

ІНФОРМАЦІЙНІ ПРОГРАМИ ТА КОМП'ЮТЕРНО- ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 678.027.74

DOI: 10.31471/1993-9965-2020-2(49)-91-105

КОМП'ЮТЕРНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРЕСФОРМ ДЛЯ ЛИТВА ТЕРМОПЛАСТІВ

¹Л. О. Борушак*, ¹І. О. Шуляр, ¹Н. В. Ільків, ²С. В. Окрепкий

¹ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 72-71-26,
e-mail: xrystyk97@gmail.com

²ТОВ Данея; 76018, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Микитинецька, 7а, тел. (0342)- 72-32-54,
e-mail: okrepkiy@ukr.net

Робота присвячена проблемі якісного охолодження пресформ для отримання виливків з термопластів, які характеризуються значними коефіцієнтами об'ємного і лінійного термічного розширення, здатністю ущільнюватися в розплавленому стані. Зміна об'єму розплаву термопластів і, відповідно, якісні характеристики виробу першочергово залежать від температурного режиму пресформи. Останній передбачає необхідні температуру, швидкість нагрівання та швидкість охолодження пресформи. В свою чергу, вказані параметри частково визначають і тиск термопласту в робочому об'ємі. Швидкість нагрівання та швидкість охолодження пресформи визначається насамперед розмірами і конфігурацією каналів системи охолодження пресформи. Вдосконалення конструкції каналів системи охолодження експериментальним шляхом вимагає значних витрат матеріалів, часу та коштів. Авторами статті запропоновано методику оптимізації конструкції системи охолодження пресформ з використанням комп'ютерних технологій 3D-моделювання в середовищі Solid Works та термодинамічних досліджень з використання методу скінченних елементів у програмі ANSYS. В першій частині роботи створено декілька варіантів віртуальних моделей основних конструктивних частин пресформи для лиття тонкостінного реального виробу з термопласту: матриць, пуансонів та монтажних плит. При цьому витримано основні конструктивні розміри пресформи і зроблено необхідні спрощення конструкції (видалено надписи, клейма) з метою економії ресурсів при виконанні термодинамічних досліджень. Відмінності між моделями полягали в різній конфігурації каналів водяного охолодження – прямолінійних, V- та W-подібних. Вказані дослідження виконувались в пакеті Transient Thermal. Основним завданням цих досліджень було визначення характеру поширення теплових полів у об'ємі матриці. Вихідні дані для досліджень – температура пресформи, температура і об'ємна подача охолоджуючої рідини у всіх дослідках однакові. За результатами комп'ютерних досліджень встановлено, що у системі охолодження з W-подібними каналами охолодження вилівка з термопласту відбувається найбільш рівномірно, про що свідчить конфігурація теплових полів у матриці та пуансоні. За матеріалами проведених досліджень була виготовлена пресформа. Результати випробувань підтвердили ефективність застосування комп'ютерних досліджень в технологіях литва пластмас.

Ключові слова: термопласт, розплав, пресформа, матриця, пуансон, монтажна плита, тепловий режим, система охолодження, об'ємна подача, теплове поле, метод скінченних елементів, термодинамічні дослідження.

Работа посвящена проблеме качественного охлаждения прессформ для получения отливок из термопластов, которые характеризуются значительными коэффициентами объемного и линейного термического расширения, способностью уплотняться в расплавленном состоянии. Изменение объема расплава термопластов и, соответственно, качественные характеристики изделия первоначально зависят от температурного режима прессформы. Последний предусматривает необходимые температуру, скорость нагрева и скорость охлаждения прессформы. В свою очередь, указанные параметры частично определяют и давление термопласта в рабочем объеме. Скорость нагрева и скорость охлаждения прессформы первоначально определяется размерами и конфигурацией каналов системы охлаждения прессформы. Усовершенствование конструкции каналов системы охлаждения экспериментальным путем требует существенных затрат материалов, времени и средств. Авторами статьи предложена методика оптимизации конструкции системы охлаждения прессформы с использованием компьютерных технологий 3D-моделирования в среде Solid Works и термодинамических исследований с использованием метода конечных элементов в программе ANSYS. В первой части работы создано несколько вариантов виртуальных моделей основных конструктивных частей прессформы для литья тонкостенного реального изделия из термопласта: матрицы, пуансонов и монтажных плит. При этом выдержаны основные конструктивные размеры прессформы и сделаны необходимые упрощения конструкции (удалены надписи, клейма) с целью экономии ресурсов при выполнении термодинамических исследований. Различия между моделями заключались в разной конфигурации каналов водяного охлаждения – прямолинейных, V- и W-образных. Указанные исследования выполнялись в пакете Transient Thermal. Основной задачей этих исследований было определение характера распространения тепловых полей в объеме матрицы. Исходные данные для исследований – температура прессформы, температура и объемная подача охлаждающей жидкости во всех опытах одинаковы. Результатами компьютерных исследований установлено, что в системе охлаждения с W-образными каналами охлаждение отливки из термопласта происходит наиболее равномерно, о чем свидетельствует конфигурация тепловых полей в матрице и пуансоне. По материалам проведенных исследований была изготовлена прессформа. Результаты испытаний подтвердили эффективность применения компьютерных исследований в технологиях литья пластмасс.

Ключевые слова: термопласт, расплав, прессформа, матрица, пуансон, монтажная плита, тепловой режим, система охлаждения, объемная подача, тепловое поле, метод конечных элементов, термодинамические исследования.

The work analyses the problem of high-quality cooling of molds for obtaining castings from thermoplastics, which are characterized by significant coefficients of volumetric and linear thermal expansion, the ability to compact in the molten state. The change in the volume of the thermoplastic melt and, accordingly, product quality characteristics primarily depend on the mold temperature mode. The latter provides for the required temperature, heating rate and cooling rate of the mold. In turn, these parameters partially determine the pressure of the thermoplastic in the working volume. The heating rate and cooling rate of the mold are primarily determined by the dimensions and configuration of the channels of the mold cooling system. Experimental improvement of the design of the cooling system channels requires significant expenditures of materials, time and money. The authors of the article proposed a method for optimizing the design of a mold cooling system using computer technologies for 3D modeling in the Solid Works environment and thermodynamic studies using the finite element method in the ANSYS program. In the first part of the work, several versions of virtual models of the main structural parts of a mold for casting a thin-walled real product from a thermoplastic were created: dies, punches and mounting plates. At the same time, the main structural dimensions of the mold were maintained and necessary structural simplifications were made (inscriptions, stamps were removed) in order to save resources when performing thermodynamic studies. The differences between the models were in the different configurations of the water cooling channels - straight, V- and W-shaped. These studies were carried out in the Transient Thermal package. The main task of these studies was to determine the nature of the propagation of thermal fields in the volume of the matrix. Initial data for research - mold temperature, temperature and volumetric supply of coolant in all experiments are the same. The results of computer studies have shown that in a cooling system with W-shaped channels, the cooling of a thermoplastic casting occurs most uniformly, as evidenced by the configuration of thermal fields in the die and the punch. Based on research materials, a mold was made. Test results have confirmed efficiency of computer research in plastic molding technologies.

Key words: thermoplastic, melt, mold, die, punch, mounting plate, thermal conditions, cooling system, volumetric supply, thermal field, finite element method, thermodynamic studies.

