

СИНЮК ОЛЕГ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9615-0729>e-mail: [oleg.synjuk@khmnu.edu.ua](mailto:oleg.synjuk@khmnu.edu.ua)

ПОЛІЩУК АНДРІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7887-7169>e-mail: [polishchuka@khmnu.edu.ua](mailto:polishchuka@khmnu.edu.ua)

КУНЦОВ ОЛЕКСАНДР

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0007-8825-9285>e-mail: [kuntsov.oleksandr@khmnu.edu.ua](mailto:kuntsov.oleksandr@khmnu.edu.ua)

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРЕС-ФОРМИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЇЇ ЗАПОВНЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ MOLDEX 3D

Використання програмного забезпечення Moldex3D дозволяє визначити ефективні конструкційні параметри прес-форми та технологічні режими її заповнення, зменшуючи ймовірність дефектів і підвищуючи ефективність виробничого процесу. Моделювання процесу лиття під тиском у Moldex3D надає можливість детального аналізу різних стадій технологічного процесу: заповнення, охолодження, утримання під тиском і викидання виробу з форми, завдяки чому значно скорочуються витрати часу та ресурсів на експериментальне налаштування режимів.

Під час проведення у системі Moldex3D досліджень процесу лиття під тиском полімерних матеріалів встановлено, що стадії витримки та охолодження відіграють ключову роль у забезпеченні якості готової деталі. Використання прес-форм із системою охолодження дозволить зменшити тривалість процесу тримання під тиском підосиви, що сприятиме збільшенню продуктивності виробництва в цілому. Разом з тим при значному зниженні температури стінок прес-форми спостерігається передчасне застигання матеріалу, що приводить до утворення усадки. Дослідження процесу підживлення підосиви під час витримки її під тиском показало, що при тиску впорскування 155 МПа час подачі в порожнину форми додаткового матеріалу зменшується в 1,5 рази, що дозволяє збільшити продуктивність виробництва. Але надмірно високий тиск впорскування та температура стінок прес-форми може сприяти утворенню облою, тобто надлишку полімерного матеріалу у вигляді тонкої губи або виступу на краю компонента. Він зазвичай тонкий і його можна легко обрізати, тому облою можна вважати незначним дефектом, але додаткова операція його зняття приводить до здороження процесу виробництва.

Встановлено, що лінії спаю є зонами зниження експлуатаційних властивостей виробів через меншу адгезію між потоками, а на розміщення спаїв у готовому виробі впливає відносно розташування впускних отворів прес-форми. Тому, при проектуванні прес-форм слід вибирати таке розташування впускних отворів, при якому забезпечується необхідна орієнтація спаїв або їх розміщення у зонах виробу (підосиви), де діють відносно невеликі навантаження.

Ключові слова: прес-форма, розплав полімеру, лиття під тиском, впускні отвори, охолодження, температура, усадка, спай, програмний комплекс Moldex3D.

SYNYUK OLEG

POLISHCHUK ANDRII

KUNTSOV OLEKSANDR

Khmelnitskyi National University

## METHOD FOR DETERMINING EFFECTIVE DESIGN PARAMETERS OF THE MOLD AND TECHNOLOGICAL MODES OF ITS FILLING USING MOLDEX 3D

Using Moldex3D software allows you to determine the effective structural parameters of the mold and the technological modes of its filling, reducing the likelihood of defects and increasing the efficiency of the production process. Modeling the injection molding process in Moldex3D allows for a detailed analysis of various stages of the technological process: filling, cooling, holding under pressure and ejecting the product from the mold, which significantly reduces the time and resources spent on experimental mode settings.

During the research of the injection molding process of polymer materials in the Moldex3D system, it was found that the holding and cooling stages play a key role in ensuring the quality of the finished part. The use of molds with a cooling system will reduce the duration of the sole holding process, which will contribute to increasing production productivity as a whole. At the same time, with a significant decrease in the temperature of the mold walls, premature solidification of the material is observed, which leads to shrinkage.

The study of the process of feeding the sole during its holding under pressure showed that at an injection pressure of 155 MPa, the time for feeding additional material into the mold cavity is reduced by 1.5 times, which allows increasing production productivity. However, excessively high injection pressure and temperature of the mold walls can contribute to the formation of flaking, i.e. excess polymer material in the form of a thin lip or protrusion on the edge of the component. It is usually thin and can be easily trimmed, so flaking can be considered a minor defect, but an additional operation to remove it leads to an increase in the cost of the production process. It has been established that the joint lines are zones of reduced performance properties of products due to lower adhesion between the flows, and the placement of joints in the finished product is influenced by the relative location of the mold inlet holes. Therefore, when designing molds, one should choose such a location of the inlet holes that ensures either the location of the joint line in areas that are not subjected to significant loads during the operation of the product, or a change in the orientation of the joints relative to the direction of the applied load. Reducing the angle between the joint line and the direction of the load allows to increase the strength and wear resistance of the products during their operation.

