

УДК 621.74.043.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.39-50](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.39-50)

**С.В. Конончук**, доц., канд. техн. наук, **О.В. Скрипник**, доц., канд. техн. наук,  
**В.В. Свяцький**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*  
*e-mail: kononchuk\_s@ukr.net, skripnik1966@ukr.net, svv\_iamph@ukr.net,*  
*pukalovvictor@gmail.com*

## Підвищення продуктивності процесу лиття шляхом регулювання теплового режиму кокіля на основі комп'ютерного дослідження потоку повітря в каналах стержня

В статті на основі аналізу теплового режиму кокіля та існуючих конструкцій і способів охолодження форм обґрунтовано необхідність регульованого охолодження центрального стержня повітрям. Запропоновано нову конструкцію центрального стержня, яка забезпечує регульоване повітряне охолодження кокіля. Розроблено 3D-моделі деталей та 3D-зборки центрального стержня нової конструкції. Виконано комп'ютерне дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation. Результати параметричного моделювання течії повітря в каналах центрального стержня показали максимальну витрату повітря при охолодженні 0,371 кг/с, тепловміст повітря при охолодженні 25081 Дж/с. Оцінка ефективності охолодження розробленої конструкції кокіля показала, що при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться 41 % теплоти.

**кокіль, вилівок, направлена кристалізація, охолодження, теплопровідність, теплосмість, тепловий потік, 3D-модель, комп'ютерне моделювання**

**Постановка проблеми.** Алюміній і його сплави завдяки відомим перевагам посідають перше місце за обсягом виробництва серед кольорових металів. Однією з основних областей застосування алюмінієвих сплавів, поряд з авіаційною, космічною технікою, електротехнікою, харчовою промисловістю, будівельними конструкціями, є їхнє використання в машинобудуванні. Найбільш поширеною технологією виготовлення алюмінієвих деталей і заготовок є лиття в кокіль.

Типовий технологічний процес лиття в кокіль алюмінієвих сплавів складається з таких операцій: підготовка шихтових матеріалів (подрібнення, зважування), підготовка інструменту, обладнання, оснащення, плавка, рафінування, литво, обрубка, відрізання підживлювачів, зачистка, транспортування. Для визначення шляхів удосконалення технології лиття необхідно проаналізувати можливість зміни параметрів, які впливають на зменшення собівартості виробництва (зменшення енерговитрат, матеріалоємності, підвищення продуктивності) та підвищення якості литва [1].

Тепловий режим металевої форми визначає продуктивність процесу, тривалість затвердіння вилівка, його якість, довговічність кокілю і залежить від таких факторів, як температура заливання сплаву, початкова температура форми перед заливанням, теплопровідність кокільної фарби, відносна товщина стінки та інтенсивність охолодження форми [2].

Залежно від темпу роботи ливарної машини величина температури форми може бути як більше запропонованого технологією значення, так і менше. При високому темпі роботи машини температура форми при послідовному виготовленні виливків безупинно росте, а при низькому темпі зменшується. Як показав аналіз виробничих даних, коливання значень середньої температури кокілю в процесі виготовлення виливків можуть досягати 50 % і більше. Це приводить до істотного розкиду значень тривалості затвердіння одержуваних виливків, параметрів їх структури й механічних властивостей. При високому темпі роботи машини середня температура кокілю безупинно збільшується, а механічні властивості виливків знижуються. У цьому випадку, як добре відомо із практики, форма й особливо стержні настільки розігріваються, що процес доводиться зупинити [3].

Якщо проаналізувати роботу кокіля для виготовлення виливка Корпус НШ100 (рис. 1), можна побачити, що при заповненні форми найбільш розігріті нові порції металу (червоні стрілки) зустрічають на своєму шляху центральний стержень.

