

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Подимана Григорія Сергійовича
на тему «Теплообмін при калібруванні труб з термопластів»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 «Механічна інженерія»
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Актуальність теми дисертації.

Полімерні труби завдяки своїм фізико-механічним властивостям, високим технічним характеристикам, зручності використання та доступній ціні широко застосовуються в інженерних мережах різного призначення, зокрема для водопостачання, газопостачання, опалення, водовідведення і виготовлення захисних каналів, для прокладання електричних кабелів, оптоволоконного кабелю, тощо. Вони мають вагомі переваги перед сталевими трубами, такі як довговічність, простота монтажу, корозійна стійкість, високі ізоляційні властивості та гігієнічність. Попит на полімерні труби з покращеними характеристиками постійно зростає, що зумовлює необхідність удосконалення технологічних процесів їх виготовлення. Одним із ключових етапів виробництва труб є калібрування, яке забезпечує точність геометричних параметрів та стабільність механічних властивостей виробу.

Однак полімерні труби, зокрема поліетиленові, мають і певні недоліки перед металевими трубами, одним з яких є їх недостатня міцність. На міцність поліетиленових труб впливає стабільність і точність формування товщини стінки труб, які через вплив різних дестабілізуючих факторів на сьогодні ще не досягають потрібного рівня. Одним із таких дестабілізуючих факторів, детально розглянутим в даній роботі, залишається невирішене поки ще питання, пов'язане з процесом нестационарного теплообміну з фазовими переходами, під час якого утворюється твердий шар полімеру, міцність якого має бути достатньою для подолання сил тертя, а розрідження має бути достатнім для утримання термічного контакту між заготовкою та калібрувальною гільзою.

Незважаючи на численні дослідження, механізми теплообміну при фазових переходах у процесі калібрування труб з термопластів залишаються недостатньо вивченими. Існуючі математичні моделі не враховують у повній мірі взаємозв'язок теплофізичних характеристик полімеру з кінетикою кристалізації та релаксації залишкових напружень, що є критично важливим для забезпечення необхідних механічних властивостей готового виробу.

Отже, розробка фізико-математичних моделей, що описують теплообмін при охолодженні трубної заготовки в калібраторі з урахуванням фазового переходу полімеру, є важливою науково-практичною задачею. Її вирішення сприятиме

вдосконаленню технологічних процесів переробки термопластів, підвищенню якості продукції та оптимізації енергетичних витрат у виробництві.

Дисертаційна робота Подимана Г.С. націлена на підвищення ефективності процесу теплообміну при калібруванні труб з термопластів та модернізації існуючих конструкцій калібрувальних пристроїв, що дозволить збільшити швидкість калібрування і продуктивність екструзійного обладнання для виробництва труб достатньої міцності із заданими властивостями. Вирішення цього питання дозволить досягти підвищення ефективності процесу теплообміну в калібрувальному пристрої, а отже і підвищення продуктивності лінії, та забезпечити високу якість готових виробів, що робить тему дослідження актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Обґрунтовано умови процесу теплообміну з контрольованим термічним опором при контакті труби та робочої поверхні калібруючої гільзи при заданій динаміці процесу кристалізації, що дозволить збільшити продуктивність лінії при збереженні якості виробу.

2. Експериментально визначено час формування твердого шару полімеру на зовнішній поверхні труби при контакті з калібратором, а також визначено динаміку зміни розрідження в камері калібратора для забезпечення заданого термічного опору при охолодженні без механічного руйнування новоутвореного твердого шару на трубній заготовці.

3. Обґрунтовано умови мінімального розрідження в зоні калібрувального пристрою для термічного контакту рухомої труби зі стінкою калібрувальної гільзи, що дозволить підвищити якість виробів.

4. Удосконалено математичну модель процесу теплообміну при калібруванні з урахуванням зміни фізичного стану та теплофізичних параметрів полімеру, термічного опору на межі метал–термопласт;

5. За результатами комплексних досліджень визначено технологічні параметри роботи калібрувального пристрою для виробництва труб з поліетилену при різних режимах калібрування.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі машин та апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках науково-дослідної роботи «Процес нестационарного теплообміну зі зміною агрегатного стану аморфних речовин» (№0220U100102 від 09-01-2020) під керівництвом доцента кафедри машин та апаратів хімічних і

нафтопереробних виробництв кандидата технічних наук, доцента Семінського Олександра Олеговича.