Вступ

Виготовлення деталей з термопластів шляхом литва у термопластавтоматах є доволі складним і примхливим процесом, а якість виливків залежить від багатьох факторів. Одним з найважливіших факторів є температурний ре-

жим пресформи, який суттєво впливає на заповнення форми, вирівнювання внутрішніх напружень і в першу чергу залежить від конструкції каналів системи охолодження. Це обґрунтовано тим, що кристалічні термопласти вкрай чутливі до зміни швидкості охолодження. При

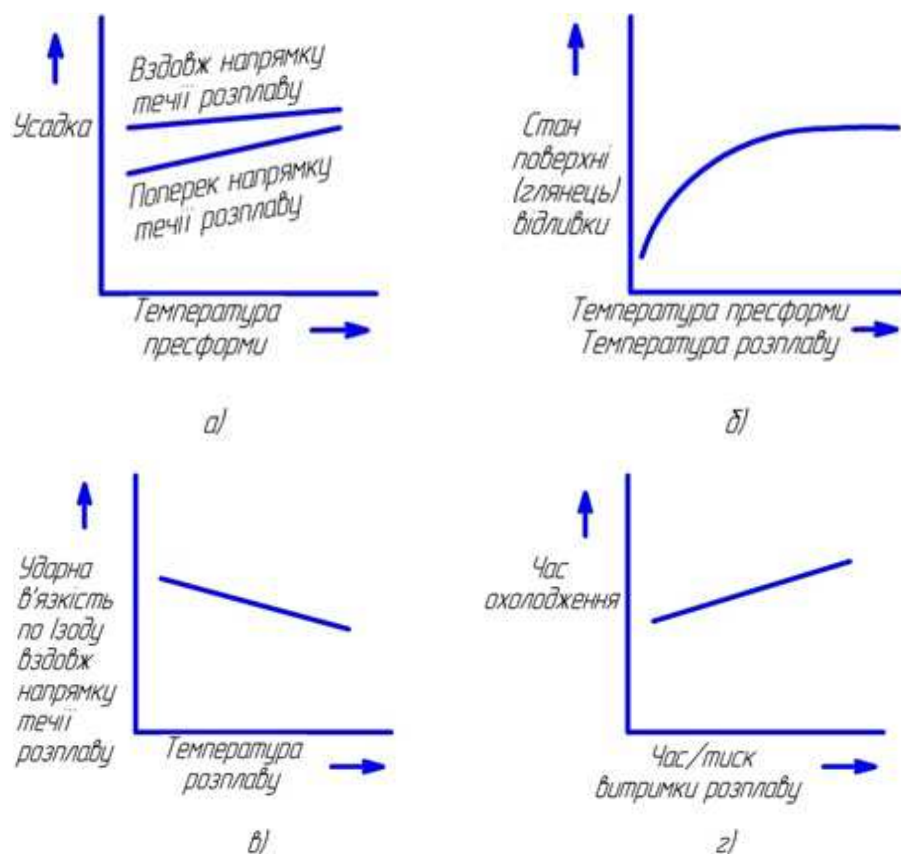


Рисунок 1 – Типові діаграми впливу технологічних параметрів процесу лиття під тиском на характеристики виливків із термопластів

затвердінні розплаву макромолекулярні ланцюги утворюють щільні структури (так звані надмолекулярні утворення). Щільність і усадка цих структур збільшуються зі збільшенням ступеня кристалічності матеріалу. Нерівномірність охолодження пресформи виникає, коли локальні температури на внутрішній формуючій поверхні пресформи трохи відрізняються. Це стосується, перш за все, місць навколо знаків, зон внутрішніх і зовнішніх кутів порожнини, місць поблизу впускних ливників, а також до областей, де змінюється поперечний переріз стінок деталі. Наявність «гарячих плям» викликає проблеми, пов'язані з локальним збільшенням ступеня кристалізації і збільшення чи зменшення часу охолодження (та частина деталі, яка охолоджується найпізніше, має більшу усадку). Проектування пресформи та її вдосконалення в умовах виробництва є дорогим і тривалим процесом.

Авторами статті спроектовано пресформу для литва термопласту та оптимізовано конструкцію її системи охолодження із застосуванням методу скінченних елементів та комп'ютерних технологій досліджень.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Модифікація конструкції пресформи є досить ефективним засобом покращення якості виливків, хоча й більш дорогим, ніж зміна технологічних параметрів. Проте цей підхід економічно виправданий, якщо поліпшення якості виготовлених деталей компенсує витрати, пов'язані зі збільшенням тривалості циклу лиття [1, 3].

За необхідності забезпечення високоточних допусків на розміри виготовлених виливків слід застосовувати першокласні термопластавтомати з належним чином каліброваними системами управління температурою і тиском. Вплив різних технологічних параметрів процесу лиття на різні якісні характеристики виливків показано на кількох типових діаграмах (рис. 1) [3, 4].

На діаграмі (а) показано вплив зміни температури пресформи на величини поздовжньої і поперечної усадок. При підвищених температурах збільшується тривалість часу, протягом якого може відбуватися порушення орієнтації макромолекул матеріалу і релаксації внутрішніх напружень у виливку. При литті під тиском частково кристалічних термопластів під-

вищення температури пресформи призводить до збільшення тривалості часу, протягом якого може відбуватися кристалізація термопласта, внаслідок чого усадка збільшується.

Підвищені температури розплаву і пресформи, як впливає з діаграми (б), сприяють збільшенню часу, протягом якого розплав може більш точно «сприйняти» конфігурацію формуючої порожнини пресформи. В результаті цього досягається більш високий глянець поверхні деталі. З діаграми (в) видно, що збільшення температури розплаву впливає на ударну в'язкість, визначену в ході випробувань за Ізодом. З одного боку, збільшення часу впливу на розплав високих температур може призвести до деструкції і погіршення характеристик полімеру, з іншого боку, при деяких умовах підвищена температура розплаву призводить до збільшення ступеня орієнтації макромолекул матеріалу (і до збільшення величини внутрішніх напружень у виливку). У цих випадках макромолекулярна структура термопласту стає менш стійкою до ударних навантажень, які можуть призвести до розриву макромолекулярних зв'язків (матеріал стає більш крихким).

Поліпропілен характеризується порівняно високою ударною в'язкістю за Ізодом [1,12,13], і ця властивість стала причиною його широкого застосування в якості матеріалу для виготовлення, наприклад, багатьох деталей машинобудування, зокрема нафтогазового. Якщо матеріал характеризується низькою ударною в'язкістю за Ізодом, то це означає, що він мало видовжується при розтягуванні до моменту розриву. Очевидно, що для успішного виготовлення деталей, що зазнають пружних деформацій, слід застосовувати поліпропілен, що характеризується більш високим відносним видовженням при розриві. На діаграмі (г) показано, що збільшення тиску і часу ущільнення приводить до збільшення часу охолодження виливка у замкненій пресформі, тому що при цьому збільшується кількість маси, впоркнutoї у формуючу порожнину. З діаграми (д) впливає, що з підвищенням температури розплаву зменшується рівень внутрішніх напружень в матеріалі при заповненні форми, оскільки знижується в'язкість матеріалу. При більш високій температурі розплаву збільшується тривалість часу, протягом якого ці внутрішні напруження можуть релаксувати (тобто до моменту повного затвердіння маси виливка у формі). Завдяки низькому рівню внутрішньої напруги матеріал менш схильний до деформації під впливом високих температур: іншими словами, чим вище

температура розплаву, тим вищою є деформаційна теплостійкість.

Дослідження останніх років [2,3,5,6], спрямовані на вивчення процесів охолодження пресформ залежно від їх матеріалів, конфігурації охолоджуючих каналів, проводились у середовищі Autodesk Simulation Moldflow Insight 2013. Дослідники переважно акцентують свою увагу на конфігурації та розмірах ливників, розміщенні ливарної порожнини в об'ємі пресформи тощо. В літературі подаються цікаві результати по дослідженню заповнення пресформи термопластом, вивченню його застигання і утворення дефектів [3,4,5,7]. Однак, при литві великогабаритних тонкостінних деталей конфігурація і розміри каналів охолодження пресформи та їх віддаленість від робочих порожнин суттєво визначають характер теплових потоків – їхню рівномірність та інтенсивність і, відповідно, процес застигання термопласту. Опрацьовані нами джерела не дають вичерпної інформації з вказаного питання.

Постановка мети і завдань дослідження

Огляд літературних джерел виділив можливі напрями досліджень для покращення якості виливків з термопластів. Одним з таких напрямів є проблема оптимізації конструкції каналів системи охолодження пресформи. Зокрема певні проблеми виникають при виготовленні виливків, що мають специфічну конфігурацію окремих елементів, насаперед наявність тонких стінок при порівняно значних габаритах деталі.

Сучасні комп'ютерні технології моделювання та застосування методу скінченних елементів дозволяють створити довільні варіанти машинобудівних конструкцій та провести статичні, динамічні, та термічні дослідження.

Таким чином, метою нашого дослідження є оптимізація конструкції каналів системи охолодження для отримання рівномірного і стабільного процесу теплообміну в об'ємах пресформи, прилеглих до поверхні виливка [11,12].

