

УДК 621.82

© О.Л. Ляшук, д.т.н., О.Л. Третьяков, В.П. Дмитренко,
О.А. Колесник, к.т.н.

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ МЕХАНІЗМІВ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕКСТРУДЕРІВ

Визначено основні показники технологічності та конструктивної складності виконання гвинтових робочих органів для екструдерів. Приведена технологічна характеристика конструктивних параметрів гвинтових деталей машин виготовлених різними способами.

ЕКСТРУДУВАННЯ, ЕКСТРУДЕРИ, ПЕРЕРОБКА ФУРАЖНОГО ЗЕРНА.

Постановка проблеми. Створення нового конкурентоспроможного обладнання для виготовлення вискоефективних комбікормів для тваринництва є одним з важливих завдань народного господарства України. Прогресивним напрямком у виготовленні вискоефективних кормів для тваринництва є переробка фуражного зерна екструдуюванням. Цей метод полягає в барометричній переробці зерна методом додаванням мінералів при підвищеній температурі до 160°C і тиску до 10МПа. Такий режим перетворення в процесі екструдювання виникає руйнування високомолекулярних органічних з'єднань і перетворення їх в більш прості, які добре засвоюються тваринами. Тому дослідження конструкції екструдерів при переробленні фуражного зерна з домішками відходів зернового виробництва і мінералів є актуальним.

Поряд з позитивними моментами характеристики екструдерів мають ряд недоліків, до яких відносяться наступні: висока собівартість виготовлення і металоємкість, недостатня експлуатаційна надійність і довговічність, обмежені технологічні можливості. Відтак їх конструкції потребують подальшого відпрацювання на технологічність, тому на даний час основним завданням при їх створенні є розроблення таких конструкцій, які забезпечили б покращення умов і безпеки праці виробничого персоналу, широку багатofункціональність, механізацію і автоматизацію виробничих процесів, високу продуктивність, безвідмовність, ремонтпридатність, можливість їх комплектування на базі модульного принципу. Для реалізації процесу екструзії застосовують шнековий екструдер,

основним робочим органом якого є шнек спеціальної конструкції, що обертається в циліндричному корпусі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основи конструювання, проектування та дослідження гвинтових робочих органів заклали такі вчені: Амірова Ю.Д. [1], Григорьєва [2], Герман Х. [3], А. Віденбаум, Р. Мор, М. Данквертс, Д. Лейсі, Ю.І. Марков, А.М. Ластовцев, Г. Шенкель, В. Штербачек, Г.Г. Кошелєв, Р.В. Торнер, М.В. Тебін, Д. Мак-Кельві, Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко [4,5] та інші. Не зважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені розробленню і дослідженню та рівень технологічного забезпечення залишається недостатнім, а наукова база для їх створення і дослідження не завжди відповідає сучасним вимогам.

Метою даної роботи є відпрацювання технологічності конструкцій екструдерів з гвинтовими робочими органами і підвищення ефективності їх роботи.

Результати дослідження. Технологічність конструкції виробу (ТКВ) – це сукупність властивостей, які визначають його пристосованість до досягнення оптимальних витрат у процесі виробництва, експлуатації та ремонту для заданих показників якості й умов виконання своїх функцій. Загалом система показників ТКВ охоплюється 9 групами факторів і описується 51 загальним і понад 100 частковими коефіцієнтами. У цілому система оцінок являє собою граф-дерево показників і коефіцієнтів, яке постійно збільшується і доповнюється, бо кількість ознак предмета й умов користування ним є нескінченним.

ГОСТ 14201-83 встановлює показники, відповідно до яких здійснюється комплекс заходів із забезпечення необхідного рівня технологічності конструкції ГМ (гвинтових механізмів). Найважливіші з цих показників є трудомісткість і собівартість виготовлення, коефіцієнт використання матеріалу та матеріаломісткість.

