

Нейма О. В., Хорошко І. В.
(ФТІМС НАН України, Київ)

**ВИЗНАЧЕННЯ КРАТНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОЗЧИННИКІВ У
ПРОЦЕСІ ЛИТТЯ В КЕРАМІЧНІ ФОРМИ ЗА ПОЛІМЕРНИМИ
МОДЕЛЯМИ**

E-mail: Neima_Alex@ukr.net

Однією з ключових переваг способу лиття в оболонкові керамічні форми за полімерними моделями, що розчинюються, є можливість отримання складнопрофільних виливків високої точності та зниження енергетичних витрат у порівнянні з традиційними методами. Важливим фактором, що визначає економічну та екологічну ефективність даної технології, є можливість багаторазового використання розчинників. Незважаючи на очевидну доцільність їх повторного застосування, дане питання залишається недостатньо вивченим.

Отже, метою роботи є встановлення максимально допустимої кількості циклів (кратність) використання розчинників зі збереженням прийнятної розчинювальної здатності при видаленні пінополістиролових (ППС) моделей та оцінка впливу ступеня насичення продуктами деградації на кінетику процесу розчинення.

Для дослідження кратності використання розчинників проведено серію експериментів по розчиненню зразків із ППС марки ПСБ-35 (EPS-250) по ДСТУ EN 13163:2019 (EN 13163:2012 + A1:2015, IDT). Зразки мали циліндричну форму діаметром 42 мм, висотою 36 мм, об'ємом 50 см³ та масою 1,5 г. Їх виготовляли вирізанням на фрезерному верстаті з ЧПК із пінополістиролової плити густиною 30 кг/м³. На основі попередніх досліджень в якості розчинників були вибрані живичний скипидар, D-лімонен та розчинник 646. Об'єм розчинників складав 50 см³, тобто витратний коефіцієнт одиниці об'єму розчинника / до одиниці об'єму моделі становив 1/1. Маса розчинників складала 44 ± 2 г, а температура під час експерименту підтримувалася на рівні 25 °С.

Дослідження проводилося шляхом послідовного занурення ППС зразків у той самий розчинник без його заміни з наступним контролем швидкості

розчинення, та насиченості продуктами деструкції. Для кожного циклу занурювався новий зразок та визначався час його повного розчинення. На кожному етапі визначали час повного розчинення трьох зразків і обчислювали середнє значення.

Для оцінки оптимальної кратності використання розчинників використано два критерії, а саме порогове значення часу доцільності використання розчинників, яке було прийнято як подвоєне значення першого циклу та концентраційний поріг – насичення розчинника продуктами деструкції полімеру до рівня 14-15 % мас. Перший критерій показує стабільність роботи розчинника та регулює потоковий ритм та часові ліміти отримання готових керамічних форм під заливання при серійному та масовому виробництвах. Другий критерій регулює ступінь насичення розчинника продуктами деструкції ППС та його вплив на його розчинну здатність. У процесі багаторазового використання розчинників при видаленні ППС моделей відбувається зростання в'язкості розчину, знижуються дифузійні процеси та рухливість молекул розчинника, що призводить до зниження швидкості проникнення розчинника у пори та гранули ППС та, відповідно зниження кінетичних характеристик розчинення. Окрім цього, значне насичення розчину гелеподібними продуктами деструкції пінополістиролу може призвести до їх осідання на стінках керамічної форми та в подальшому спричинити дефекти виливків у вигляді газових раковин, пористості і т. п. Тому, враховуючи вищенаведене та попередні дослідження концентраційний поріг складав не більше 14-15 % мас.

Результати експериментів по визначенню кратності використання живичного скипидару (рис. 1 а, табл. 1) показали, що час розчинення зразків поступово збільшується із кожним наступним циклом використання розчинника. Для першого циклу середній час становив 7,5 хв, що прийнято за базове значення (t_0), а в п'ятому вже виріс до 21,1 хв.