Keywords: mold, polymer melt, injection molding, inlet holes, cooling, temperature, shrinkage, joint, Moldex3D software complex.

## Вступ і актуальність

У процесі лиття полімерного матеріалу під тиском нерідко вибирають помилкові конструкційні параметри прес-форм, а також режими їх заповнення, що спричиняє значні економічні наслідки. Дефекти якості у відлитих виробах можуть варіюватися від незначних поверхневих недоліків до серйозних проблем, що впливають на функціональність продукції та продуктивність її виробництва. Виникнення таких дефектів зазвичай зумовлене помилками у процесі формування виробів, використанням невідповідних матеріалів, конструктивними недоліками прес-форм, невідповідними режимами лиття під тиском або комбінацією цих чинників. Серед найпоширеніших дефектів якості у виробах легкої промисловості, виготовлених методом лиття під тиском, виділяють: деформацію та усадку, вакуумні порожнини, поверхневі нерівності, зварювальні шви (лінії спаю) та утворення облою.

З метою запобігання зайвих витрат часу та матеріалу перед початком виробництвом полімерних виробів легкої промисловості методом лиття під тиском потрібно змодельовати процесу заповнення порожнини прес-форми розплавом полімеру за допомогою спеціалізованих програм, зокрема програмного комплексу Moldex 3D. Це дозволяє проаналізувати поведінку матеріалу у формі, ідентифікувати потенційні зони виникнення дефектів та оптимізувати конструкцію та режими лиття. Лише після цього можна переходити до проектування і виготовлення прес-форм, забезпечуючи їхню відповідність виробничим вимогам.

Отже, метою цієї статті є розробка комплексного підходу щодо визначення ефективних конструкційних параметрів прес-форми та режимів лиття під тиском за допомогою програмного комплексу Moldex 3D, що дозволить мінімізувати ризики, пов'язані з дефектами, і забезпечити вищу якість готової продукції.

### 1. Основна частина.

Процеси отримання полімерних виробів зазвичай складається з різномірних явищ, а саме: гідродинамічних, теплових і фізико-хімічних. При цьому важливим фактором є нестабільність багатьох полімерних систем, що виражається у тому, що з часом мають місце фізичні і хімічні перетворення, причому, на відміну від релаксаційних явищ, вони призводять до незворотних змін у структурі полімеру і, відповідно, його властивостей [1, 2]. Ці системи називають реологічно нестабільними, тому, що на різних етапах їх існування вони мають різний набір властивостей. Така нестабільність може визиватися як фізичними явищами (кристалізацією або розділенням фаз), так й хімічними реакціями (полімеризацією, структуруванням), які впливають на зміну розмірів готового виробу (лінійних та/або об'ємних), що призводить до його короблення та виникнення усадки.

Математичне моделювання процесів течії подібних середовищ є задачею надзвичайно складною через величезну кількість взаємопов'язаних факторів, які необхідно враховувати. До цих факторів можна віднести й нелінійність в'язкісних властивостей полімерного розплаву, які залежать від температури розплаву і ступені перетворень полімеру, яка в свою чергу підпорядковується фізико-хімічним законам.

Станом на сьогодні досягнутий певний успіх в моделюванні згаданих вище процесів [1]. Однак, майже во всіх дослідженнях по цьому питанню використовується ейлерова концепція плинну рідини, яка індивідуалізує частинки рідини, розглядаючи зміну властивостей плинну у певній точці простору, в якій на даний момент знаходиться частинка. Вважаємо, що така постановка є обмеженою, так як саме в елементарному об'ємі полімеру, що тече в порожнині прес-форми, відбуваються усі перетворення, які визначають властивості готового виробу.

У зв'язку з цим, для моделювання процесу заповнення порожнини прес-форми ми використали програмний комплекс Moldex 3D, який, з огляду на результати попереднього моделювання [3], враховує як ейлеровий підхід, так й лагранжевий характер плинну рідини, в'язкість якої залежить від часу. До причин, які обумовлюють цю залежність, можна віднести полімеризацію, структурування, затвердіння та інші.

Нижче розглянемо підходи щодо визначення ефективних режимів лиття під тиском полімерних виробів легкої промисловості (на прикладі лиття підшви), при яких мінімізуються дефекти, що були зазначені вище.