Досягнення поставленої мети можливе з вирішенням наступних завдань:

- 3D моделювання кількох варіантів конструкції системи охолодження пресформи в програмі Solid Works;
- дослідження процесів теплообміну в системі „виливок – пресформа” за допомогою методу скінченних елементів (програма ANSYS, пакет Transient Thermal);
- аналіз отриманих результатів для визначення оптимального варіанту конструкції каналів охолодження.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Створення комп'ютерних моделей у програмі Solid Works

Канали охолодження, призначені для відведення тепла, повинні бути розміщені так, щоб забезпечити рівні швидкості охолодження різних частин деталі і ливникової системи. Якщо деталь має поперечні перерізи різної товщини, інтенсивність охолодження потовщених ділянок повинна бути збільшена для того, щоб зрівняти швидкість охолодження з тонкими перетинами [4,7]. Проблемі охолодження пуансонів і зовнішніх кутів оформлюючих знаків повинна бути приділена найбільша увага, оскільки ці зони вимагають посиленого відведення тепла. З цією метою можуть бути використані фонтануючі трубки або матеріали з високою теплопровідністю.

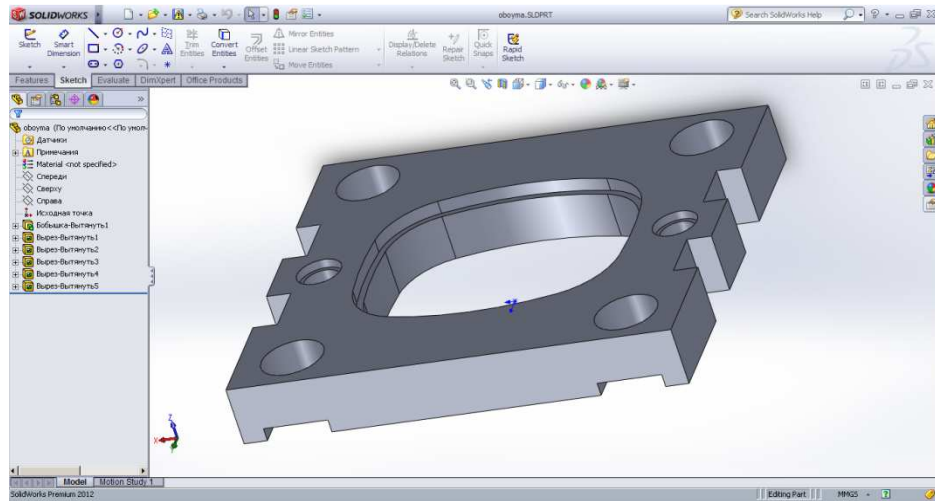
Процес побудови 3D-моделі в програмі SolidWorks базується на створенні об'ємних геометричних елементів і виконанні різних операцій над ними (рис. 2) [14].

Для подальших теплових досліджень даного зразка пресформи необхідно спростити деякі вузли. В нашому випадку ми забрали відбиток торгового знаку та залишок ливника.

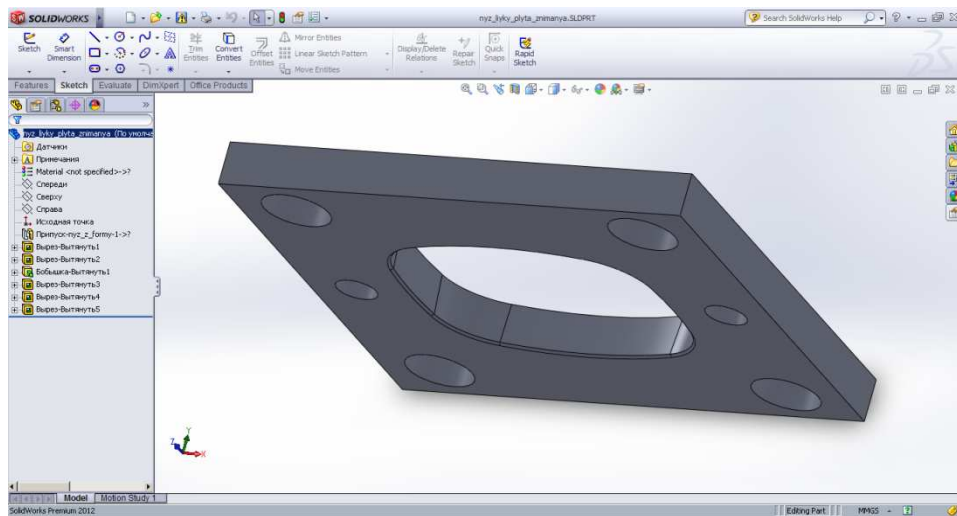
Наступним кроком у спрощенні є об'єднання кількох вузлів в один (рис. 3).

Тут об'єднано три деталі в одну, а саме: обойму пуансона, плиту знімання та пуансон.

Після усіх спрощень потрібно зробити збірку матриці, що ми робимо за допомогою функції програми SolidWorks: assembly => Mate (рис. 4). Основною проблемою при збірці є те, що потрібно задати такі зв'язки, щоб потім не виникло інтерференції.



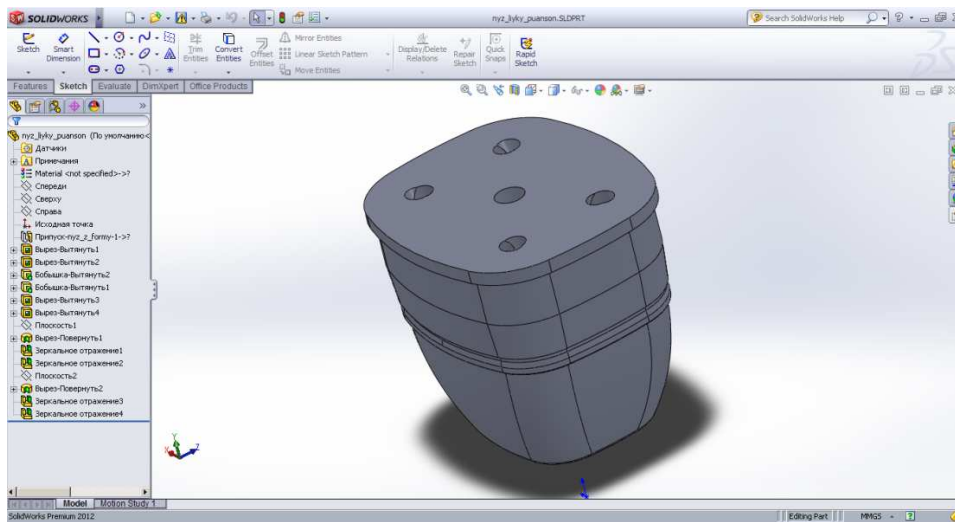
а)



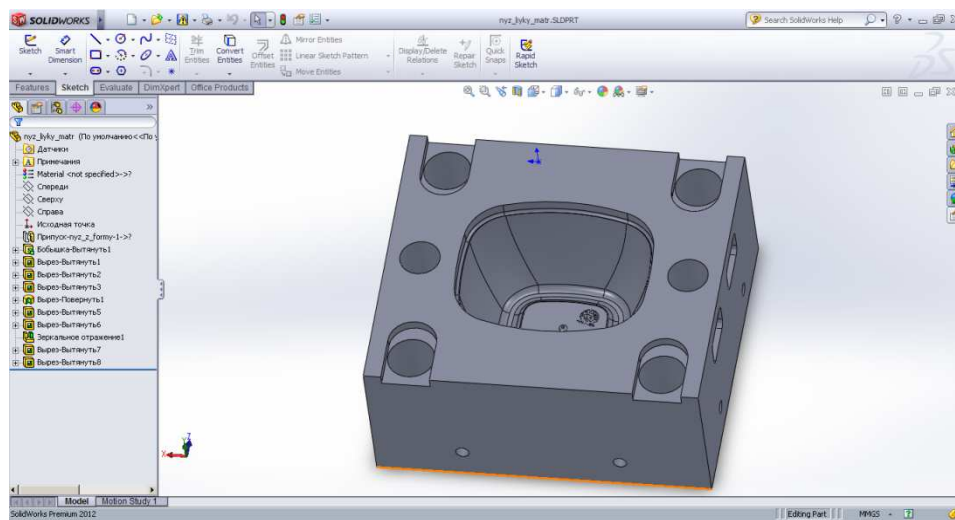
б)