Згідно ГОСТ 14202-73 розрізняють виробничу та експлуатаційну технологічність ГМ. Виробнича технологічність проявляється у скороченні різних видів витрат на конструкторську і технологічну підготовку виробництва, процеси виготовлення, контроль і випробування.

Здійснювати відпрацювання конструкції ГМ на технологічність рекомендують у наступному порядку. Спочатку потрібно підібрати і проаналізувати вихідні матеріали, необхідні для аналізу технологічності конструкції. Далі слід уточнити об'єм випуску, тип і характер виробництва, проаналізувати показники технологічності

проектованої деталі, вузла або машини, а потім розробити заходи з їх покращення.

На стадії відпрацювання конструкції екструдерів на виробничу технологічність проводиться відпрацювання на технологічність робочого органа, а саме – гвинтової стрічки, яка відноситься до оригінальних деталей з підвищеною технологічною складністю і трудомісткістю виготовлення.

Конструкції екструдерів можна класифікувати також за геометричною формою, механічними, функціональними або термодинамічними характеристиками. Крім того, екструдери рекомендується класифікувати за їх фізичними ознаками, так як вони впливають на хімічні структурні характеристики екструдованих продуктів. Особливе значення мають такі параметри, як нахил ріжучого краю кромки матриці та кількість теплової енергії, що утворюється в процесі екструдювання за рахунок механічного перетворення енергії; температура під час процесу у вологість маси, що екструдюється. З врахуванням цих характеристик екструдери можна розділили на такі групи:

- з коротким шнеком (автогенні);
- з великим нахилом ріжучого краю матриці;
- двошнекові з незначним нахилом ріжучого краю матриці;
- формуючі, з великим нахилом ріжучого краю матриці.

Екструдери з коротким шнеком характеризуються високою швидкістю обертання шнека і коротким циліндром. При цьому температуру важко регулювати через малий термін знаходження маси в екструдері

За типом основного робочого органу екструдери підрозділяють на одношнекові, багатощнекові, дискові, поршневі та інші.

Найбільше розповсюдження в промисловості отримали шнекові екструдери. Захоплюючи вихідний продукт, шнек переміщує його від завантажувального пристрою уздовж корпусу екструдера. При цьому продукт стискається, розігрівається, пластифікується і гомогенізується. Максимальний тиск в екструдері досягає величини від 5 до 50МПа.

За частотою обертання шнека екструдери підрозділяються на нормальні і швидкохідні з коловою швидкістю відповідно 0,5 і 7 м/хв., а за конструктивним виконанням - на стаціонарні та з корпусом, що обертається, з горизонтальним або вертикальним розташуванням шнека.

Домінуючими факторами, що впливають на проектування робочих органів екструдера, є:

- специфіка функціонального призначення і універсальність використання;
- вимоги до операцій з перетворення і транспортування продуктів;
- властивості перетворюваних продуктів;
- технологічні особливості процесів і матеріалів, які використовуються для виготовлення гвинтових механізмів;
- забезпечення простоти при збільшенні частки уніфікованих елементів та мінімізації їх загальної кількості в конструкції;
- вимоги до експлуатаційної готовності, габаритів і ваги;
- вимоги до обслуговування, його простоти;
- забезпечення низької собівартості виготовлення та високої економічності експлуатації;
- вимоги до якості, в тому числі терміну служби, надійності в експлуатації;
- вимоги до безпеки експлуатації;
- забезпечення високих ергономічних характеристик, врахування естетичних вимог і конструктивна наслідуваність.

Основні вимоги до гвинтових робочих органів (ГРО) екструдера є наступними:

- відповідність функціональному призначенню;
- пружність і міцність на кручення та згинання;
- довговічність, опір корозії та спрацюванню.

При проектуванні робочих органів керуються ДСТУ 3278-95 [6], ДСТУ 3973-2000 [7], ДСТУ 3974-2000 [8], ДСТУ ГОСТ 2.601:2006 [9], ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 [10], які встановлюють загальні технічні вимоги до гвинтових механізмів, визначають правила виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, систему розроблення та поставлення продукції на виробництво, єдину систему конструкторської документації.