У дослідженні використовується полівінілхлорид. Для зручності моделювання обрано виріб простої геометрії. Параметри моделювання: геометрія прес-форми імпортується у програму Moldex3D у форматі CAD. Для матеріалу задавалися властивості: в'язкість, теплоємність, коефіцієнт теплопровідності. Були прийняті такі початкові умови - температура розплаву полімеру (230-260°C), температура прес-форми (40-80°C), тиск упорскування (130-155 МПа), швидкість заповнення (30-60 см<sup>3</sup>/с).

Аналіз проводився у три етапи:

- заповнення форми - аналіз рівномірності заповнення, уникнення утворення повітряних порожнин та ліній спайки;
- тримання під тиском - оптимізація тривалості та величини тиску для мінімізації усадки.
- охолодження підшви - дослідження розподілу температури, часу затвердіння та теплових деформацій;

### 1.1. Зменшення усадки і деформацій готового виробу

Деформація та усадка є одними з найпоширеніших проблем, що виникають при виготовленні полімерних виробів методом лиття під тиском. Ці явища можуть суттєво впливати на точність геометричних розмірів, функціональність і естетичні характеристики готової продукції. Їх зменшення є важливим завданням, що забезпечує підвищення якості виробів, скорочення виробничих витрат і зниження ризиків втрат матеріалу.

Дослідимо причини усадки шляхом моделювання виготовлення підошви із застосуванням програмного комплексу Moldex 3D (рис.1-2).

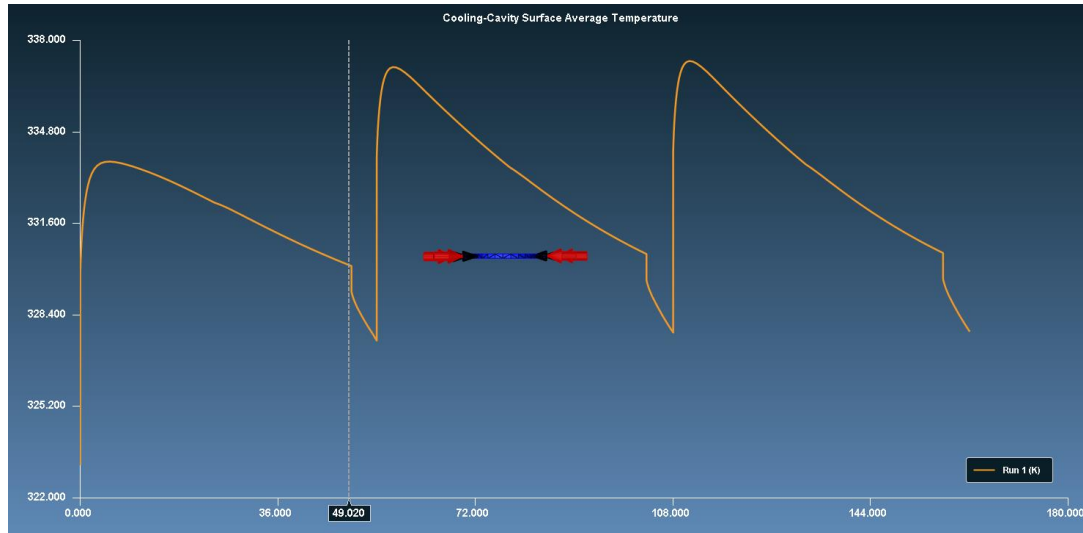


Рис.1. Процес формування підошви у прес-формі із системою охолодження

Моделюючи процес охолодження (тримання під тиском) виробу у прес-формах із системою охолодження (рис.1) і без неї (рис.2) можна припустити, що у відлита у прес-формах із системою охолодження, яка може регулювати температуру стінок прес-форми, підошва буде мати меншу усадку, ніж, якщо б вона була відлита у прес-формі без системи охолодження.