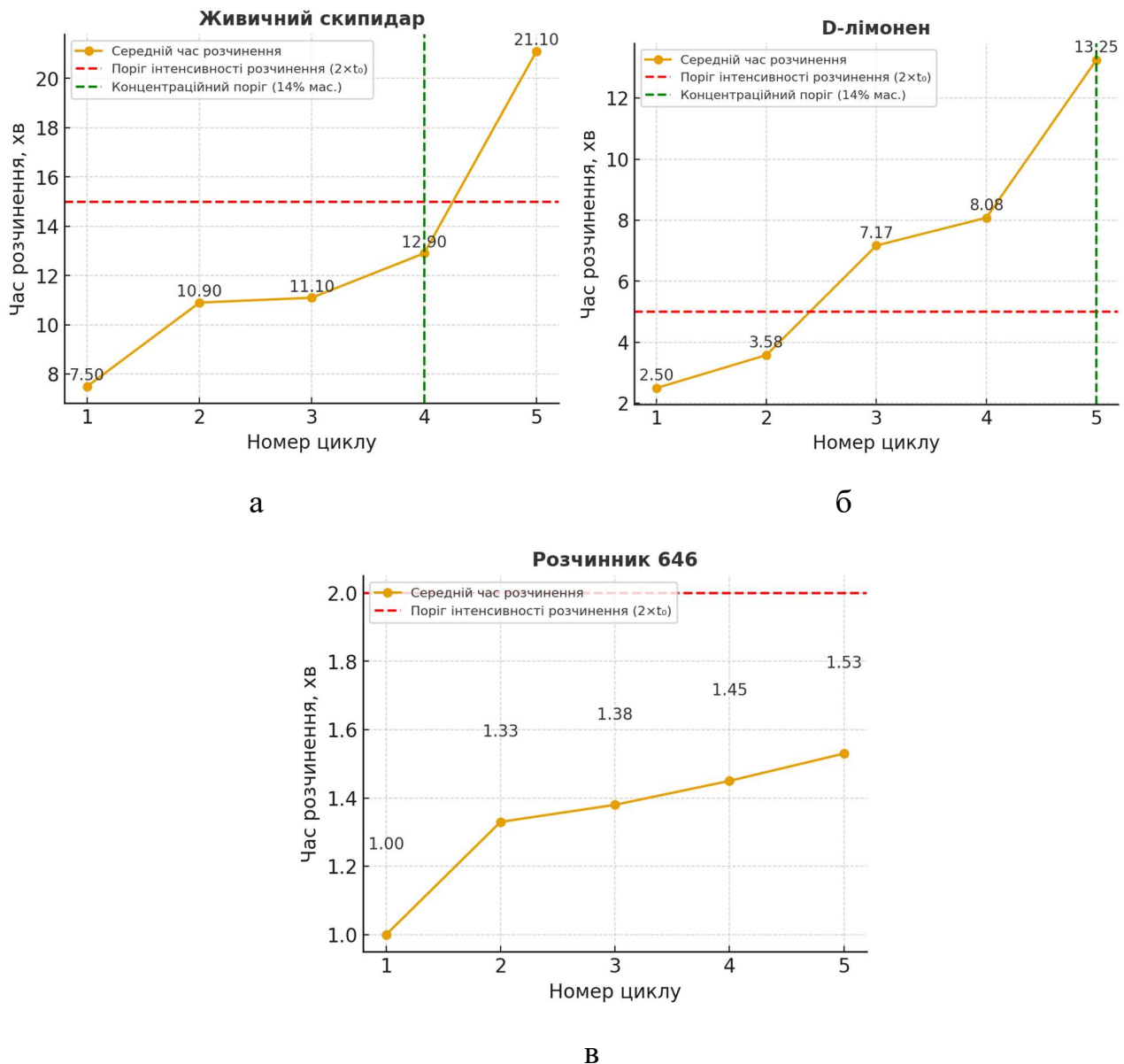


Рис. 1. Залежність часу розчинення ППС зразків від кратності використання розчинників: а – живичний скипидар; б – D-лімонен; в – розчинник 646