До основних геометричних параметрам шнека екструдера ставляться наступні вимоги:

1. зовнішній діаметр D , крок t і глибина нарізки h , кут нахилу гвинтової нарізки φ , ширина гребеня витка e , величина радіального зазору між гребенем нарізки й корпусом матеріального циліндра δ .

2. якість вихідного параметра для розрахунків задається діаметр шнека D , якщо діаметр шнека не заданий, те його орієнтовно розраховують по співвідношенню:

$$Q = 0,68D^{2,5}.$$

Отримане значення діаметра шнека округляють до найближчого більшого значення зі стандартного ряду діаметрів шнеків для конкретного виду полімерного матеріалу.

Після вибору діаметра шнека й відносини L/D визначають інші параметри шнека, які виражаються через його діаметр. Крок нарізки t і глибина витка шнека впливає на продуктивність шнекової машини. Крок витка в зоні завантаження в основному залежить від коефіцієнта тертя матеріала об шнек і стінки матеріального циліндра, що завантажуються матеріал (гранули, порошок). Для ідеального шнека оптимальним кутом нахилу гвинтової спіралі є 45° , який відповідає кроку $h = \pi D$. У дійсності значення коефіцієнта тертя матеріалу об шнек знаходяться у межах $0,3 \dots 0,6$. Значення коефіцієнта тертя матеріалу $0,5$ відповідає куту нахилу гвинтової спіралі шнека 19° , тобто крок $1,1D$.

У більшості випадків для зони завантаження рекомендується підбирати крок від $0,7D$ до $1,5D$. Для зони дозування, оптимальним є кут нахилу спіралі 30° , що відповідає кроку $1,8 D$, однак це значення є занадто високим, тому шнеки з більшим кроком і великою глибиною дуже чутливі до зміни тиску, температури й в'язкості матеріалу [2].

Звичайно крок вибирають рівним діаметру шнека, тобто $t = D$, що відповідає куту підйому гвинтовий каналу $17^{\circ}42'$. У цьому випадку забезпечується не тільки досить гарне живлення машини матеріалом, але й суттєво спрощується технологія виготовлення шнека. Для забезпечення високих ступенів стиску матеріалу можуть застосовуватися шнеки зі змінним по довжині кроком (рис.1). Рекомендації з вибору глибини гвинтового каналу залежно від властивостей перероблюваного матеріалу зводяться в кожному окремому випадку до чутливості матеріалу до перегріву.



Рис.1 - Варіанти конструкцій гвинтових секцій робочих органів екструдерів

Глибина гвинтового каналу шнеків h для переробки пластичних мас ухвалюється рівної: у зоні завантаження $h = (0,12...0,16) D$, у зоні дозування $h = 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4h}{j}(D-h_1)} \right]$; j - степінь стиснення матеріалу.

Основні конструктивні показники для виготовлення робочих органів [4, 5] представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Основні показники технологічності та конструктивної складності виконання гвинтових деталей

№ п/п	Показники технологічності	Аналітичний зміст показника	Зміст складових параметрів
1.	Коефіцієнт використання матеріалу	$K = \frac{M_d}{M_3}$	M_d – маса деталі; M_3 – маса заготовки
2.	Коефіцієнт нерівномірності витягування стрічки за зовнішнім і внутрішнім краями спіралі	$\psi = \frac{(r_o + B)}{r_o}$	r_o - радіус спіралі за внутрішнім краєм; B – ширина стрічки
3.	Коефіцієнт технологічної складності виготовлення	$K_{mc} = (\psi - 1)^x K_e$	x – показник степеня функції; K_e – коефіцієнт
4.	Коефіцієнт кроку спіралі	$K_T = T / (r_o + B)$	T - крок спіралі
5.	Питома висота витка	$b' = B / H$	H - товщина витка
6.	Відносний радіус згину	$r' = r_o / B$	
7.	Зведена висота	$b_{ze} = (\psi - 1)^x K_e b'$	
8.	Відносна товщина спіралі	$\delta_h = 1 / b'$	
9.	Стійкість смуги у процесі формоутворення гвинтової заготовки: - коефіцієнт стійкості у процесі згину; - коеф. стійкості вальцювання; - коефіцієнт стійкості для операції розгину спіралі на крок	$K_{y.u} = \delta_h^3 (\psi - 1)$ $K_c = \frac{T \delta_h}{D \psi}$ $K_{y.p} = \frac{\delta B^2}{[T^2 (\psi - 1)]}$	D – зовнішній діаметр