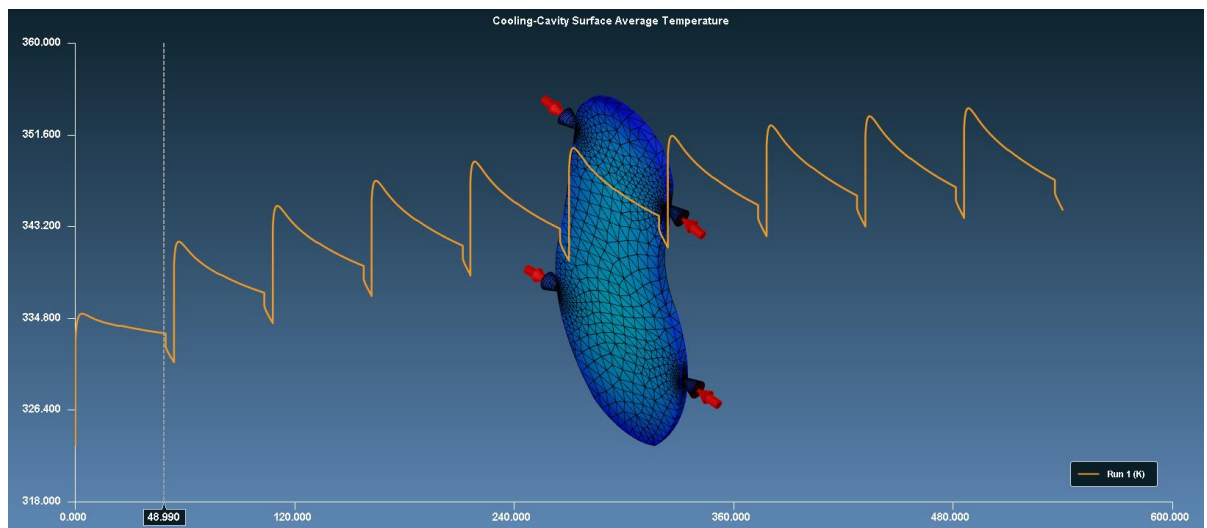


Рис.2. Процес формування підошви у прес-формі без системи охолодження

На основі проведених досліджень можна вважати, що використання прес-форм із системою охолодження дозволить зменшити тривалість процесу тримання під тиском підошви, що сприятиме збільшенню продуктивності виробництва в цілому. Разом з тим при значному зниженні температури стінок прес-форми спостерігається передчасне застигання матеріалу, що приводить до утворення усадки. Так, якщо підтримувати середню температуру стінок прес-форми 60-65 °С, можна досягнути зменшення усадки на 8 % порівняно із прес-формою, середня температура стінок якої не перевищує 50 °С. Тобто, при однаковому часі тримання під тиском (49 с) у прес-формах із системою охолодження і без неї спостерігається різний ступінь усадки і деформації.

У результаті багаточисельних досліджень встановлено, що крім температури стінок прес-форми на деформацію і усадку готового виробу також впливає тиск впорскування (рис. 3).

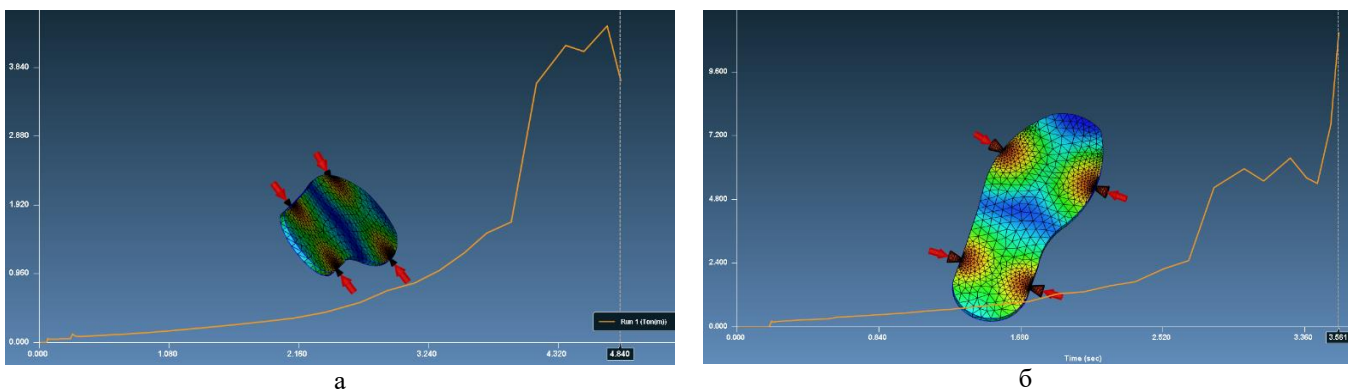


**Рис. 3.** Дослідження вплив тиску впорскування на час формування підшви за допомогою Moldex 3D: а - тиск впорскування 155 МПа; б - тиск впорскування 130 МПа

Як видно з рис. 3 при тиску впорскування у 155 МПа час заповнення порожнини прес-форми становить 14,2 с, а при тиску у впорскування у 130 МПа час повного заповнення прес-форми становить 23,2 с. Таким чином, при тривалості заповнення 14,2 с та тиску впорскування 130 МПа, матеріал перед охолодженням буде недостатньо ущільненим, що призведе до деформаційних і усадочних процесів під час витримки під тиском.

