

## **ВІДГУК**

### **Офіційного опонента на дисертаційну роботу Пристинського Сергія Володимировича**

на тему «Технології переробки багатокомпонентних відходів полімерних композитів методом лиття під тиском»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія»  
за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»

#### **Актуальність теми дисертації.**

Широкі можливості використання полімерів для виготовлення деталей автомобілів обумовлюють необхідність поліпшення експлуатаційних властивостей полімерних композитів шляхом розробки ефективних технологій їх переробки методом лиття під тиском. При цьому важливим є збереження високого рівня основних властивостей виробів, показників ефективності технологічних процесів за умов зменшення обсягу відходів багатокомпонентних полімерних композитів.

Дисертація Пристинського С.В. присвячена розробці науково-обґрунтованої технології переробки багатокомпонентних відходів полімерних композитів методом лиття під тиском без їх попереднього розділення за умов збереження основних характеристик виробів та показників ефективності виробництва для зменшення обсягу відходів багатокомпонентних полімерних композиційних матеріалів.

#### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Проведені автором теоретичні та експериментальні дослідження базуються на основних положеннях полімерного матеріалознавства, хімічних технологій та інженерії. При цьому в роботі враховані узагальнений досвід та наукові здобутки українських та закордонних вчених. Наукова обґрунтованість результатів дисертації забезпечується використанням стандартних методів досліджень, сучасних інформаційних технологій, методів математичної статистики та цифрової обробки даних. Зміст наукових публікацій Пристинського С.В. за темою дослідження підтверджує достатню обґрунтованість і достовірність отриманих наукових результатів, зроблених висновків і пропозицій. Вони перевірені та встановлені автором при виконанні багаточисельних експериментів.

**Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та значущості.** Отримані в процесі дослідження наукові результати в сукупності дозволили розв'язати важливе науково-прикладне завдання, яке пов'язане з потребою переробки багатокомпонентних сумішей відходів полімерних композиційних матеріалів без їх попереднього розділення та створення для цього науково-обґрунтованої валідованої технології.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні на основі системних досліджень закономірностей фізико-хімічних перетворень в процесі переробки багатокомпонентних відходів скло наповненого поліаміду та полікарбонату (РА6GF30/PC) залежно від складу суміші.

Вперше показано, що за переважаючого вмісту РА6GF30 в суміші РА6GF30/PC відбувається часткова кополімеризація в результаті хімічної взаємодії з PC. У разі застосування РА6GF30 в суміші з PC саме частки скло-наповнювача виконують функцію компатибілізатора. Високі значення показника текучості розплаву і менші значення густини утвореної суміші можуть вказувати на нижчий ступінь кристалічності. Це дозволяє здійснювати переробку отриманих вторинних полімерних композитів не підвищуючи температуру із збереженням механічних властивостей.

Визначено, що за переважаючого вмісту PC в полімерній композиції вплив РА6GF30 нівелюється завдяки явищу інкапсуляції РА в структурі PC. Суміш набуває характеристик PC, що супроводжується поступовим підвищенням межі міцності при стисканні. За результатами досліджень здобувач рекомендує переробляти литтям під тиском вторинну суміш РА6GF30/PC за складом 90/10, 80/20, 70/30% мас із збереженням високого рівня фізико-механічних властивостей готової продукції за оптимальних параметрів технологічного процесу.

Встановлено, що стабільність процесу переробки литтям під тиском багатокомпонентних відходів полімерних композитів РА6GF30/PC за складом 90/10% мас. не зазнала значущих змін і знаходиться в допустимих межах для автомобілебудівної промисловості ( $S_{pk} \geq 2,0$ ). Тим не менше, показано збільшення часу сушки на 12,5% за підвищення температури сушки на 37,5% для вторинної суміші РА6GF30/PC. Для нівелювання цих втрат здобувачем рекомендується додавати вторинну суміш РА6GF30/PC до 20% мас. до оригінальної полімерної композиції РА6GF30.

Створено фізичну модель пристосування для отримання гранул із багатокомпонентних відходів полімерних композитів, яка відрізняється невеликим габаритним розміром, простотою конструкції та обслуговування.

Доведено, що міцність полімерних деталей з ABS/PC під час переробки литтям під тиском не зазнала значного зменшення при повторному використанні подрібненої сировини, без суттєвих змін параметрів технологічного процесу. Здобувачем рекомендується додавання подрібненої композиції ABS/PC до оригінального полімерного матеріалу до 50% мас., або регранульованої – до 80% мас.

Експериментально доведено покращення експлуатаційних властивостей РА12, а саме стійкості до етилового спирту шляхом збільшення тиску впорскування на 31,4% та температури контурів системи охолодження литтєвої

прес-форми на 10,6%, що забезпечило суттєве зростання стабільності процесу переробки.