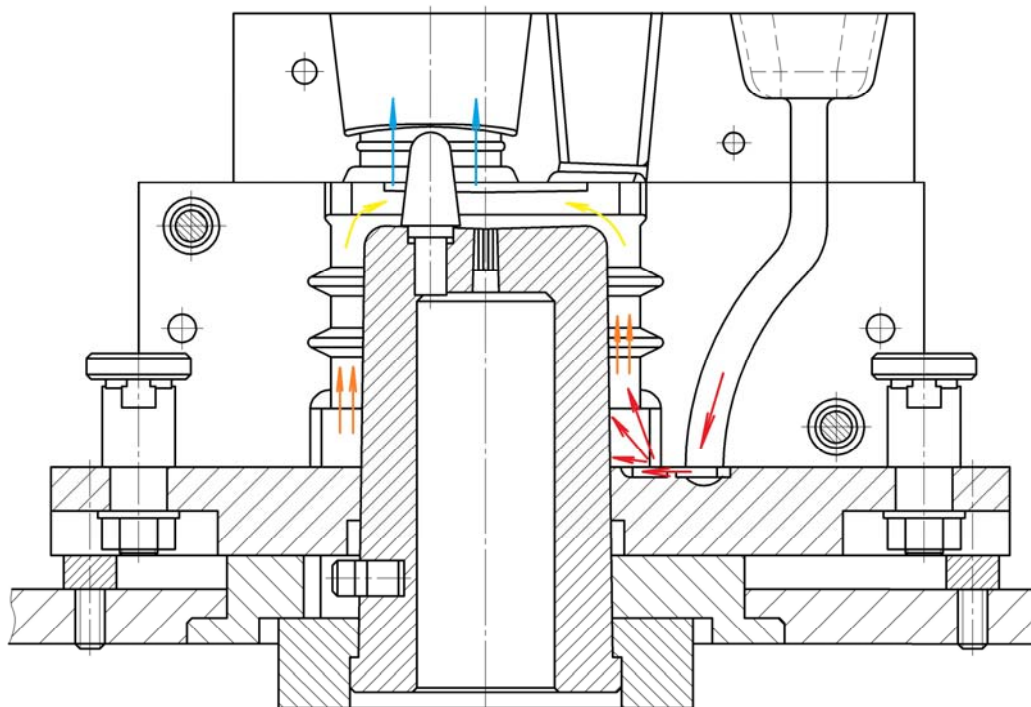


Рисунок 1 – Схема теплового режиму кокіля

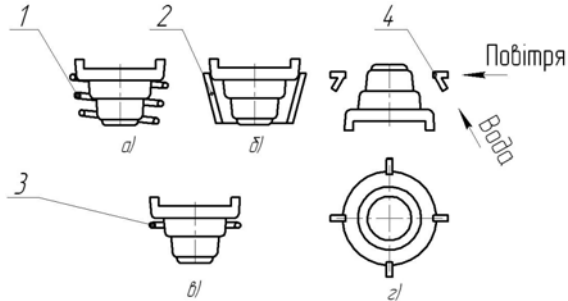
*Джерело: розроблено авторами*

Тобто, при заливці форми центральний стержень нагрівається найбільше, особливо в нижній частині. Дана обставина перешкоджає процесу направленого затвердіння і може призвести до виникнення дефектів усадкового характеру. Крім того, чим вищою буде температура форми тим повільніше буде кристалізуватись вилівок і гіршими будуть його структура і механічні властивості. Тому дослідження впливу конструкторсько-технологічних заходів та систем охолодження на регулювання теплового режиму кокіля є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для виключення явищ перегрівання форми передбачають систему штучного охолодження кокілів. Застосовують повітряне та водяне охолодження зовнішньої поверхні кокілів, повітряне і водяне охолодження стінок кокілів шляхом пропускання охолоджуючого агента через канали, передбачені в стінках форми. Однак ці заходи, ускладнюють конструкцію оснащення, не вирішують проблеми стабілізації теплового режиму металеві форми. Кардинальним є

використання систем термостабілізації роботи коків. При цьому через стінку форми пропускається спеціальна рідина, що має високу температуру кипіння, і завдяки засобам автоматики забезпечується стабілізація теплового режиму кокалю [4].

Приклади реалізації вільного і вимушеного охолодження коків представлено на рис. 2 – 5.



- а) – охолодження трубчастим змійовиком 1;  
 б) – охолодження кільцевим колектором 2;  
 в) – охолодження кокалю розбризуванням води через трубчастий сектор 3 з отворами;  
 г) – охолодження повітряно-водяною сумішшю через форсунки 4

Рисунок 2 – Схеми вимушеного охолодження витряхних коків

Джерело: [5, 6]

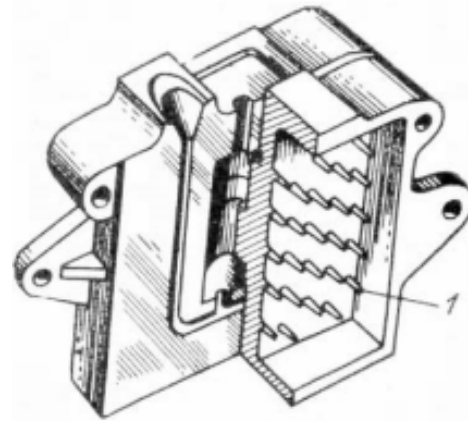


Рисунок 3 – Кокіль з шипами 1 для інтенсифікації теплообміну

Джерело: [5, 6]

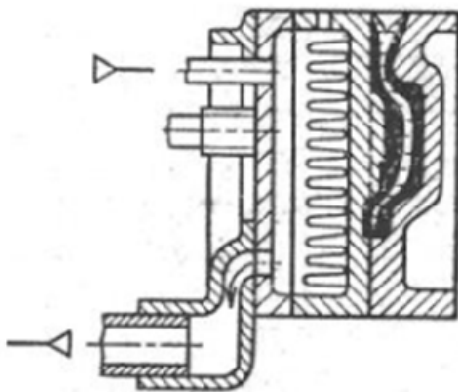


Рисунок 4 – Кокіль з примусовим повітряним охолодженням з ребрами для інтенсифікації теплообміну

Джерело: [5, 6]

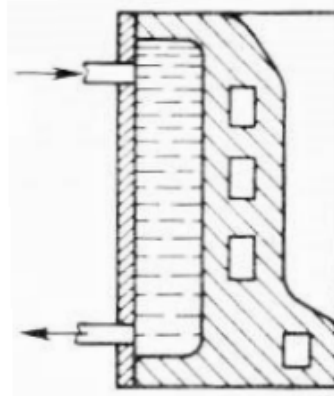


Рисунок 5 – Схема комбінованого водяного і повітряного охолодження (вода в колектор і повітря в канали подаються одночасно)

Джерело: [5, 6]

Екстремальні умови роботи елементів сучасних конструкцій, складність їх форми а також складність технології їх виготовлення роблять дорогим і тривалим здійснення виробничого або натурного експерименту, особливо, якщо мова йде про дослідження процесів кристалізації і охолодження. Створення конструкцій такого типу неможливо без використання систем комп'ютерного моделювання процесів, удосконалення й автоматизації процесу проектування, застосування нових матеріалів і технологій.

Необхідність впровадження у виробництво найскладнішої техніки в короткий термін приводить до створення систем комп'ютерного автоматизованого проектування. Важливу роль у цих системах відіграють засоби моделювання досліджень напружено-деформованого стану, течії розплаву в каналах ливникової системи, потоку повітря в каналах системи охолодження форми, процесів кристалізації, теплообміну, тощо, які дозволяють спроектувати найменш металоємну ливарну форму з системою охолодження, яка забезпечує отримання якісних виливків при максимальній продуктивності обладнання і значно скоротити витрати на впровадження у виробництво нових виливків [7].