Процес лиття під тиском полімерних матеріалів складається з кількох етапів: заповнення порожнини прес-форми, витримка під тиском, охолодження та вилучення готового виробу. Стадії витримки та охолодження відіграють ключову роль у забезпеченні якості готової деталі, оскільки на цьому етапі формуються остаточні властивості виробу, зокрема його геометрична стабільність та відсутність дефектів.

Після заповнення порожнини прес-форми матеріал починає ущільнюватися під час витримки під тиском. Ця стадія необхідна для компенсації усадки, яка виникає через охолодження полімеру та зменшення його об'єму. У процесі витримки під тиском додатковий матеріал подається до порожнини форми, забезпечуючи рівномірне ущільнення та запобігаючи утворенню вакуумних порожнин або деформацій (рис. 4).



**Рис. 4.** Дослідження вплив тиску впорскування на час підживлення підшви в процесі її витримки у прес-формі за допомогою Moldex 3D: а - тиск впорскування 155 МПа; б - тиск впорскування 130 МПа

Дослідження процесу підживлення підшви під час витримки її під тиском (рис. 4) показало, що при тиску впорскування 155 МПа час подачі в порожнину форми додаткового матеріалу зменшується в 1,5 рази, що дозволяє збільшити продуктивність виробництва. Але надмірно високий тиск впорскування та температура стінок прес-форми може сприяти утворенню облою, тобто надлишку полімерного матеріалу у вигляді тонкої губи або виступу на краю компонента.

Облой виникає через те, що матеріал витікає за межі каналів потоку у простір між матрицею і пуансоном або в районі виштовхувача. Він зазвичай тонкий і його можна легко обрізати, тому облой можна вважати незначним дефектом, але додаткова операція його зняття приводить до здороження процесу виробництва.

Крім високого тиску впорскування і температури прес-форми на виникнення облою впливає неправильно сконструйована чи зношена прес-форма. Матеріал, що протікає через порожнини форми, може просуватися між плитами, коли сила затискача пластини недостатня.

Після завершення витримки під тиском відбувається охолодження виробу, під час якого матеріал затвердіває та набуває необхідної жорсткості. Важливо, щоб охолодження було рівномірним по всій площині виробу. Це мінімізує ризик виникнення внутрішніх напружень, що можуть призвести до короблення виробів.

Тривалість охолодження залежить від типу полімеру та конструкції виробу. У процесі лиття прес-форма може підігріватися або охолоджуватися теплоносієм для підтримання необхідної температури, що оптимізує затвердіння полімеру.

Температура прес-форми суттєво впливає на якість готової деталі та економічність виробничого процесу. Надто висока температура може спричинити затримку охолодження, надмірну усадку та втрату точності геометричних розмірів виробу. Натомість надто низька температура збільшує ризик утворення поверхневих дефектів і внутрішніх напружень. Оптимальний температурний режим дозволяє уникнути короблення та деформацій, забезпечуючи стабільність розмірів і характеристик виробу після вилучення з форми.

### 1.2. Зміна орієнтації ліній спаїв

Через наявність у формувальній порожнині кількох ливників або перешкод, які оминаються розплавом полімерного матеріалу, у відлитих виробах утворюються лінії спаю [4, 5]. Як правило, такі ділянки виробів мають знижені механічні властивості [6].

Згідно з [5], під час заповнення прес-форм розплавом полімерного матеріалу виникають два типи спаїв:

- спаї, що утворюються внаслідок зустрічного руху потоків розплаву (рис. 5 а);
- спаї, що формуються при паралельному русі потоків розплаву (рис. 5 в);