Встановлено, що використання системного підходу для менеджменту до вирішення проблем технології переробки багатокомпонентних відходів полімерних композитів має позитивний вплив на ключові показники технологічного процесу. Доведено, що використання основних принципів ощадливого менеджменту (Lean Management) забезпечило покращення показника Всезагальної Ефективності Менеджменту (ОМЕ) в середньому на 64%, що підтверджується зростанням комплексного ключового показника технологічного процесу лиття під тиском на 2,5%. Це сприяє забезпеченню якості, зменшенню браку і частки утворення відходів полімерних матеріалів.

Доведена економічна доцільність впровадження технології переробки багатокомпонентних відходів полімерних композитів литтям під тиском шляхом оцінки фінансової ефективності. Встановлено, що додавання вторинної суміші 20% мас. PA6GF30/PC зі складом компонентів 90/10% мас. до оригінального полімерного матеріалу PA6GF30 забезпечує позитивні показники фінансової ефективності, що відповідають встановленим критеріям прийняття рішень.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Пристинського С.В. є завершеною науковою працею і повністю відповідає напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Хімічні технології та інженерія».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові запозичення, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Пристинського Сергія Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належне посилання на відповідне джерело.

#### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана грамотною українською мовою, з дотриманням усіх існуючих стилістичних стандартів та є цілком завершеною науковою працею. Стиль викладу сучасно-науковий, з використанням загальноприйнятих технічних термінів у відповідній галузі.

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку джерел та 2 додатків. Загальний обсяг дисертації 160 сторінок.

У **вступі** дисертації доведено актуальність обраної теми, сформульовано мету та основні задачі роботи, визначені об'єкт і предмет дослідження, наведені використані методи дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, описано особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** представлено огляд та аналіз науково-технічної і патентної літератури щодо сучасних тенденцій переробки полімерних композиційних матеріалів литтям під тиском. Особлива увага приділена регулюванню експлуатаційних характеристик пластикових виробів, екологічним аспектам переробки багатокомпонентних відходів полімерних композитів та філософії ощадливого виробництва і менеджменту (Lean).

В **другому розділі** наведений перелік використаних матеріалів та речовин, їх основні властивості та обґрунтований їх вибір. Другий розділ присвячений опису використаних в ході виконання роботи методів дослідження. Описані методики отримання дослідних зразків. Зазначені в роботі методи забезпечують отримання точних даних з можливістю їх подальшого аналізу для прийняття рішень та формулювання висновків стосовно вирішення важливої науково-прикладної проблеми в галузі виробництва виробів з пластмас, яка пов'язана з необхідністю переробки багатокомпонентних відходів полімерних композиційних матеріалів.

**Третій розділ** дисертаційної роботи присвячений розробці технології переробки багатокомпонентних відходів полімерних композитів методом лиття пластмас під тиском. Проведений ретельний аналіз досліджень реологічних властивостей, морфології та фізико-механічних характеристик сумішей відходів PA6GF30/PC. Результати досліджень дозволили визначити оптимальний склад суміші відходів PA6GF30/PC, що дозволяє переробляти її не підвищуючи температуру зі збереженням фізико-механічних властивостей. Здобувач рекомендує здійснювати переробку литтям під тиском вторинної суміші PA6GF30/PC за складом 90/10, 80/20, 70/30% мас. Встановлено, що за вказаних співвідношень компонентів зберігаються передбачувані фізико-механічні властивості готової продукції у поєднанні із оптимальними параметрами процесу лиття під тиском. Доведено, що сила зламу полімерних деталей з ABS/PC під час переробки литтям під тиском не зазнала значного зменшення при повторному використанні подрібненої сировини у порівнянні з оригінальним матеріалом, що сприяє позитивному впливу на екологічні аспекти. Здобувачем рекомендується додавати подрібнену композицію ABS/PC до оригінального полімерного матеріалу до 50% мас., або регранульованої – до 80% мас.

Розроблено концепцію обладнання та методу отримання гранул із подрібнених багатокомпонентних відходів полімерних композиційних матеріалів.

Також в цьому розділі експериментально підтверджено, що основними факторами впливу при термообробці полімерів є температура і час перебування полімерної композиції у формі для лиття. Експериментально доведено покращення стійкості PA12 до C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>ОН шляхом збільшення тиску впорскування

на 31,4% та температури контурів системи охолодження форми для лиття на 10,6%, що забезпечило суттєве зростання стабільності процесу. Дисертант рекомендує проводити валідацію технологічного процесу отримання деталей з PA12 з оцінкою результатів визначення експлуатаційних та хімічних властивостей.

У **четвертому розділі** визначено теоретичні основи валідації процесу лиття пластмас під тиском. Розроблено системний підхід шляхом структурування процесу валідації із використанням методики PDCA, що відповідає міжнародному стандарту ISO9001. Сформульовано метод оцінки стабільності процесу лиття пластмас під тиском. Це є один з основних аспектів визначення придатності технології.