а – плита знімання; б – обойма пуансона

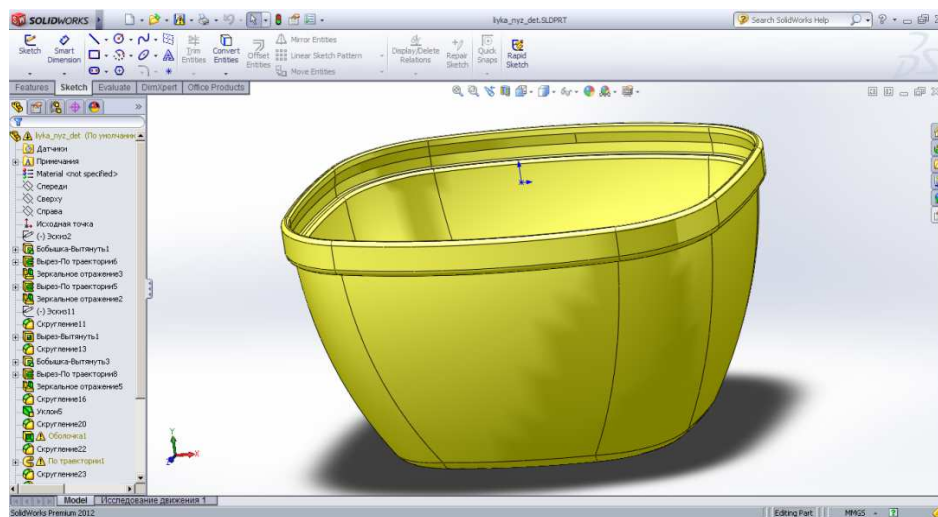
Рисунок 2 – Деталі пресформи, створені в програмі SolidWorks



В)



Г)



Д)

в – пуансон; г – матрица; д – виликов

Продовження рисунка 2

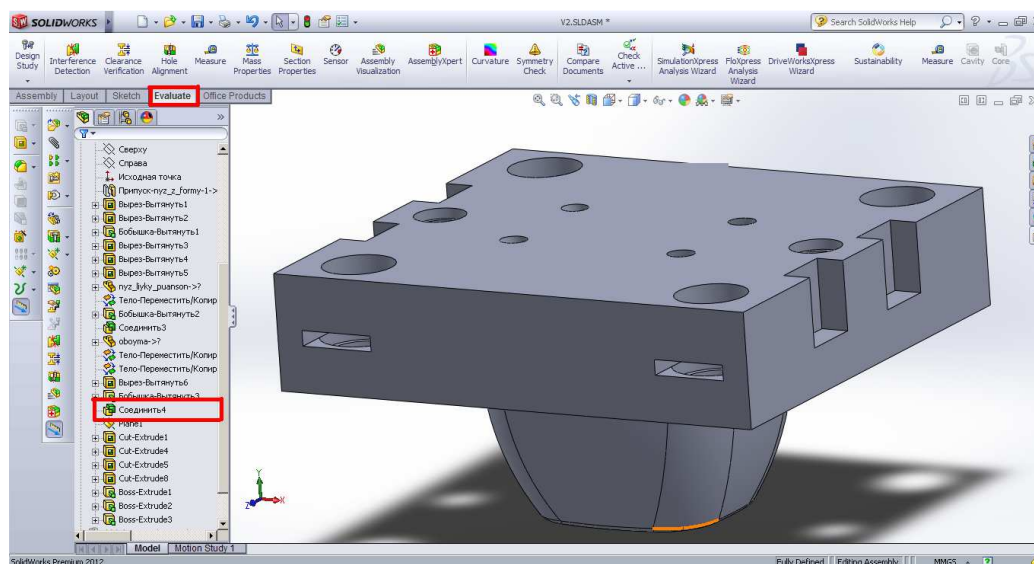


Рисунок 3 – Об'єднання кількох вузлів в один

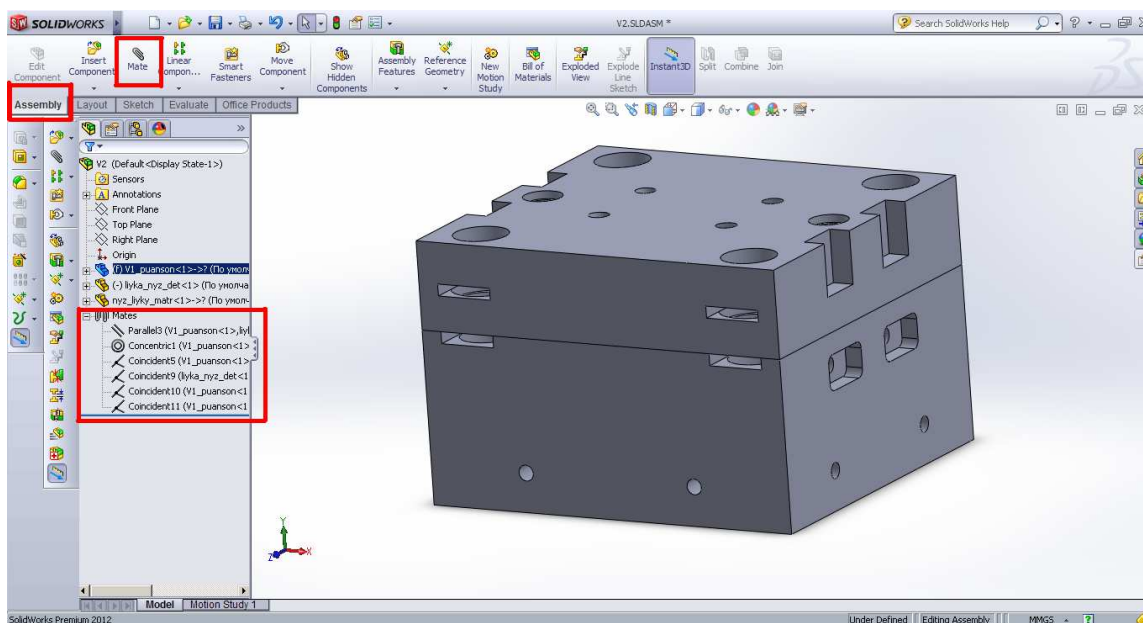


Рисунок 4 – Збірка пресформи

Дослідження пресформи в програмі ANSYS

На початковому етапі в пакет програмі ANSYS імпортується 3Д-модель збірки пресформи. Після цього перевіряємо, чи всі деталі збірки імпортувалися і вибираємо систему аналізу. Для аналізу теплового стану будемо використовувати систему аналізу Transient Thermal [15].

Після виконання всіх вище перлічених кроків і отримання позитивних результатів імпортуємо збірку в середовище ANSYS для проведення подальших досліджень (рис. 5).

Обов'язковим кроком є перевірка області контакту деталей пресформи між собою, їх правильність.

Наступним кроком є створення сітки елементів у об'ємі моделі. Розміри елементів для охолоджуючих каналів та виробу – 0,009 м, для решти елементів пресформи (рис. 6) – 0,01 м. Вибраний розмір елементів є достатнім для проведення якісного аналізу характеру поширення тепла у пресформі. Зменшення розміру елементів суттєво не підвищить точність конфігурації зрізів теплових полів і значно знизить швидкість розрахунків.

На наступному етапі вибираємо варіант закономірності зміни температури виливка у часі.

Температуру для виливка задаємо табличним методом в залежності від часу, а для системи охолодження постійною температурою (рис. 7).