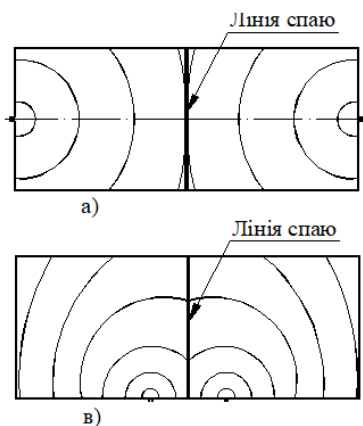


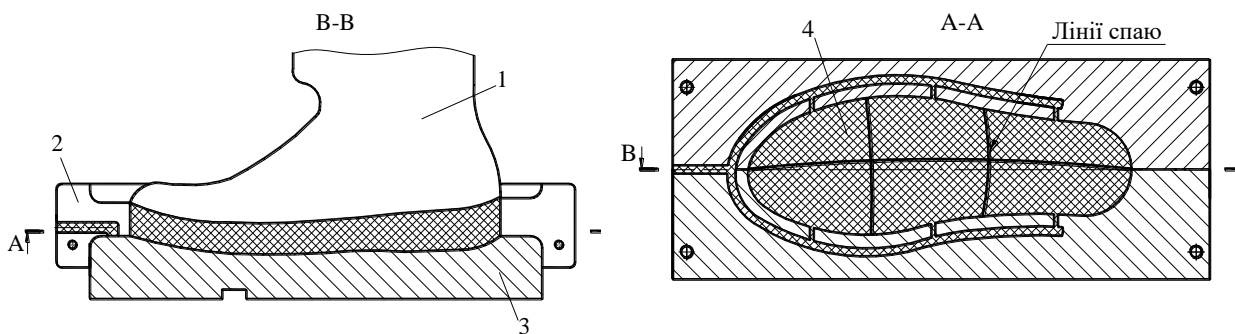
Рис.5. Схеми утворення ліній спаю: а - при зустрічі потоків розплаву; в - при паралельному русі потоків [5]

Орієнтація ліній спаю відносно напрямку дії руйнівного навантаження значно впливає на експлуатаційні характеристики відлитих виробів. Як зазначено в роботі [6, 7], для таких матеріалів, як полістирол, співвідношення міцності вздовж лінії спаю до міцності поперек неї становить 1,34–1,44.

Розташування ліній спаю у виробах і кути їх нахилу до напрямку руйнівного навантаження визначаються конфігурацією та орієнтацією ливникових каналів відносно формувальної порожнини [5, 6].

Сучасні прес-форми, що використовуються для виготовлення виробів легкої промисловості, поки що не дозволяють уникнути утворення спаїв у найбільш критичних зонах виробів.

Так, у формувальній порожнині прес-форми для лиття підошов на заготовку верху взуття [5, 8] виконано декілька впускних отворів. Схема вказаної прес-форми наведена на рис. 6.



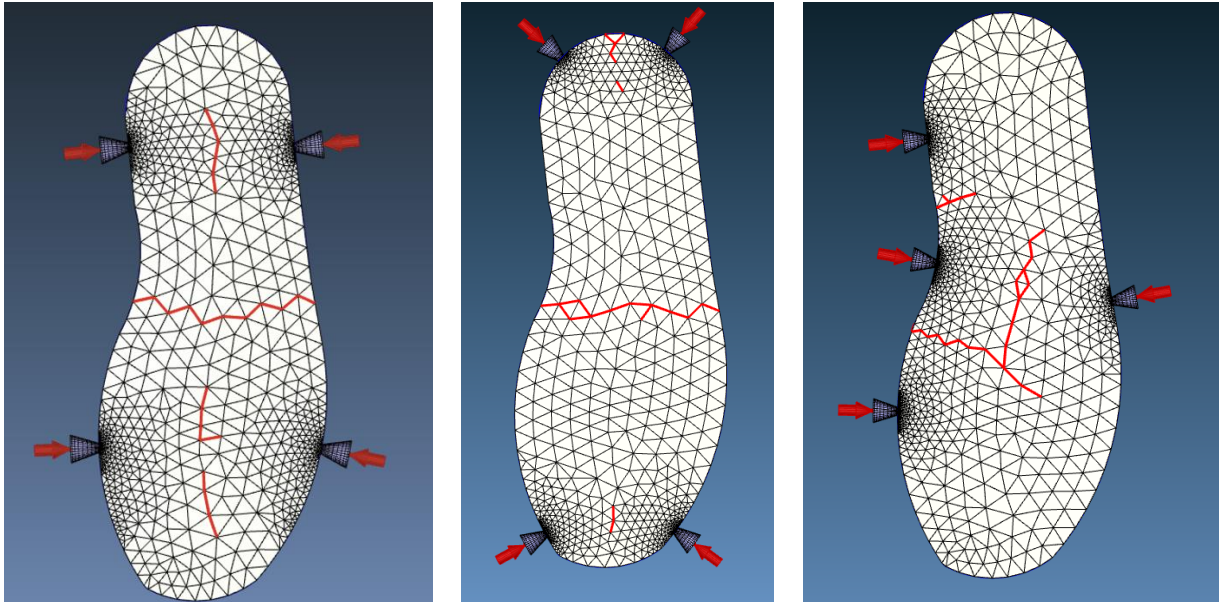
1 - пресова колодка; 2 - півматриці; 3 - пуансон; 4 - готовий виріб

Рис. 6. Прес-форма для лиття підошов [5]

Зазначена проблема вирішувалася у роботі [5], у якій був запропонований комплекс розрахункових програм, що дозволяли візуалізувати процес заповнення прес-форми розплавом полімеру, і, тим самим, давали можливість спостерігати за процесом утворення спаїв та визначати місця їх розташування в готовому виробі. Недоліком згаданого комплексу розрахункових програм є те, що вони розроблені на основі скінчено-різницевого методу маркерів і комірок [9], який не здатний описувати рух рідини з вільною поверхнею в геометрично складних каналах. Цей недолік відсутній у методу скінчених елементів (МСЕ), що лежить в основі програмного комплексу Moldex 3D.