**Постановка завдання.** Таким чином, метою даної роботи є розробка конструкції системи охолодження центрального стержня кокіля, що забезпечує підвищення продуктивності процесу лиття, підвищення якості литва за рахунок покращення структури та механічних властивостей виливка, а також підвищення ресурсу кокіля на основі комп'ютерного дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation.

**Виклад основного матеріалу.** На основі аналізу умов роботи кокіля для виготовлення виливка Корпус НШ100 та описаних вище конструкцій і способів охолодження кокілів, було вибране вимушене повітряне охолодження центрального стержня з можливістю регулювання інтенсивності охолодження. Для забезпечення принципу направленої затвердіння охолоджуючі канали розташовуємо таким чином, щоб охолоджуюче повітря подавалось в нижню частину стержня і відводилось зверху.

Подачу повітря доцільно проводити з однієї камери одночасно, адже під'єднання окремо кожного каналу до пневматичної системи технічно дуже складне і недоцільне. Відведення охолоджуючого повітря від стержня також доцільно виконати через один канал по центру стержня вниз в атмосферу цеху. Таким чином, центральний стержень буде складатись з трьох частин. Нижня частина стержня приєднується патрубком до пневматичної системи через регулюючий вентиль. Також в нижній частині стержня передбачено порожнину – камеру для вирівнювання тиску і швидкості повітря та рівномірного його розподілу між охолоджуючими каналами. В середній частині передбачено вертикальні канали однакового діаметру з однаковим кроком та на однаковій відстані від стінок стержня. У верхній частині стержня передбачено виходи з вертикальних каналів таким чином, щоб повітря потрапляло в камеру розташовану в центральній частині стержня і далі видувалося в атмосферу цеху знизу кокіля.

Нова конструкція стержня представлена на рис. 6 – 10.

Порівняльний аналіз ефективності охолодження стержня здійснювали в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation [8].

Flow Simulation є програмним забезпеченням, повністю інтегрованим в SolidWorks. Flow Simulation дозволяє розраховувати рух текучих середовищ (газу або рідини) всередині 3D-моделей, досліджувати обтікання моделей потоком текучого середовища, вирішувати задачі теплообміну за рахунок конвекції і випромінювання, а також проводити розрахунок теплопровідності в твердих тілах.