Наукові положення в дисертаційній роботі є достатньо обґрунтованими, а отримані результати узгоджуються з відомими науковими даними та є їх подальшим розвитком. Достовірність отриманих результатів підтверджується комп'ютерним моделюванням, постановкою та виконанням обчислювальних та симуляційних експериментів, а також натурними дослідженнями в лабораторних та виробничих умовах. Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання підвищення ефективності процесу теплообміну при калібруванні труб з термопластів та розробка конструкції калібрувального пристрою для одержання продукції із заданими властивостями повністю виконано, а здобувач оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Подимана Г.С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Галузеве машинобудування».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки до пріоритетного наукового напрямку "Процес нестационарного теплообміну зі зміною агрегатного стану аморфних речовин" із Закону України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" № 2859-IX від 12 січня 2023 року.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіжності, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Подимана Григорія Сергійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати й тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. В дисертації висвітлено наукові результати та положення, підготовані здобувачем для захисту. Робота є повністю завершеною науковою працею та підтверджує значний особистий внесок здобувача. Матеріал дисертації викладено логічно та послідовно, з використанням загальноновживаної наукової та технічної термінології. Висновки сформульовано чітко і вони повністю розкривають результати дослідження.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літературних джерел та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації 211 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, визначену мету і задачі дослідження, розкрито наукову новизну та практичну значимість результатів, наведено перелік використаних в ході дослідження методів, надано інформацію щодо апробації результатів роботи та зазначено особистий внесок добувача.

У **першому** розділі дисертаційної роботи проведено літературний огляд, присвячений перспективним технологіям виробництва труб із термопластів. висвітлено перспективність впровадження рециклінгових технологій перероблення вторинної сировини за умови модернізації існуючого та створення інноваційного енерго-ресурсоощадного обладнання. Сучасний стан виробництва труб з термопластів та існуючі проблеми подано доречно з критичними підходами.

Зазначено, що існуючі на сьогодні методики розрахунку калібрувального пристрою не враховують залежність теплофізичних параметрів термопластичних матеріалів від температури і теплоти кристалізації полімеру та наявності аномалій теплофізичних властивостей термопластів в області температур склування. На основі проведеного аналізу наукової літератури визначено основні напрямки дисертаційного дослідження та сформульовано наукові завдання для досягнення поставленої мети.

Другий розділ присвячено питанням моделювання процесів теплообміну в калібраторі та розробці фізичної і математичної моделей калібрування труб з термопласту. Сформульовано фізичну модель, яка враховує спосіб перенесення теплоти при охолодженні трубної заготовки в калібраторі, та визначено природу виникаючих при цьому сил. Модернізовано математичну модель процесу нестационарного теплообміну шляхом урахуванням аномальної зміни теплофізичних параметрів полімерів у діапазоні температур стінки трубної заготовки, за яких відбувається склування термопласту. Обґрунтовано умови процесу при контакті труби та робочої поверхні калібрувальної гільзи при заданій динаміці процесу склування термопласту, що дозволить збільшити продуктивність виготовлення труб. Для забезпечення заданого термічного опору рухомої труби зі стінкою калібратора, необхідного для ефективного теплообміну та мінімізації сили тертя і зниження ризик розриву труби, запропоновано і обґрунтовано зміну розрідження в робочих комірках калібратора. Запропоновано методику аналітичного розрахунку зусилля протягування трубної заготовки через калібратор, котра забезпечує стабільний теплообмін та задані фізико-механічні властивості виробів. З метою визначення впливу на температурні поля в стінці трубної заготовки при її охолодженні в калібраторі за різних швидкостей руху труби та різних значень термічного опору проведено обчислювальний експеримент що дозволяє визначити інтенсивність процесу склування, та раціональні параметри проведення процесу охолодження

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень процесу калібрування з урахуванням особливостей теплообміну. Створено експериментальну установку і складено методику проведення експериментальних

досліджень, яка дозволяє визначити основні механічні параметри процесу калібрування. На основі аналізу похибок при проведенні експериментальних досліджень показано, що застосовані прилади та методи дозволяють з достатньо високою точністю провести виміри потрібних величин в необхідних межах.

Результати експериментальних досліджень підтвердили положення фізичної та математичної моделей процесів калібрування, а також можливість їх використання при розрахунках геометричних розмірів окремих зон калібрування із застосуванням контрольованого розрідження в камерах калібратора. Це дозволяє забезпечити високу якість готової продукції шляхом адекватного вибору режимів охолодження та уточненого розрахунку тягнучого зусилля.