Показано особливості візуальної оцінки якості виробів з вторинних сумішей полімерних композитів в автомобілебудуванні. Особливу увагу приділено основним критеріям якості до продукції, яка отримується із багатокомпонентних відходів полімерних композитів методом лиття під тиском.

Отримані результати доводять можливість повторної переробки багатокомпонентних відходів полімерних композиційних матеріалів методом лиття під тиском. Це сприяє зниженню собівартості продукції за рахунок зменшення витрат на оригінальну сировину, що забезпечує зменшення частки неперероблених полімерних відходів, що в свою чергу позитивно вплине на екологічні аспекти та на фінансові результати виробничих компаній.

У **п'ятому розділі** розглянуті основні ключові та процесні показники лиття пластмас під тиском. Обґрунтовано доцільність їх використання для здійснення системного управління технологічним процесом.

Проаналізовані основні положення сучасної філософії бережливого виробництва та менеджменту (Lean), які відіграють важливу роль у належній підтримці технології переробки сумішей відходів полімерних композиційних матеріалів.

Встановлено, що дотримання структурованого процесу вирішення проблем підвищує всезагальну ефективність менеджменту на 28%, що в свою чергу забезпечує сталий розвиток компаній та суспільства. Це в свою чергу відіграє ключову роль у превентивному зменшенні частки відходів шляхом постійного покращення якості технологічних процесів та систем.

Доведена доцільність впровадження технології переробки багатокомпонентних відходів полімерних композиційних матеріалів в діяльність підприємства.

У **висновках** стисло сформульовані основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи.

В цілому оцінюючи роботу за змістом і за якістю оформлення, можна зробити висновок про те, що вона відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44).

#### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у **12** наукових публікаціях здобувача, серед яких: **3** статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; **1** стаття у періодичному науковому виданні, яку індексується у базі даних Scopus, **1** патент на корисну модель. Також результати дисертації були апробовані на **7** наукових фахових конференціях.

Таким чином, наукові результати наведені в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача. В опублікованих наукових працях автор дисертації дотримується принципів академічної доброчесності.

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Краше було б провести оцінювання фізико-механічних властивостей отриманих полімерних композиційних матеріалів за декількома параметрами (наприклад: напруження при межі текучості при стисканні, міцність при розтягуванні та згині, твердість тощо). Це дало би більш зрозумілу картину щодо впливу складу та методу переробки досліджених матеріалів на їх властивості.

2. Не зовсім зрозуміло, що має на увазі здобувач використовуючи термін сила зламу. Для визначення фізико-механічних властивостей отриманих матеріалів такий параметр не використовується.

3. На мій погляд, зразок для досліджень, приведений на рисунку 8, розташований не зовсім вірно. Якщо він має циліндричну форму, то згідно із стандартом, його вісь симетрії повинна знаходитися перпендикулярно до основи машини на якій проводяться дослідження.

4. На мій погляд, краше було б провести дослідження стійкості до дії хімічно-активних середовищ не тільки у етиловому спирті, а і у інших розчинниках з якими можуть контактувати деталі із досліджених матеріалів.

5. У роботі немає чіткого пояснення досить складного характер графіку залежності показника текучості розплаву MVR від складу суміші PA6GF30/PC. Не доведено причину появи на цьому графіку екстремумів.

6. На рисунку 31 під номером 3 приведено не пневматичний циліндр, а ріжучий інструмент, який приводиться у рух пневматичним циліндром.

7. На рисунку 32 приведена не технологічна схема отримання гранул з відходів полімерних композиційних матеріалів, а, технологічна послідовність отримання гранул. У загальному випадку технологічна схема має містити інформацію стосовно технологічних параметрів процесу та основного обладнання.

8. У роботі не всі терміни уніфіковані. Наприклад в одних випадках здобувачем застосовуються такий термін, як “густина”, в інших – щільність. В одних - ударна в’язкість, в інших – ударна в’язкість по Ізоду.

9. Спостерігається відсутність пробілів між деякими словами та реченнями, зустрічаються граматичні і стилістичні помилки; деякі формули подані у текстовому форматі, а не в математичному.

### Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пристинського Сергія Володимировича на тему «Технології переробки багатокомпонентних відходів полімерних композитів методом лиття під тиском» є завершеним науковим дослідженням, що виконане на високому науковому рівні з дотриманням принципів академічної доброчесності. Сукупність отриманих результатів досліджень розв’язує важливе науково-технічне завдання створення технологій переробки багатокомпонентних полімерних композитів, що має вагомое значення для галузі знань 16 – «Хімічна та біоінженерія».

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю, змістом і науковою новизною 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 Пристинський Сергій Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

### Офіційний опонент:

Завідувач кафедри інноваційної інженерії  
Українського державного університету науки і технологій  
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Д.т.н., професор

М.П.



Особистий підпис
кабат Олега
засвідчую
нач. загального відділу Українського державного університету науки і технологій
30.07.2024

Олег КАБАТ

30.07.2024

20 року