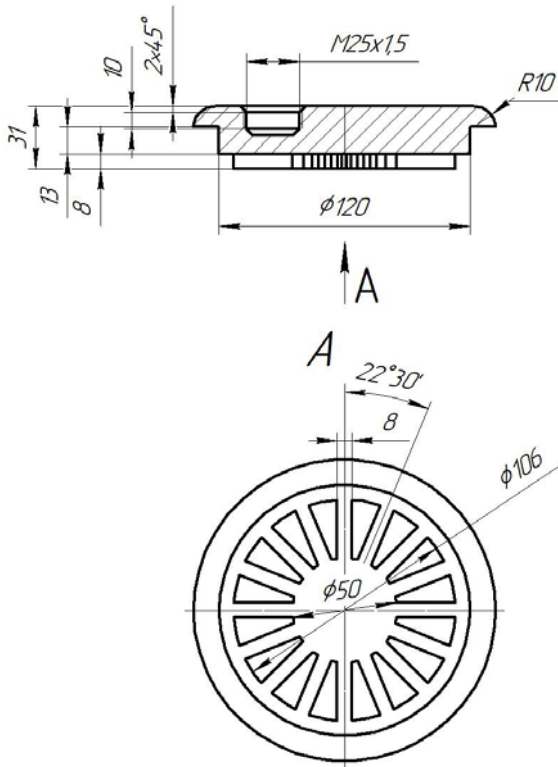


Рисунок 6 – Верхня частина стержня  
Джерело: розроблено авторами

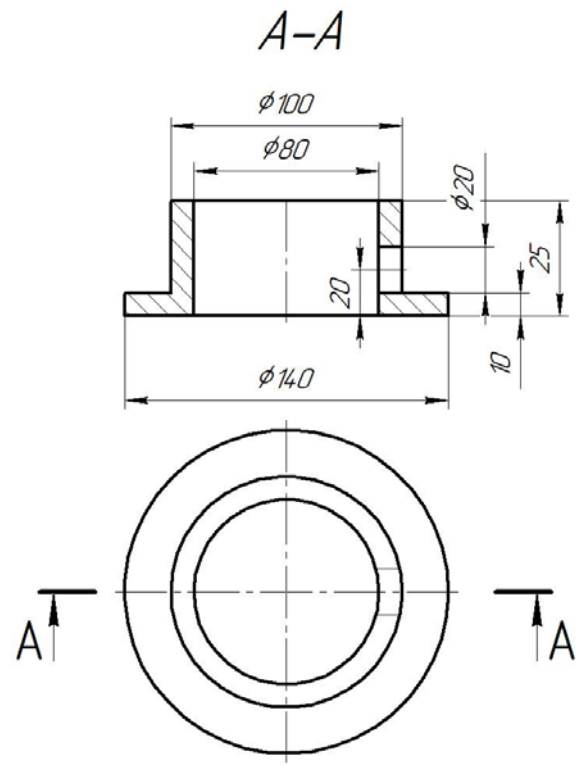


Рисунок 7 – Нижня частина стержня  
Джерело: розроблено авторами

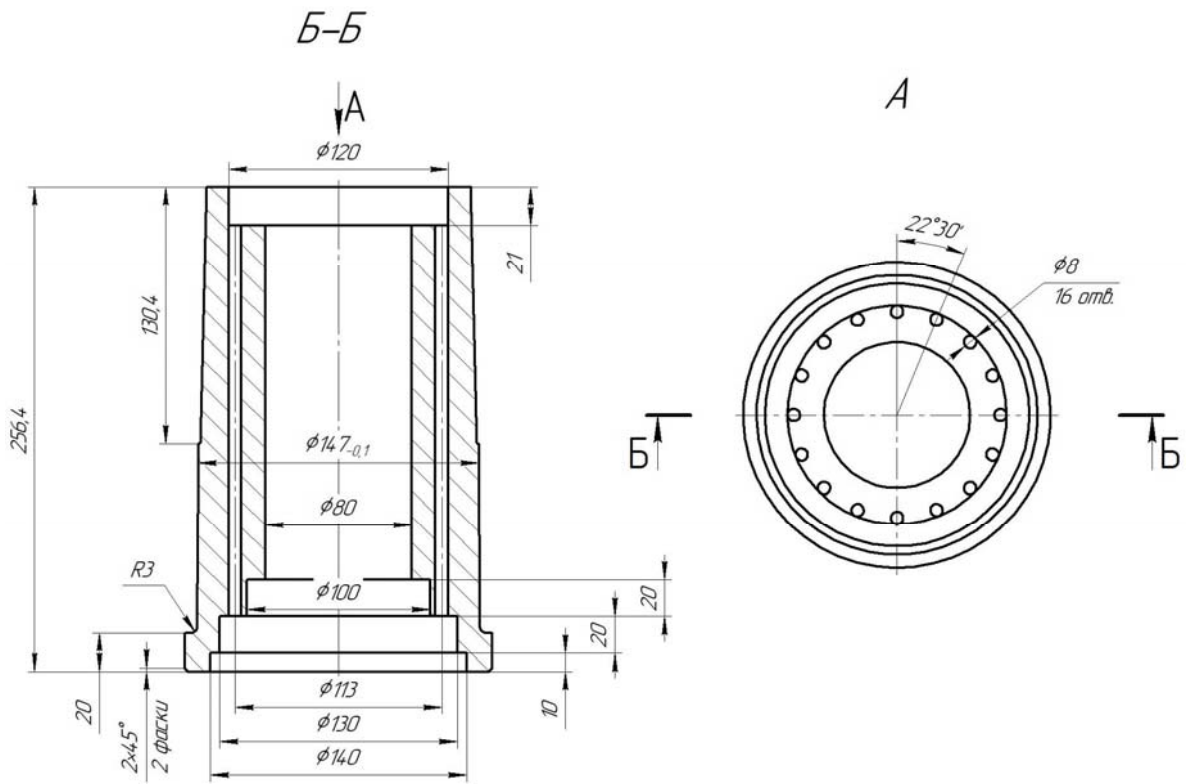


Рисунок 8 – Середня частина стержня  
Джерело: розроблено авторами

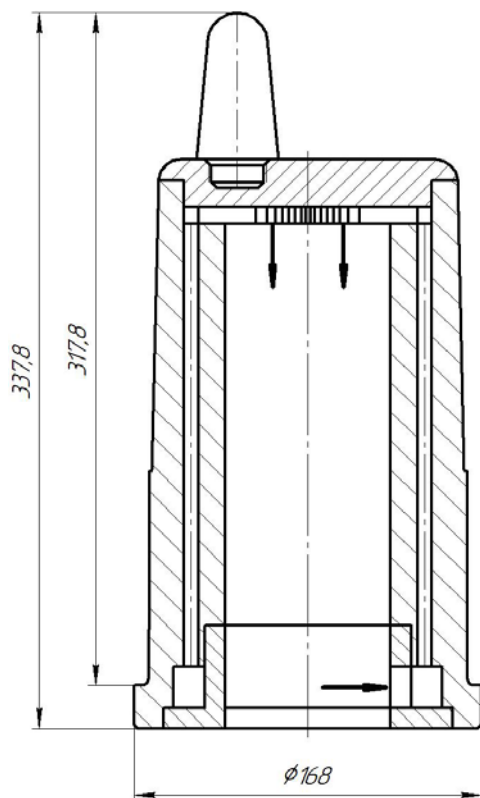


Рисунок 9 – Стержень в зборі (осьовий переріз)  
Джерело: розроблено авторами

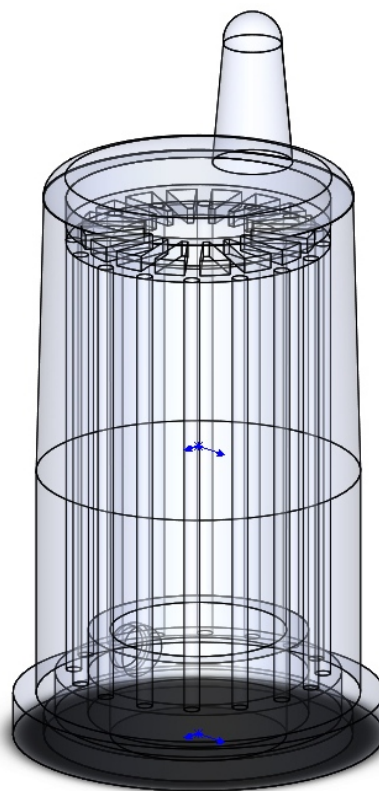


Рисунок 10 – 3D-модель стержня (прозорість 50 %)  
Джерело: розроблено авторами

Розрахунки здійснюються методами обчислювальної гідродинаміки, що забезпечує високу ступінь достовірності отриманих результатів. Характерною особливістю Flow Simulation є інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс, який включає в себе: препроцесор для введення початкових даних, необхідних для розрахунку (в тому числі, інженерну базу даних з властивостями різних матеріалів); монітор для спостереження і контролю за розрахунком; постпроцесор для перегляду отриманих результатів [8]. Таким чином, у нас є можливість моделювання руху потоку повітря всередині каналів центрального стержня та теплообміну між повітрям та сталевим стержнем.

Спочатку необхідно задати розрахункову область, яка являє собою простір, в якому проводяться розрахунки течії. При створенні проекту за допомогою майстра проекту, Flow Simulation автоматично генерує розрахункову область, що обмежена стінками моделі. Розрахункова область будується як для тривимірних, так і для двовимірних задач. У Внутрішніх задачах границі розрахункової області охоплюють всю модель, тобто області текучого середовища і стінки моделі.