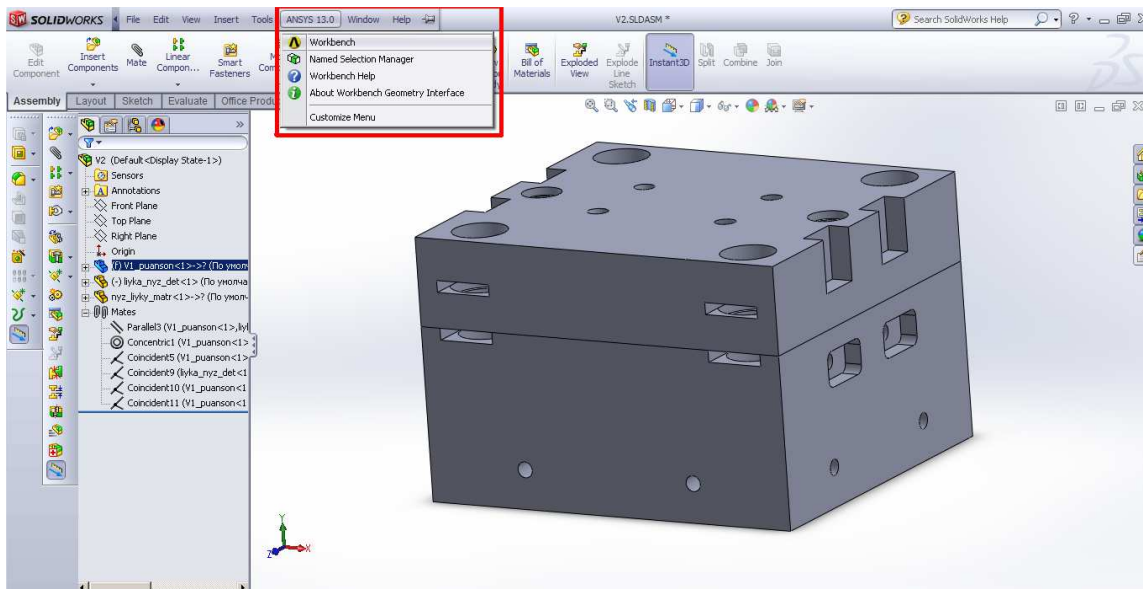


Рисунок 5 – Імпорт збірки в програму Ansys

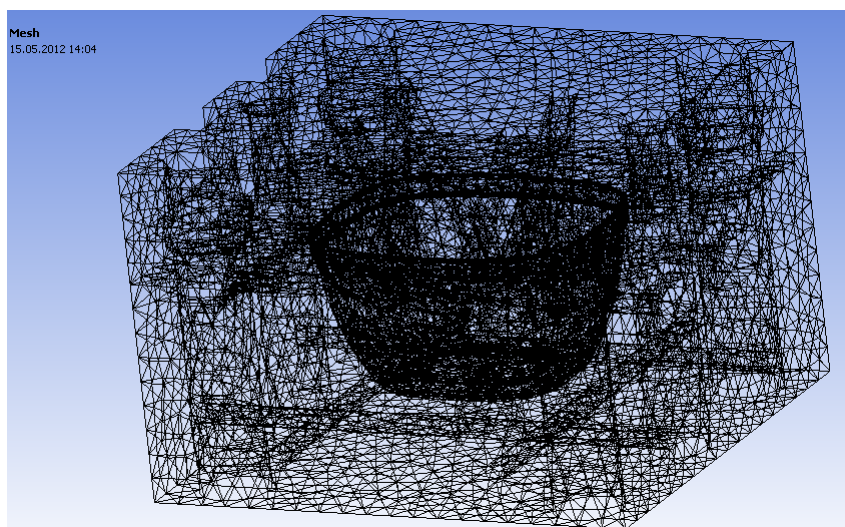


Рисунок 6 – Зображення пресформи після мешу

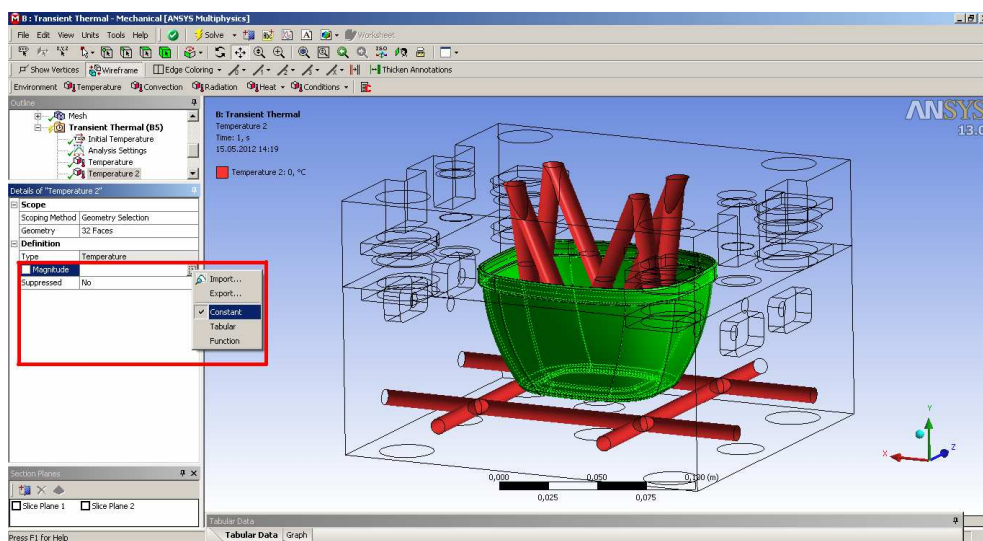


Рисунок 7 – Методика задання температури системи охолодження пресформи

Для проведення розрахунків задаємо коефіцієнт теплопередачі вилівка за допомогою функції *Transient Thermal (B5) => insert => Convection*. Спершу вибираємо геометрію деталі, для якої будемо вводити дані, та обираємо методику задання коефіцієнта теплопередачі. Він змінюється у часі в залежності від температури. Чим менша температура вилівка, тим менший коефіцієнт теплопередачі. Після задання всіх потрібних параметрів проводимо розрахунок і отримуємо результати.

Дослідження теплообміну за допомогою програми ANSYS

Кінцевою метою досліджень є отримання графічного зображення динаміки розповсюдження теплових полів у складальних частинах пресформи.

Отримання таких даних дасть нам наступні переваги при підготовці виробництва:

- дослідити процес охолодження пластмасового вилівка і встановити зв'язок між протіканням теплових процесів за один цикл виготовлення виробу та характером і кількістю можливих дефектів;

- дослідити вплив схеми охолодження конструктивних частин на характер теплових полів з метою оптимізації конструкції пресформи;

- оптимізація характеру теплових полів в результаті забезпечує практичне усунення браку вилівок у термопластавтоматах за рахунок зниження рівня термічних напружень.

Оптимізація технологічного процесу дозволить уникнути таких дефектів:

- зморшки і складки на стінках готового виробу;

- різнотовщинність виробу;

- утворення пухирів;

- недооформлення виробу;

- прилипання матеріалу до форми;

- зміна кольору листа;

- білий відтінок у перетині відформованого виробу, що свідчить про порушення суцільності матеріалу виробу;

- жолоблення виробу.

При проведенні досліджень було розглянуто декілька варіантів конструкції каналів системи охолодження. Перший варіант – перехресне охолодження в пуансоні (рис. 8) та в матриці (рис. 9). На рисунках зображені температурні поля при охолодженні вилівка відповідно через дві, дев'ять та чотирнадцять секунд після подачі рідини.

Другий варіант – в подібне охолодження в пуансоні варіант 1 (рис. 10).

Третій варіант – в подібне охолодження в пуансоні та перехресне охолодження в матриці (рис. 11).

Отже, як видно з ілюстрацій, найкращим варіантом конструкції системи охолодження є третій варіант, оскільки при таких охолоджуючих каналах вилівок охолоджується найрівномірніше по всьому об'єму.

Практична реалізація результатів дослідження

Аналіз отриманих результатів комп'ютерних досліджень дозволив визначити оптимальну, з точки зору динаміки процесу литва виробу і технології виготовлення пресформи, конфігурацію каналів охолодження у матриці і пуансоні. Встановлено, що такою є W-подібна подвійна в пуансоні та перехресна контурна в матриці.

За цими рекомендаціями було виготовлено вказані елементи пресформи і впроваджено технологічний процес литва виробу “низ лійки”.

Візуальне обстеження та контроль виробу засвідчили, що показники якості задовольняють вимогам органів державної сертифікації продукції. Особливу увагу при обстеженні та контролі було звернено на величину деформації окремих елементів виробу та його усадки. Також було виявлено задовільну рівномірність структури термопласту в усьому об'ємі вилівка.

