних полімерних плівок.....	88
4.3. Пристрої для намотування полімерних плівок	96
5. Подрібнювальне обладнання для руйнування полімерних і гумових відходів	
5.1. Різальні подрібнювачі.....	103
5.2. Пружно-деформаційні подрібнювачі.....	116
Висновки та рекомендації	124
Перелік посилань.....	126

ДЛЯ НОТАТОК

[illegible]

Наукове видання

Мікульонок Ігор Олегович
Гавва Олександр Миколайович
Кривопляс-Володіна Людмила Олександрівна

***ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ТА ПЕРЕРОБЛЕННЯ
ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ
І ГУМОВИХ СУМІШЕЙ***

Монографія

В авторській редакції

Підп. до друку 01.11.2022р. Формат 60х84/16
Папір офс. Гарнітура Times. Ум. друк. арк.8,05
Наклад 500 пр. Зам.№088

ТОВ «Видавництво Сталь»
Свідоцтво ДК№4947 від 30.07.2015р. м. Київ,
вул. Віталія Шимановського, 2/1 тел./факс.
229-83-51, 516-45-02, 516-55-92
E-mail: tov_steel@ukr.net
www.steel-izdat.com.ua