Далі необхідно задати загальні параметри, параметри охолоджуючого повітря, сталевому стержню, початкові і граничні умови, умови на стінках.

В якості граничних умов на вході в стержень у вхідному отворі діаметром 20 мм (рис. 7) задаємо масову витрату повітря. Ця величина визначається вирішенням задачі витікання [9]. Необхідно визначити витрату і швидкість повітря із магістралі пневмосистеми через отвір діаметром  $d = 0,02$  м, якщо повітря в магістралі знаходиться під тиском  $p_0 = 500000$  Па при температурі  $T_0 = 293$  К, а витікання відбувається в атмосферу з тиском  $p = 100000$  Па і тією ж температурою.

Визначаємо відношення тисків:

$$\beta = \frac{p}{p_0} = \frac{100000}{500000} = 0,2. \quad (1)$$

Оскільки отримане відношення тисків менше критичного (для повітря  $\beta_{кр} = 0,53$ ), то швидкість витікання буде відповідати критичній швидкості, а масова витрата буде максимальною.

Густина повітря в магістралі:

$$\rho_0 = \frac{p_0}{R_{нов} T_0} = \frac{500000}{287,14 \cdot 293} = 5,943 \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

де  $R_{нов}$  – газова стала повітря, Дж/моль·К.

Визначаємо швидкість витікання повітря:

$$v = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,4}{1,4+1} \cdot \frac{500000}{5,943}} = 313,295 \text{ м/с}, \quad (3)$$

де  $k = 1,4$  – показник адиабати для повітря.

Масова витрата повітря на вході в стержень при коефіцієнті витрати  $\mu = 1$  і  $\omega_0 = 0,685$  визначаємо за формулою:

$$M = \mu \omega_0 \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{p_0 \rho_0} = 1 \cdot 0,685 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} \cdot \sqrt{500000 \cdot 5,943} = 0,371 \text{ кг/с}. \quad (4)$$

Таким чином, в якості граничних умов на вході задаємо масову витрату повітря  $M = 0,371$  кг/с, його тиск  $p_0 = 500000$  Па і температуру  $T_0 = 293$  К

В якості граничних умов на виході з стержня у верхній частині центрального отвору діаметром 80 мм (рис. 8) задаємо параметри навколишнього середовища: тиск  $p = 101325$  Па; температура  $T = 293$  К. Також, для моделювання процесу нагрівання повітря під час руху через канали стержня необхідно задати початкову температуру стержня. Слід зауважити, що у виробничих умовах ця температура у різних частинах стержня різна та постійно змінюється залежно від темпу роботи кокільного верстата. Проте, для дослідження можливості регулювання теплового режиму кокіля достатньо прийняти середню температуру стінок центрального стержня  $T_{cm} = 573$  К та його матеріал сталь 45. Задані початкові і граничні умови показано на рис. 11.

Далі натискаємо кнопку «Запустити» і програма Flow Simulation автоматично створює розрахункову сітку і здійснює розрахунок. З'являється вікно Солвера (розв'язувача), де проводиться моніторинг ходу обчислень при вирішенні задачі. За необхідності можна відкоригувати та настроїти розрахункову сітку, задати точність.

Після завершення розрахунків з'являється можливість вивести результати розрахунку зміни параметрів на розрахунковій сітці, в окремих вибраних точках розрахункової області, поверхневі параметри, об'ємні параметри, ізоповерхні параметрів, траєкторії руху як усього потоку повітря, так і окремих його часток, густину, температуру, ентальпію повітря та багато інших параметрів.



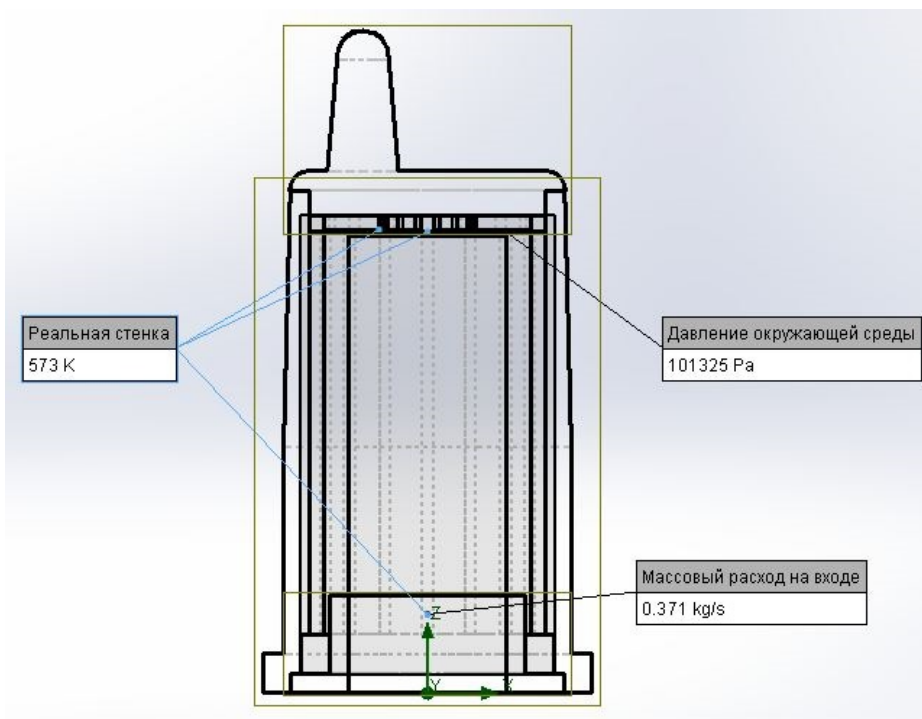


Рисунок 11 – Граничні умови на вході і виході розрахункової області  
 Джерело: розроблено авторами

Нас цікавлять траєкторії потоку повітря в каналах стержня, а також зміна середньої швидкості потоку (рис. 12), та зміна середньої температури повітря (рис. 13).