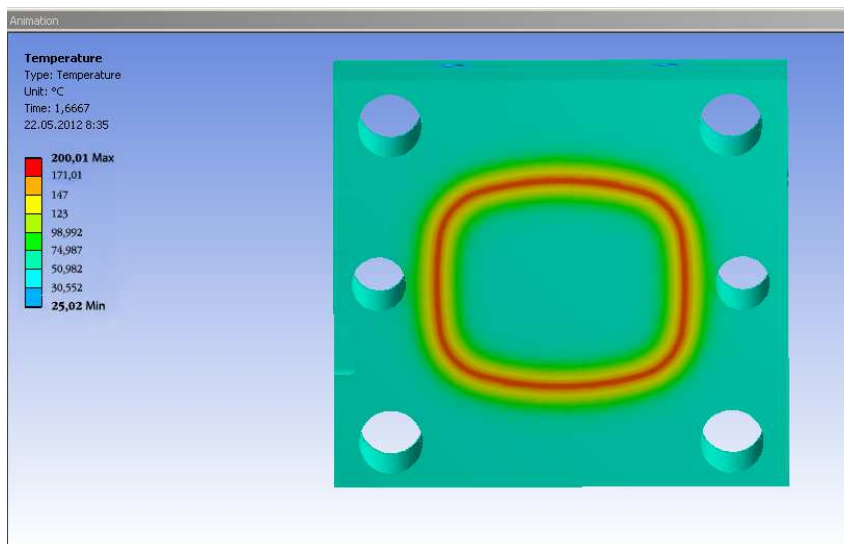
Висновки

В програмі SolidWorks створені моделі предмету досліджень, які стали базою для комп'ютерного дослідження процесу литва термопластів.

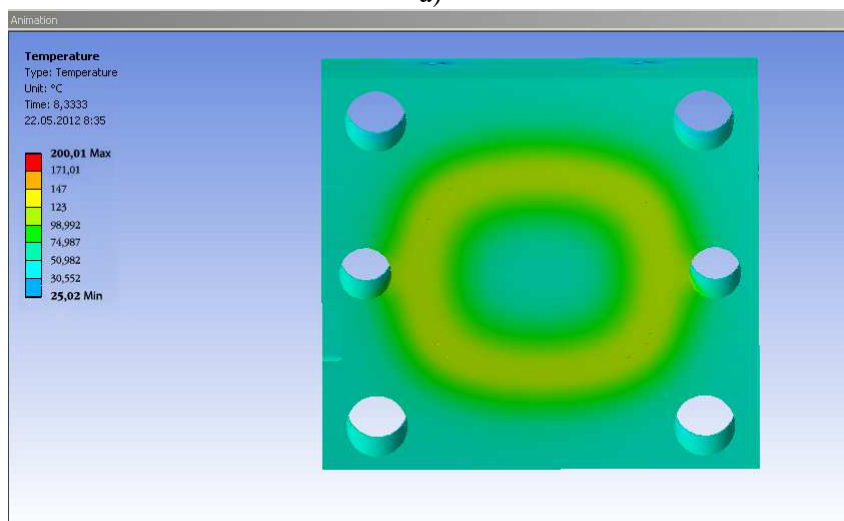
В програмі ANSYS досліджено динаміку теплових процесів у системі вилівок – пресформа та відображено перебіг цих процесів у часі.

За отриманими результатами комп'ютерних досліджень визначено оптимальну, з точки зору динаміки процесу литва виробу і технології виготовлення пресформи, конфігурацію каналів охолодження у матриці і пуансоні.

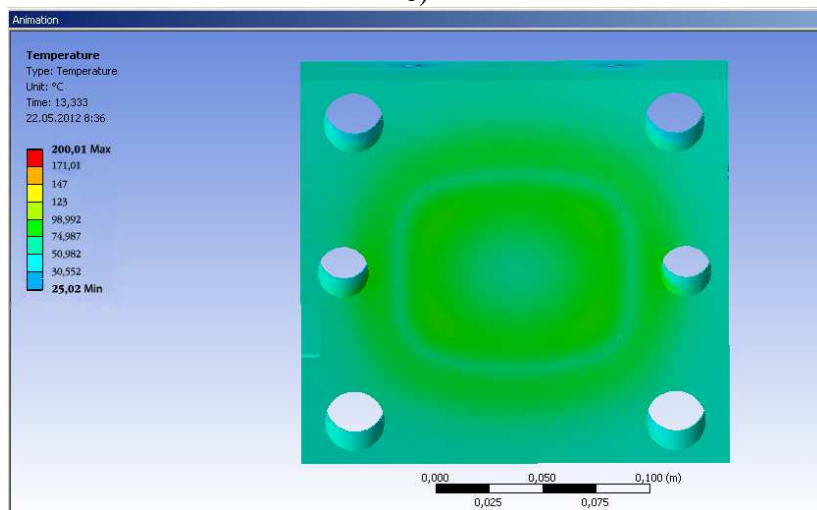
Конструкцію пресформи реалізовано на практиці. Продукція, отримана з використанням нової пресформи, практично не мала браку і відповідала стандартам якості.



а)



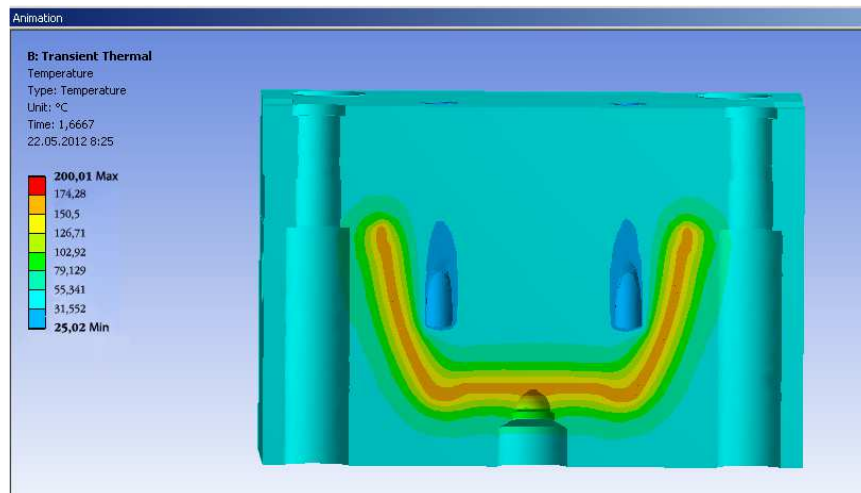
б)



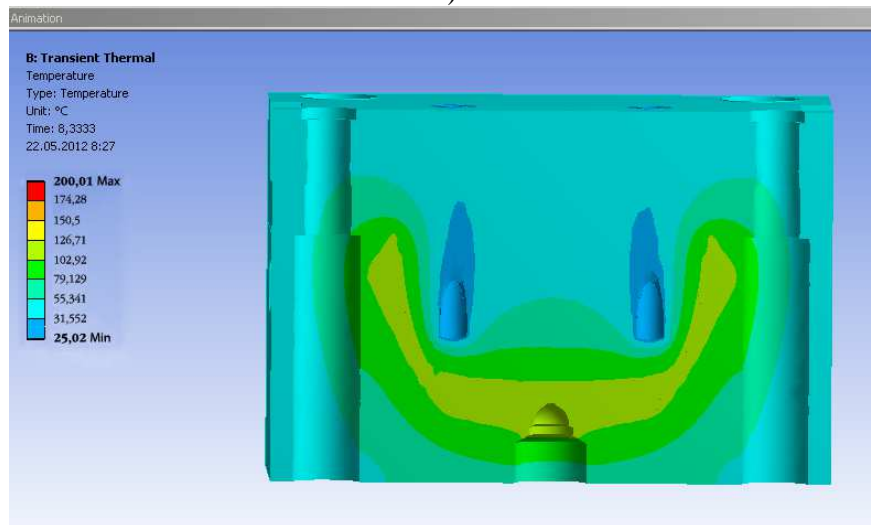
в)