У ході досліджень із використанням програмного комплексу Moldex 3D було проаналізовано процес заповнення порожнини прес-форми розплавом полімеру при різних конфігураціях і розташуваннях впускних каналів. Завдяки чисельному моделюванню вдалося оцінити вплив параметрів розташування каналів на формування ліній спаю. Результати досліджень показали, що зміна відносного розташування впускних

каналів безпосередньо впливає на динаміку руху потоків розплаву (рис. 7). Це, у свою чергу, визначає місце утворення ліній спаю, їхню орієнтацію та довжину. У випадку виготовлення підшоши взуття було встановлено, що зміна положення впускних каналів дозволяє контролювати напрямок ліній спаю, що впливає на експлуатаційні властивості готового виробу. Зокрема, правильно обране розташування впускних каналів сприяє мінімізації ризику виникнення дефектів у найбільш навантажених зонах підшоши, покращуючи її міцність і довговічність. Таким чином, проведені дослідження підтвердили важливість оптимізації конструкції прес-форми та розташування впускних каналів для підвищення якості виробів, виготовлених із полімерних матеріалів.



**Рис. 7. Формування спаїв у системі Moldex 3D залежно від взаємного розташування впускних отворів:**  
 а – при стандартному розташуванні впускних отворів; б – при розташуванні впускних каналів у носковій і п'ятковій частині підшоши; в – асиметричне розташування впускних отворів (три з одного боку, один з іншого)

Як видно з рис. 7 розташування ліній спаю залежить від того, в якому місці потоки з'єднуються після вприску з різних впускних отворів. Якщо отвори розташовані на протилежних кінцях порожнини, лінії спаю з'являються в середині виробу (рис. 7 а). У випадку, якщо впускні отвори знаходяться близько один до одного, спаї утворюються ближче до місця вприску потоків (рис. 7 б). Асиметричне розташування впускних отворів (рис. 7 в) приводить до зміни орієнтації ліній спаю відносно діючого навантаження.

Так як лінії спаю є зонами зниження експлуатаційних властивостей виробів через меншу адгезію між потоками, то неправильне розташування впускних отворів може спричинити появу спаїв у місцях, що зазнають високих механічних навантажень, що суттєво знижує міцність та зносостійкість виробу. Зменшення кута між лінією спаю та напрямом дії навантаження (як на рис. 7 в) дозволяє підвищити міцність та зносостійкість виробів в процесі їх експлуатації.

Якщо у порожнині прес-форми є перешкоди (ребра жорсткості, вставки тощо), потоки обтікають їх, створюючи додаткові лінії спаю. Розташування впускних отворів впливає на те, де саме ці спаї виникнуть, і чи буде їхня орієнтація критичною для міцності виробу.

Отже, розробка конструкції прес-форми з оптимальним розташуванням впускних отворів може суттєво покращити якість виробів. Сучасні програмні комплекси, такі як Moldex 3D, дозволяють моделювати рух потоків полімеру і прогнозувати місця утворення ліній спаю залежно від розташування отворів.

### Висновки

Лиття під тиском є одним із найпоширеніших методів виготовлення виробів з полімерних матеріалів завдяки його високій продуктивності та здатності забезпечувати точність геометричних розмірів. Проте досягнення стабільної якості продукції залежить від ефективного налаштування технологічних режимів, таких як температура розплаву, тиск вприскування, швидкість заповнення форми тощо, та конструктивних параметрів прес-форм, таких як розташування впускних отворів, їх діаметр та довжина.

Використання програмного забезпечення Moldex3D дозволяє оптимізувати ці параметри, зменшуючи ймовірність дефектів і підвищуючи ефективність виробничого процесу. Моделювання процесу лиття під тиском у Moldex3D надає можливість детального аналізу різних стадій технологічного процесу: заповнення, охолодження, утримання під тиском і викидання виробу з форми. Завдяки інтеграції розрахунків теплових, гідродинамічних та механічних характеристик моделювання дозволяє значно скоротити витрати часу та ресурсів на експериментальне налаштування режимів.

Аналіз процесу заповнення форми за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Moldex 3D дозволяє виявити зони ризику, де можливе нерівномірне охолодження чи надмірна усадка. Моделювання температурних полів забезпечує можливість оптимізації системи охолодження. Регулювання температури розплаву та прес-форми допомагає уникнути надмірного перепаду температур, що є причиною локальної усадки.