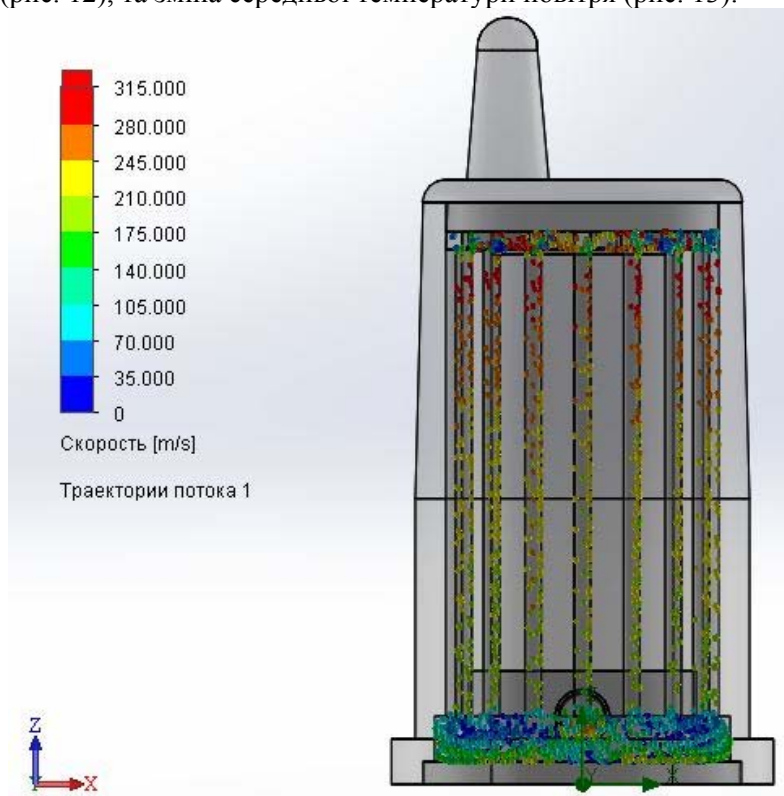


Рисунок 12 – Траєкторії та розподіл швидкості потоків повітря у каналах центрального стержня  
 Джерело: розроблено авторами



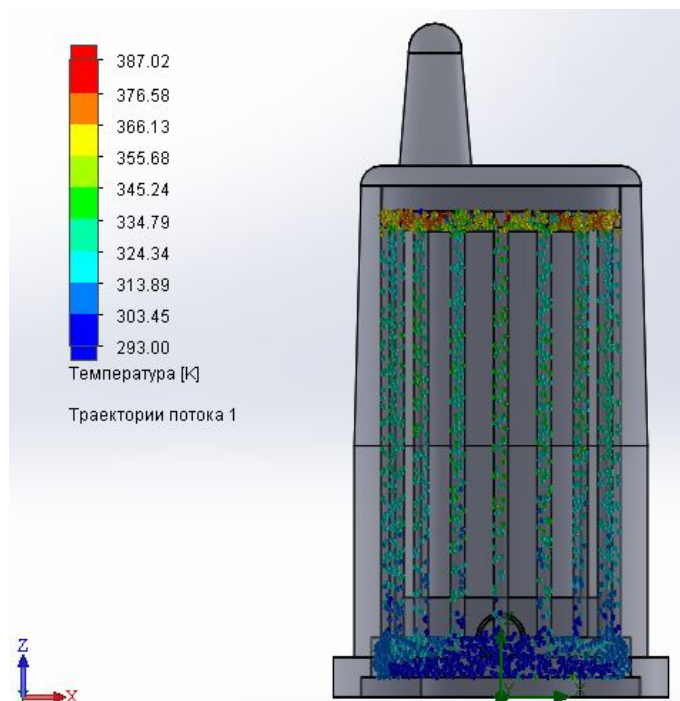


Рисунок 13 – Розподіл середньої температури повітря у каналах центрального стержня  
Джерело: розроблено авторами

Як бачимо з отриманих результатів (рис. 12 – 13), максимальна температура повітря на виході з центрального стержня становить  $T_{нов} = 387 \text{ K}$  ( $114 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Середня температура повітря становить  $T_{нов\ сер} = (387 + 293)/2 = 340 \text{ K}$  ( $67 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Середній тепловміст повітря внаслідок охолодження стержня становить:  $L_{нов} = C_{нов}t_{нов} = 1009 \cdot 67 = 67603 \text{ Дж/кг}$  ( $C_{нов}$  – теплоємність повітря,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ ,  $t_{нов}$  – середня температура повітря після охолодження,  $^\circ\text{C}$ ). Таким чином, кількість теплоти, яка буде забиратися повітрям від стержня в процесі його охолодження при витраті повітря  $M = 0,371 \text{ кг/с}$ :

$$Q_{нов} = L_{нов} \cdot M = 67603 \cdot 0,371 = 25081 \text{ Дж/с.} \quad (5)$$

Для перевірки ефективності охолодження центрального стержня необхідно визначити кількість теплоти, яку необхідно відвести від кокіля в процесі його охолодження від моменту заливки форми до моменту вибивки. Для цього скористаємося теплофізичними властивостями алюмінієвого сплаву, з якого виготовляємо вилівок і сталі, з якої виготовлено кокіль (табл. 1).