а – друга секунда; б – дев'ята секунда; в – чотирнадцята секунда

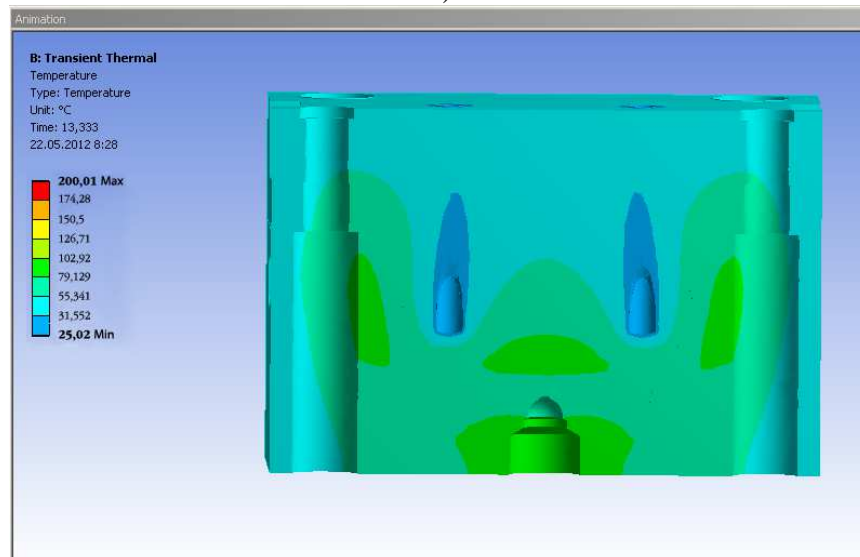
Рисунок 8 – Послідовність поширення теплових полів (горизонтальний зріз) у пресформі при охолодженні виливка



а)



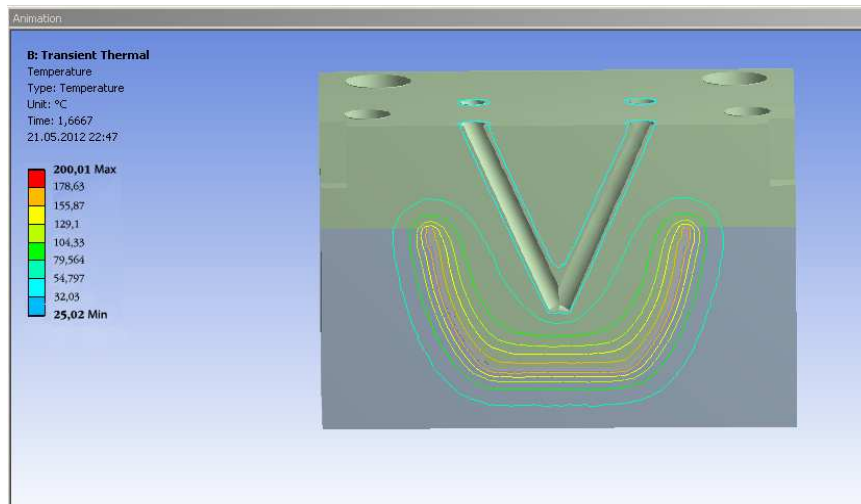
б)



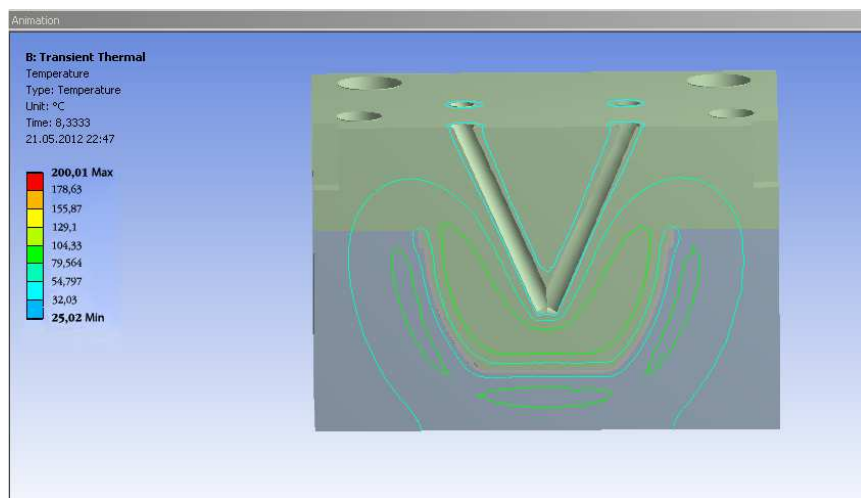
в)

а – друга секунда; б – дев'ята секунда; в – чотирнадцята секунда

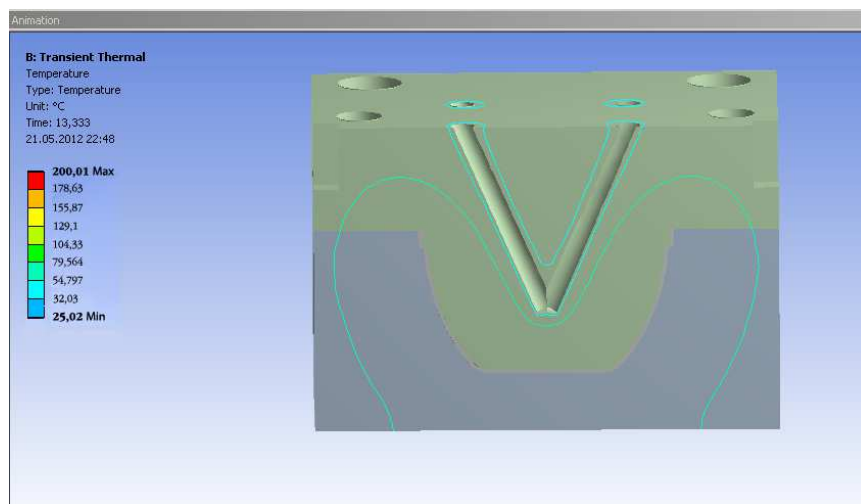
Рисунок 9 – Послідовність поширення теплових полів у пресформі (вертикальний зріз) при охолодженні виливка



а)



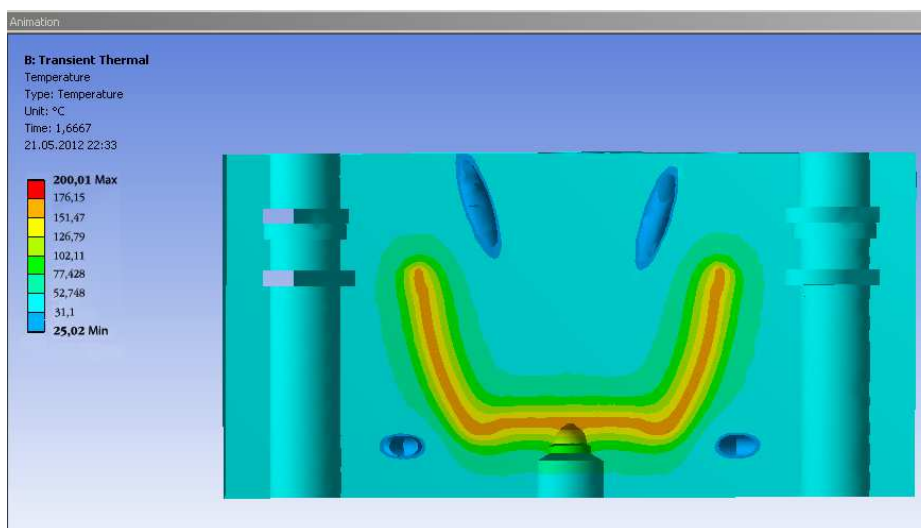
б)



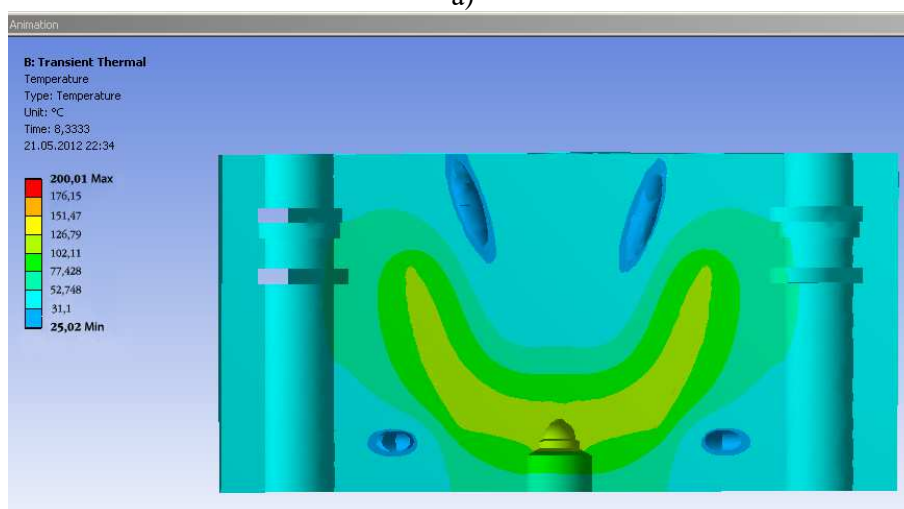
в)