Стадії витримки під тиском та охолодження є критичними етапами технологічного процесу лиття під тиском, які визначають кінцеву якість і точність готового виробу. Рівномірне охолодження та підтримання оптимальної температури прес-форми дозволяють мінімізувати ризик дефектів, таких як усадка, деформації та короблення. Удосконалення технологічних параметрів на цих етапах сприяє підвищенню ефективності виробництва та забезпеченню стабільної якості продукції.

Розташування впускних отворів суттєво впливає на місця утворення спаїв у готовому виробі, що є визначальним для отримання полімерних виробів із підвищеними експлуатаційними властивостями.

## Література

1. L. H. Sperling. Introduction to Physical Polymer Science / Wiley. John Wiley & Sons, LTD, 2006. – 880 с.
2. Seiffert, Sebastian. Physical Chemistry of Polymers: A Conceptual Introduction, Berlin, Boston: De Gruyter, 2020. – 217 p. <https://doi.org/10.1515/9783110672817>.
3. Синюк О. Моделювання процесу заповнення в'язкою рідиною порожнини прес-форми для лиття деталей взуття / О. Синюк, О. Поліщук, О. Кунцов // Вісник Хмельницького національного університету, № 3, Т 1, 2024 (335). – С. 472-479 <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-65>.
4. Синюк О.М. Експериментальне дослідження процесу утворення спаїв та впливу орієнтації спаїв на експлуатаційні властивості полімерних виробів / О.М. Синюк, М.Є. Скиба // Вісник Хмельницького національного університету, 2005. – № 4. – Ч. 1. – Т. 2. – С. 245-248
5. Синюк О. М. Удосконалення прес-форм для лиття деталей взуття: Дис... канд. техн. наук: 05.05.10 / Технологічний ун-т Поділля. - Хмельницький, 2002. – 157 с.
6. Corey Lynam. Abbas S. Milani, Guide to Modeling Thermoplastic Composite Manufacturing Processes: Optimizing Process Variables and Tooling Design Using Finite Element Analysis / DEStech Publications, Inc, 2014. – 94 p.
7. Vincent David Gingery. Secrets of Building a Plastic Injection Molding Machine / David J Gingery; First Edition, 1997. – 127 p.
8. David O. Kazmer. Injection Mold Design Engineering 2E 2nd Edition / Hanser Publications; 2nd edition, 2016. – 529 p.
9. Синюк О. Numerical simulation of viscoprelie liquid flow with integral rheological law in flat or cylindrical channels / International scientific journal«Computer systems and information technologies», (1), 2020. – P. 13–21 <https://doi.org/10.31891/CSIT-2020-1-2>.

## References

1. L. H. Sperling. Introduction to Physical Polymer Science / Wiley. John Wiley & Sons, LTD, 2006. – 880 s.
2. Seiffert, Sebastian. Physical Chemistry of Polymers: A Conceptual Introduction, Berlin, Boston: De Gruyter, 2020. – 217 p. <https://doi.org/10.1515/9783110672817>.
3. Syniuk O. Modeliuvannia protsesu zapovnennia viazkoiu ridynoiu porozhnyni pres-formy dlia lyttia detalei vzuttia / O. Syniuk, O. Polishchuk, O. Kuntsov // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, № 3, T 1, 2024 (335). – S. 472-479 <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-65>.
4. Syniuk O.M. Eksperymentalne doslidzhennia protsesu utvorennia spaiv ta vplyvu orientatsii spaiv na ekspluatatsiini vlastyvoli polimerykh vyrobiv / O.M. Syniuk, M.Ie. Skyba // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 2005. – № 4. – Ch. 1. – T. 2. – S. 245-248
5. Syniuk O. M. Udoskonalennia pres-form dlia lyttia detalei vzuttia: Dys... kand. tekhn. nauk: 05.05.10 / Tekhnolohichnyi un-t Podillia. - Khmelnytskyi, 2002. – 157 s.
6. Corey Lynam. Abbas S. Milani, Guide to Modeling Thermoplastic Composite Manufacturing Processes: Optimizing Process Variables and Tooling Design Using Finite Element Analysis / DEStech Publications, Inc, 2014. – 94 p.
7. Vincent David Gingery. Secrets of Building a Plastic Injection Molding Machine / David J Gingery; First Edition, 1997. – 127 p.
8. David O. Kazmer. Injection Mold Design Engineering 2E 2nd Edition / Hanser Publications; 2nd edition, 2016. – 529 p.
9. Syniuk O. Numerical simulation of viscoprelie liquid flow with integral rheological law in flat or cylindrical channels / International scientific journal«Computer systems and information technologies», (1), 2020. – P. 13–21 <https://doi.org/10.31891/CSIT-2020-1-2>.