Здійснювати відпрацювання конструкції на технологічність рекомендують у наступному порядку. Спочатку потрібно підібрати і проаналізувати вихідні матеріали, необхідні для аналізу технологічності конструкції. Далі слід уточнити обсяг випуску, тип і характер виробництва, проаналізувати показники технологічності проекрованої деталі, вузла або машини, а потім розробити заходи з їх покращення.

Для дослідження технологічності конструкції секцій ГРО необхідно проаналізувати найпрогресивніші технологічні процеси їх виготовлення, зробити порівняння і вибрати найбільш економічний і ефективний. При відпрацьовуванні конструкції гвинтових секцій робочих органів екструдерів на технологічність слід урахувувати три групи вимог:

- до складу складальної одиниці - вона повинна розділятися на раціональне число складових частин з урахуванням принципу агрегування;

- до конструкції з'єднань складових частин - конструкція повинна забезпечувати можливість компонування зі стандартних виробів і уніфікованих частин;

- до точності й методу складання - складання секції не повинно обумовлювати застосування складного технологічного оснащення.

При виготовленні головного елемента секцій ГРО - необхідно розглянути, проаналізувати й вибрати один із основних способів її виготовлення із заданими конструктивними параметрами, які представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Технологічна характеристика конструктивних параметрів гвинтових деталей машин виготовлених різними способами

№ п/п	Спосіб формоутворення	Коефіцієнт використання матеріалу, К	Питома висота витка, b'
1	Прокатування з прямокутних заготовок	0,55 - 0,98	≤ 3
2	Прокатування з трапецієвидних заготовок	0,55 - 0,98	$\leq 3,5$
3	Прокатування з круглого прокату	0,55 - 0,98	$\leq 1,5$

Технологія виготовлення ГРО, суттєво впливає на зміну їх конструктивних параметрів і техніко-економічні показники.

Конструктивні особливості наряду залежать від їх призначення, а враховуючи, що основним їх елементом є ГРО, то

способи отримання і забезпечення необхідних конструктивних параметрів шнеків являються надважливою проблемою при проектуванні.

Висновки. Визначено основні показники технологічності та конструктивної складності виконання гвинтових деталей екструдера. Приведена технологічна характеристика конструктивних параметрів гвинтових деталей машин виготовлених різними способами.

Література

1. Технологичность конструкций изделий: Справочник // [Амиров Ю. Д. и др.]; под. ред. Ю. Д. Амирова. – М. : Машиностроение, 1985. – 217 с.
2. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры/ А.М. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1972. – 184 с.
3. Герман Х. Шнековые механизмы в технологии ФРГ / Х. Герман. – Л. : Машиностроение, 1975. – 230 с.
4. Гевко І.Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання [Текст] / І.Б. Гевко. – Тернопіль: ТДТУ, 2008. – 307 с.
5. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів / Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 278 с.
6. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення : ДСТУ 3278:95. – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1996. – 142 с.
7. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення : ДСТУ 3973:2000. – [Чинний від 2001-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2001. – 46 с.
8. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення : ДСТУ 3974:2000. – [Чинний від 2001-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2001. – 54 с.
9. Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи : ДСТУ ГОСТ 2.601:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 144 с. –
10. ЄСКД. Загальні положення : ДСТУ ГОСТ 2.001:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 144 с.

Рецензент д.т.н., проф. Б.М. Гевко