Таблиця 1 – Теплофізичні властивості деяких ливарних сплавів [9]

Матеріал	Теплоємність		Теплопровідність		Густина		Теплота кристал.	Температура кристал.
	$c_m$	$c_p$	$\lambda_m$	$\lambda_p$	$\rho_m$	$\rho_p$	$l_k$	$t_k$
	Дж/кг·К		Вт/м·К		кг/м <sup>3</sup>		кДж/кг	°С
Сталь конструкційна	691	837	29...52	23	7500	7000	268	1480
Алюміній	1089	1290	423	-	2700	2380	389	660

Процес теплової взаємодії металу і форми можна умовно розбити на три періоди: 1) зняття теплоти перегріву металу  $Q_{пер}$ ; 2) кристалізація металу  $Q_{кр}$ ; 3) охолодження відливка до моменту його вибивання  $Q_{ох}$ .

Теплота перегріву металу:

$$Q_{пер} = c_p \cdot (t_3 - t_k) \cdot m = 1290 \cdot (730 - 660) \cdot 10,82 = 977046 \text{ Дж}, \quad (6)$$

де  $t_3$  – температура заливки форми, °C,

$m$  – маса металу, що заливається у форму.

Теплота кристалізації металу:

$$Q_{кр} = l_k \cdot m = 389000 \cdot 10,82 = 4208980 \text{ Дж}. \quad (7)$$

Теплота охолодження відливка в твердому стані до моменту його вибивання:

$$Q_{ох} = c_m \cdot T_k \cdot m = 1089 \cdot 933 \cdot 10,82 = 10993520 \text{ Дж}. \quad (8)$$

Тоді:

$$Q_m = Q_{пер} + Q_{кр} + Q_{ох} = 977046 + 4208980 + 10993520 = 16179546, \text{ Дж}. \quad (9)$$

Особливістю технологічного процесу лиття в кокіль є те, що заливка форми відбувається у попередньо підігрітій кокіль. Оскільки при моделюванні було прийнято середню температуру стержня  $T_{cm} = 573 \text{ К}$ , то, відповідно, його тепловміст також необхідно врахувати. При цьому, тепловміст напівформ враховувати не будемо, оскільки охолоджуються лише центральний стержень. Для визначення маси стержня розраховуємо його масові характеристики в модулі параметричного проектування SolidWorks. Вона складає  $m_{cm} = 23,984 \text{ кг}$ .

Визначаємо тепловміст центрального стержня:

$$Q_{cm} = c_m \cdot T_{cm} \cdot m_{cm} = 691 \cdot 573 \cdot 23,984 = 9496297 \text{ Дж}. \quad (10)$$

Таким чином, кількість теплоти, яку необхідно відвести з форми в процесі охолодження (без врахування тепловмісту зовнішніх половин кокіля):

$$Q = Q_m + Q_{cm} = 16179546 + 9496297 = 25675843 \text{ Дж}. \quad (11)$$

Згідно з виробничими даними, час охолодження виливка при литті в неохолоджуваній кокіль від моменту заливки до вибивки становить  $\tau = 7 \text{ хв.} = 420 \text{ с}$ . При тепловмісті охолоджуючого повітря  $Q_{нов} = 25081 \text{ Дж/с}$  (формула 5), кількість теплоти, що відводиться повітрям від центрального стержня:

$$Q'_{нов} = Q_{нов} \cdot \tau = 25081 \cdot 420 = 10534020 \text{ Дж}. \quad (12)$$

Тобто, при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться  $10534020 \cdot 100 / 25675843 = 41 \%$  теплоти.

**Висновки.** Проведений аналіз роботи кокіля для виготовлення виливка Корпус НШ100 показав, що при заповненні форми найбільш розігріті нові порції металу зустрічають на своєму шляху центральний стержень і розігрівають його, особливо в нижній частині. Дана обставина перешкоджає процесу направленої затвердіння і може призвести до виникнення дефектів усадкового характеру. Крім того, чим вищою буде температура форми тим повільніше буде кристалізуватись виливок і гіршими будуть його структура і механічні властивості. На основі аналізу існуючих конструкцій і методів охолодження кокілів обґрунтовано спосіб регульованого охолодження

центрального стержня повітрям. Розроблено нову конструкцію центрального стержня, яка забезпечує регульоване повітряне охолодження кокіля шляхом під'єднання центрального стержня через вентиль до пневматичної системи цеху. Розроблено 3D-моделі деталей та складального креслення центрального стержня нової конструкції. Виконано комп'ютерне дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation. Результати параметричного моделювання течії повітря в каналах центрального стержня показали максимальну витрату повітря при охолодженні 0,371 кг/с, тепловміст повітря при охолодженні 25081 Дж/с. Оцінка ефективності охолодження розробленої конструкції кокіля показала, що при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться 41 % теплоти. Таким чином, розроблена конструкція охолоджуваного центрального стержня дозволяє підвищити продуктивність процесу лиття, підвищити якість литва за рахунок покращення структури та механічних властивостей вилівка, а також підвищити ресурс кокіля. Але отримані результати досліджень мають рекомендаційний характер і потребують практичної перевірки у виробничих умовах.

## Список літератури

1. Конончук С.В., Пукалов В.В. Удосконалення технологічного процесу лиття в кокіль алюмінієвих сплавів. *Литво – 2018: XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя* : АА Тандем, 2018. С. 119-120.
2. Підвищення продуктивності процесу лиття алюмінієвих сплавів на основі дослідження теплового режиму кокіля / Конончук С.В., Скрипник О.В., Свяцький В.В., Пукалов В.В. *Литво – 2021: XVII Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя* : АА Тандем, 2021. С. 107-111.
3. Чуркин Б.С., Чуркин А.Б., Категоренко Ю.И. Специальные способы литья : учебно-методическое пособие. Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2012. 189 с.
4. Специальные способы литья : справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др. ; под общ. ред. В.А. Ефимова. М.: «Машиностроение», 1991. 436 с.
5. Святкин Б.К., Егорова М.Б. Производство отливок в кокили : учеб. для ПТУ. М.: Высш. шк., 1989. 223 с.
6. Казанцев С.П., Фурман Е.Л. Специальные виды литья. Часть 3. Литье в кокиль, классификация металлических форм, конструкции по признакам и разновидностям : учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2017. 107 с.
7. Дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation / Конончук С.В., Скрипник О.В., Свяцький В.В., Пукалов В.В. *Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С. 108-117.
8. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М.: ДМК Пресс, 2015. 562 с.
9. Сабірянов Т.Г., Кропівний В.М. Теплотехніка ливарних процесів : навч. посібник для студентів-ливарників. Кіровоград: КНТУ, 2005. 402с.