Порогове значення часу доцільності використання живичного скипидару становило 15 хв. Аналіз отриманих даних свідчить, що починаючи з п'ятого циклу середній час розчинення перевищує допустиме значення, а отже подальше використання розчинника є недоцільним. При цьому концентрація полімерного залишку після четвертого циклу вже досягає значення $\approx 17-18\%$ мас., при якому розчинення істотно уповільнюється, що свідчить про суттєве насичення розчинника продуктами деструкції полімеру та значне зниження його розчинної

здатності. Таким чином, оптимальна кратність використання живичного скипидару становить як по часу розчинення, так і по масовій концентрації не більше чотирьох циклів. Це зумовлює можливість багаторазового використання живичного скипидару без критичного зниження ефективності.

Таблиця 1 – Результати визначення кратності використання розчинників

Розчинник	Час 1-го циклу, хв (t_0)	Поріг інтенсивності розчинення ($2 \times t_0$), хв	Концентрація ППС у розчиннику, % (по циклах)	Межа досягнення концентрації 14% мас.	Оптимальна кратність використання
Живичний скипидар	7,5	15,0	3,5; 7,0; 10,5; 14,0 ; 17,5	4-й цикл	4 цикли
D-лімонен	2,5	5,0	3,3; 6,5; 9,8; 13,0 ; 16,3	5-й цикл	3-4 цикли
Розчинник 646	1,0	2,0	Не насичує	-	>5

Розчинення в D-лімонені відбувалося значно швидше (рис. 1 б, табл. 1): перший цикл – 2,5 хв, що свідчить про високу розчинювальну здатність. Проте вже після другого – третього циклу середній час перевищив поріг інтенсивності розчинення (подвоєний початковий час ≈ 5 хв), хоча абсолютні значення часу (7-8 хв) залишаються меншими, ніж у скипидару навіть на перших циклах. Далі спостерігалось стрімке зростання тривалості процесу: на четвертому циклі час наближався до 8 хв, а на п'ятому – перевищив 13 хв, що вказує на зниження розчинної здатності. Концентраційний поріг 14 % мас. досягався швидше – вже після четвертого циклу. Отже, оптимальна кратність застосування D-лімонену обмежується трьома – чотирма циклами. D-лімонен забезпечує значно швидше розчинення на початкових циклах, але швидко втрачає ефективність через насичення продуктами деструкції. Натомість живичний скипидар демонструє повільніше розчинення, однак забезпечує більшу кратність використання.

Таким чином, визначені порогові значення не слід інтерпретувати як абсолютні показники ефективності розчинників. Вони більш відображають динаміку зниження розчинювальної здатності у порівнянні з початковим станом. У практичному плані D-лімонен забезпечує швидке й ефективне розчинення навіть при зменшеній кратності використання, тоді як скипидар характеризується більшою стійкістю до насичення продуктами деструкції, але значно повільнішим початковим процесом.

При розчиненні ППС зразків в розчиннику 646 перший цикл тривав 1 хв, п'ятий – 1,5 хв (рис. 1 в). Початковий час розчинення навіть у п'ятому і більше циклах не перевищує заданого порогу (2 хв). Це означає, що розчинник 646 може застосовуватися для багатократного використання без значного зниження швидкості розчинення. Однак, при цьому розчинення зразків відбувалося неповністю. Після кожного циклу залишався нерозчинений щільний згусток ППС значно зменшеного об'єму, який вилучався з розчинника перед початком наступного циклу. Відповідно, концентрація розчину практично не змінювалася, тому час розчинення зростав незначно. Цей розчинник має високі кінетичні показники, але проблема неповного розчинення ППС обмежує його практичне застосування та вимагає пошуку технологічних рішень для видалення нерозчинених залишків ППС з керамічних форм.

Отже, було визначено оптимальну кратність використання органічних розчинників для видалення полімерних моделей, що забезпечує баланс між економічністю процесу та якістю оболонкових керамічних форм. Запропонований підхід дозволяє знизити витрати на розчинники та мінімізувати негативний екологічний вплив технології лиття за моделями, що розчинюються.