а – друга секунда; б – дев'ята секунда; в – чотирнадцята секунда

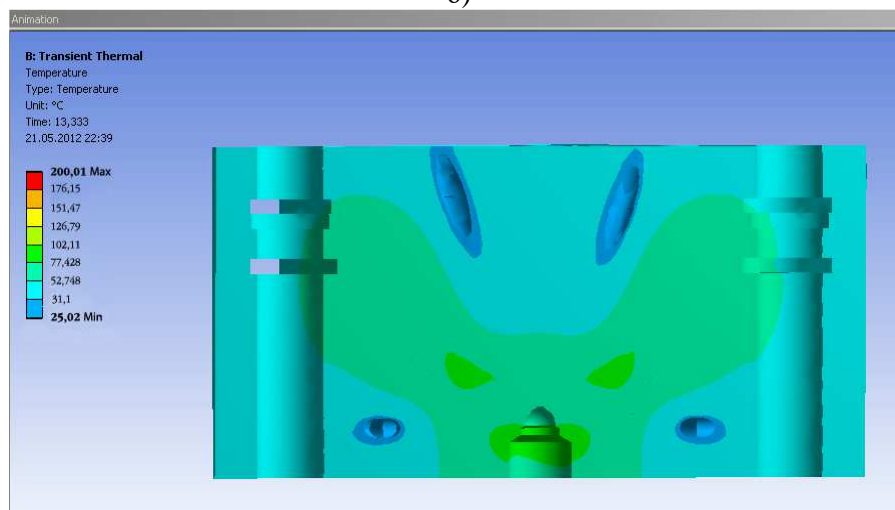
Рисунок 10 – Послідовність поширення теплових полів при охолодженні вилівка



а)



б)



в)

а – друга секунда; б – дев'ята секунда; в – чотирнадцята секунда

Рисунок 11 – Послідовність поширення теплових полів при охолодженні виливка з комбінованим розташуванням каналів у пуансоні та матриці



Рисунок 12 – Пресформа деталі “низ лійки”

Література

1. Липатов Ю.С. Будущее полимерных композиций. Киев: Наук. Думка, 1984. 135 с.
2. Барвинский И.А., Барвинская И.Е. Компьютерный анализ литья термопластов: основы анализа охлаждения пресс-формы: Методические материалы. М.: ЗАО "СиСофт", 2013. 178 с.
3. Барвинский И. 3D-расчеты литьевых форм для литья термопластов под давлением. *Современные технологии производства и эксплуатации пресс-форм*: Семинар; Международная выставка РОСМОЛД. Москва. 24 июня 2015 г. Препринт.
4. Барвинский И.А., Барвинская И.Е. Компьютерный анализ литья термопластов. Основы анализа усадки и коробления литьевого изделия. М.: ООО "Инженерная фирма АБ Универсал", 2007. 250 с.
5. Барвинский И.А. Система компьютерного анализа литья пластмасс Autodesk Moldflow Insight 2012: Новая версия. 2011.
6. Барвинский И.А. Программные продукты Moldex3D (версия 15) для инженерных расчетов процессов переработки полимерных материалов. АО "СиСофт", 2018.
7. Барвинский И.А., Барвинская И.Е. Влияние конструкции изделия и пресс-формы на процесс уплотнения при литье термопластов. *Литье пластмасс под давлением*: Науч.-практ. семинар. 29-30 янв. М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2004. С. 30-40.
8. Суберляк О.В., Баштаник П.И. Технология переработки полимерных та композиционных материалов: підручник. Львів: Растр-7, 2007. 376 с.
9. Суберляк О.В., Баштаник П.И., Технология формирования виробів з пластмасс і композитів. Частина 1. Київ: ІСДО, 1995. 164 с.
10. Соколов А.Д., Швець М.М. Литье под давлением реактопластов. Л.: Химия, 1989. 93 с.
11. Усадка и коробление отливок из термопластов: Справочник / Дж. М. Фишер, пер. с англ. СПб.: Профессия, 2009. 424 стр., ил.
12. McCrum N., Buckley C., Bucknall C., Principles of Polymer Engineering, Oxford Science Publ. 1988.
13. Литье пластмасс под давлением / Под ред. Т. Освальда, Л.-Ш. Тунга, П.Дж. Грэмана; пер с англ. под ред. Э.Л. Калинчева. СПб: Профессия, 2006. 712 с.
14. Дударева Н.Ю., Загайко С.А. Самоучитель Solid Works 2006. [Текст]. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 336 с.: ил. ISBN 5-94157-732-X
15. Бруйка В. А., Фокин В. Г., Солдусова Е. А., Глазунова Н. А., Адеянов И. Е. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. 271 с.

References

1. Lipatov Yu. S. Budushee polimernykh kompozitsiy. Kiev: Nauk. dumka, 1984. 135 p. [in Russian]
2. Barvinskiy I. A., Barvinskaya I. E. Metodicheskie materialy «Kompyuternyy analiz litya termoplastov: osnovyi analiza ohlazhdeniya press-formy». M.: ZAO "SiSoft", 2013. 178 p. [in Russian]
3. Barvinskiy I. 3D-raschetyi litevyih form dlya litya termoplastov pod davleniem. *Sovremennyye tehnologi proizvodstva i ekspluatatsii press-form: Seminar, Mezhdunarodnaya vystavka ROS-MOLD*. Moskva. 24 iyunya 2015 g. Preprint. [in Russian]
4. Barvinskiy I. A., Barvinskaya I. E. Kompyuternyy analiz litya termoplastov. Osnovyi analiza usadki i korobleniya litevogo izdeliya. M.: OOO "Inzhenernaya firma AB Universal", 2007. 250 p. [in Russian]
5. Barvinskiy I. A. Sistema kompyuternogo analiza litya plastmass Autodesk Moldflow Insight 2012: Novaya versiya. 2011. [in Russian]
6. Barvinskiy I. A. Programmnyie produkty Moldex 3D (versiya 15) dlya inzhenernyih raschetov protsessov pererabotki polimernyih materialov. AO "SiSoft", 2018. [in Russian]
7. Barvinskiy I. A., Barvinskaya I. E. Vliyanie konstruksii izdeliya i press-formy na protsess uplotneniya pri lite termoplastov. *Lite plastmass pod Davleniem: Nauch.-prakt. seminar. 29-30 yanv.* M.: MITHT im. M.V. Lomonosova, 2004. P. 30-40. [in Russian]
8. Suberliak O. V., Bashtanyk P. I. Tekhnolohiia pererobky polimernykh ta kompozytsiinykh materialiv: Pidruchnyk. Lviv: Vydavnytstvo "Rastr - 7", 2007. 376 p. [in Ukrainian]
9. Suberliak O. V., Bashtannyk P. I., Tekhnolohiia formuvannia vyrobiv z plastmass i kompozytiv. Chastyna 1. Kyiv: ISDO, 1995. 164 p. [in Ukrainian]
10. Sokolov A. D., Shvets M. M. Lite pod davlenim reaktoplastov. L.: Himiya, 1989. 93 p. [in Russian]
11. Dzh. M. Fisher Usadka i koroblenie olivok iz termoplastiv: Spravochnik; per. s angl. yaz. SPb.: Professiya, 2009. 424 p. [in Russian]
12. McCrum, N., Buckley, C., and Bucknall, C., Principles of Polymer Engineering, Oxford Science Publ. 1988. [in Russian]
13. Lite plastmass pod davleniem / Pod red. T. Ossvalda, L.-Sh. Tunga, P.Dzh. Gremanna. Per. s angl. pod red. E.L. Kalincheva. SPb: Professiya, 2006. 712 p. [in Russian]
14. Dudareva N. Yu., Zagayko S. A.; Samouchitel Solid Works 2006. SPb.: BHV-Peterburg, 2006. 336 p. [in Russian]
15. Bruyaka V. A., Fokin V. G., Soldusova E. A., Glazunova N. A., Adeyanov I. E. Inzhenernyy analiz v ANSYS Workbench: ucheb. posob. Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2010. 271 p. [in Russian]