## References

1. Kononchuk, S.V. & Pukalov, V.V. (2018). Udoskonalennia tekhnolohichnoho protsesu lyttia v kokil aliuminiievkykh splaviv [Improving the technological process of casting aluminum alloys in the chill mold]. *Casting – 2018: 14 Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – International Scientific and Practical Conference*. (pp. 119 – 120). Zaporizhzhia [in Ukraine].
2. Kononchuk, S.V., Skrypnyk, O.V., Sviatskyi, V.V. & Pukalov, V.V. (2021). Pidvyshchennia produktyvnosti protsesu lyttia aliuminiievkykh splaviv na osnovi doslidzhennia teplovoho rehymu kokilia [Improving the productivity of the process of casting aluminum alloys based on the investigation of the thermal regime of the chill mold]. *Casting – 2021: 17 Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – International Scientific and Practical Conference*. (pp. 107 – 111). Zaporizhzhia [in Ukraine].
3. Churkin, B.S., Churkin, A.B. & Kategorenko, Yu.I. (2012). *Spetsialnyye sposoby litia [Special casting methods]*. Ekaterinburg [in Russian].
4. Efimov, V.A., Anisovich, G.A., Babich, V.N. et al. (1991). *Spetsialnyye sposoby litia [Special casting methods]*. V.A. Efimov (Ed.). Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

5. Svyatkin, B.K. & Egorova, M.B. (1989). *Proizvodstvo otlivok v kokili [Production of castings in chill molds]*. Moscow: Vyssh. shk. [in Russian].
6. Kazantsev, S.P. & Furman, E.L. (2017). *Spetsialnyye vidy litia. Chast 3. Litye v kokil, klassifikatsiya metallicheskih form, konstruktzii po priznakam i raznovidnostyam [Special types of casting. Part 3. Casting in a chill mold, classification of metal forms, designs by features and varieties]*. Ekaterinburg [in Russian].
7. Kononchuk, S.V., Skrypnyk, O.V., Sviatskyi, V.V. & Pukalov, V.V. (2020). Doslidzhennia vplyvu konstruktzii shlakovlovlivacha na efektyvnist zatrymky shlaku v seredovyshchi parametrychnoho modeliuвання SolidWorks Flow Simulation [Investigation of the Effect of Slag Trap Design on Slag Delay Efficiency in the SolidWorks Flow Simulation parametric Modeling Environment]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk: Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin: Technical Sciences. Vol. 3(34)*, 108-117 [in Ukraine].
8. Alyamovskiy, A.A. (2015). *SolidWorks Simulation. Inzhenernyy analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendatsii [SolidWorks Simulation. Engineering Analysis for Professionals: Tasks, Methods, Recommendations]*. Moscow: DMK Press [in Russian].
9. Sabirzianov, T.H. & Kropivnyi, V.M. (2005). *Teplotekhnika lyvarnykh protsesiv [Heat engineering of foundry processes]*. Kirovohrad: KNTU [in Ukraine].

**Serhii Kononchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Skrypnyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Sviatskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Improving the Productivity of the Casting Process by Regulating the Thermal Regime of the Chill Mold on a Basis of Computer Investigation of the Air Flow in the Channels of the Casting Core**

The most common technology for the manufacture of aluminum parts and blanks is casting in a chill mold. To determine ways to improve casting technology, it is necessary to analyze the possibility of changing the parameters that affect the reduction of production costs (reduction of energy consumption, material consumption, increase productivity) and improve the quality of casting. The thermal regime of the metal form determines the productivity of the process, the duration of curing of the casting, its quality, durability of the chill mold.

The analysis of the work of the chill mold for the manufacture of castings Pump Housing showed that when the forms are filled, the most heated new portions of metal meet on their way to the central core. That is, when pouring the mold, the central core is heated the most, especially in the lower part. This circumstance hinders the process of directed curing and can lead to shrinkage defects. In addition, the higher the temperature of the mold, the slower the casting will crystallize and the worse its structure and mechanical properties will be. Based on the analysis of structures and methods of cooling molds, the method of controlled cooling of the central core by air is substantiated. A new design of the core has been developed, which provides adjustable air cooling of the chill mold by connecting the central core through a valve to the pneumatic system of the shop. 3D-models of details and assembly drawings of the central core of a new design are developed. A computer study of the air flow in the core channels in SolidWorks Flow Simulation was performed. The results of parametric modeling of air flow in the channels of the Central core showed the maximum air flow rate during cooling 0.371 kg / s, the heat content of air when cooled 25081 J / s. Evaluation of the cooling efficiency of the developed chill mold design showed that when using air cooling of the central core with cooling air at its maximum consumption, 41% of heat is removed. Thus, the developed design of the cooled central core allows to increase the productivity of the casting process, improve the quality of casting by improving the structure and mechanical properties of the casting, as well as increase the life of the chill mold.

But the obtained research results are of a recommendatory nature and require practical verification in the production environment. In addition, the simulation did not take into account the change in core temperature due to its heat exchange with the melt. Given all this, there is a need for further study of the effect of regulated air cooling on the thermal regime of the chill mold.

**chill mold, casting, directional crystallization, cooling, thermal conductivity, heat capacity, heat flux, 3D-model, computer simulation**

*Одержано (Received) 23.04.2022*

*Прорецензовано (Reviewed) 03.05.2022*

*Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022*