Встановлено доцільність розрахунку поля температур в трубній заготовці для розрахунку теплообміну в першій зоні, та визначення умов утворення твердого шару. Підтверджено доцільність застосування адаптивного розрідження для контролю термічного опору між поверхнею трубної заготовки та стінки калібратора,

В четвертому розділі проведено обґрунтування результатів дослідження та розглянуто напрями їх практичного впровадження.

Обґрунтовано технологічну схему промислової установки одержання труб з термопластів. Розроблено промислову конструкцію двозонного калібратора з продуктивністю до 8 м/хв та діаметром 500 мм. Розглянуто доцільність використання отриманих результатів досліджень при розробці методики розрахунку калібраторів з адаптивним розрідженням для термопластів. Сформульовано рекомендації щодо проектування калібрувального пристрою та підтверджено ефективність від впровадження результатів дослідження.

Висновки і практичні рекомендації логічно випливають з виконаних досліджень, змістовні, мають теоретичне та практичне значення.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлено у 28 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 монографія, 3 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Web of Science та Scopus (Q2), 1 закордонна публікація, 3 патенти на корисну модель, 2 статті у інших виданнях. Основні положення дисертації були також апробовані на 17 наукових фахових конференціях.

Опубліковані наукові праці здобувача по темі дисертації характеризуються високим науковим рівнем. В усіх цих працях здобувач дотримується правил академічної доброчесності. В опублікованих статтях здобувача і тезах конференцій в достатній мірі висвітлено основні результати виконаних досліджень .

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. З яких міркувань при проведенні обчислювального та симуляційного експериментів використовувалися марки поліетилену відмінні від композиції поліетилену, застосованого при проведенні натурних експериментів.

2. На рис. 3.17 наведено схему проведення натурального експерименту, на основі якого визначено середній коефіцієнт тертя для контактної пари «полімер-метал» та силу протягування труби через калібратор, і результати якого представлені в таблиці 3.6 та на рис.3.18. Доцільно було б пояснити методику проведення цього натурального експерименту.

3. Термічний опір повітряного зазору визначається як відношення товщини зазору до теплопровідності повітря. Чи враховано при розрахунках термічного опору зазору, що внаслідок зміни температури зовнішньої поверхні труби термопласту по довжині калібратора від 250°C до 70°C (рис.4.3), а отже і температури повітря в зазорі, теплопровідність повітря всередині зазору зменшується на 25-30%. Відповідно, за рахунок цього термічний опір зазору має зростати по довжині гільзи калібратора.

4. В тексті дисертації на стор.62 позначення Q_1 , Q_2 та Q_3 визначаються як кількість теплоти що відводиться від труби термопласту через стінку калібратора до охолоджуючої води відповідно в зонах I, II і III. Одночасно, на рис.2.1 в кожній із трьох зон параметр Q_1 визначає тепловий потік, що проходить через границю розплаву із затверділим шаром полімеру, Q_2 - тепловий потік на границі затверділого шару із внутрішньою поверхнею калібратора, а Q_3 - тепловий потік на границі зовнішньої поверхні калібратора з водою.

5. Якщо в рівнянні теплового балансу (2.1) параметри Q_1 , Q_2 та Q_3 визначають кількість теплоти (Дж), яка відводиться в зонах I, II і III, а параметр Q_4 - додаткову кількість теплоти, котра при необхідності відводиться у ванні охолодження, то правій частині рівняння замість швидкості W має стояти довжина калібратора L (з додатком, при необхідності, довжини ванни охолодження)

6. У наведеному в дисертації «Списку умовних позначень, символів та скорочень» умовне позначення D - це діаметр труби з термопласту, а позначення d - діаметр калібрувальної гільзи. Але в тексті дисертації згадане використання цих позначень не завжди дотримується. Так, на стор.45 параметр D означає внутрішній діаметр труби; на стор.63 D і d - зовнішній та внутрішній діаметри труби на виході з калібратора; на стор.114 величина d - діаметр затверділого шару трубної заготовки; на стор.116 D - зовнішній діаметр калібратора тощо.. Слід було б навести в таблиці умовних позначень відповідні індекси.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну і практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Подимана Григорія Сергійовича на тему «Теплообмін при калібруванні труб з термопластів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі «Механічна інженерія». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Подиман Григорій Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

Рецензент:

Професор кафедри МАХНВ
Інженерно-хімічного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
д.т.н., с.н.с.

Георгій ІВАНІЦЬКИЙ

М.П. «13» березня 2025 року

