

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра Матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри М та ЛВ
к.т.н., доц. Олександр КУЗИК
(прізвище та ініціали)
«_____» _____ 2025 __ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Конструювання і розрахунків установки поворотної
продуктивністю 60 відливок на годину»**

**«Design and calculation of a rotary installation with a
capacity of 60 casting per hour»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ-22мб-1

Володимир Курлов
(прізвище та ініціали)

ОПП «Компютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Керівник роботи:

к.т.н., доц.

Олександр СКРИПНИК
(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

(прізвище та ініціали)

Кропивницький – 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет

Кафедра

Рівень вищої освіти

Галузь знань

Спеціальність

Освітньо-професійна
програма

Механіко-технологічний

Матеріалознавства та ливарного виробництва

перший (бакалаврський)

13 Механічна інженерія

131 Прикладна механіка

Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка
і 3D друк

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М та ЛВ

Олександр КУЗИК

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
Курлов Володимир Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Конструювання і розрахунок установки поворотної продуктивністю 60 відливок на годину

2. Керівник роботи: к.т.н., доц. Олександр СКРИПНИК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 2 " 01 2025 року № 9-02

3. Строк подання роботи до захисту 17.06.2025

4. Вихідні дані до роботи _____
– завдання на бакалаврську роботу,
_____ – матеріали переддипломної практики;
_____ – державні стандарти та технічні нормативи

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз існуючих типів обладнання по темі бакалаврської роботи, опис конструкції та принцип роботи поворотної установки, розрахунок основних параметрів приводу, дослідження температурних полів в кокоті при затвердінні відливка методом математичного моделювання на ЕОМ, охорона праці

6. Перелік графічного матеріалу:

1. Прворотна установка

2. Привод

3. Редуктор стійка

7. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Проектування змішувача	Скрипник О. В.		

8. Дата видачі завдання 10.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих типів обладнання по темі бакалаврської роботи	25.03.2025	
2	Опис конструкції та принцип роботи поворотної установки	1.04.2025	
3	Розробка робочого процесу і основних технічних параметрів проектуємої машини	9.04.2025	
4	Математичне моделювання технологічного процесу	15.04.2025	
5	Розрахунок на міцність вузлів проектуємої машини	21.04.2025	
6	Техніка безпеки і покращення умов праці	7.05.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	17.05.2025	
8	Оформлення презентації роботи	25.05.2025	
9	Здача роботи на кафедрі та перевірка наявності запозичень	10.06.2024	

Дата видачі завдання «_____» _____ 2025__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «_____» _____ 2025__ р.

Здобувач вищої освіти _____ (Володимир КУРЛОВ)
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на стор. друкованого тексту і містить 3 рис., 2 табл., 13 джерел.

В бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих конструкцій машин, описано конструкцію та принцип роботи проектуємої поворотної установки, виконано розрахунок основних параметрів машини, проведено математичне моделювання процесу кристалізації виливка в кокілі.

Об'єкт розробки - проектування поворотної установки продуктивністю 60 відливок на годину.

Предмет розробки - визначення конструктивних та технологічних параметрів установки поворотної.

Результати проектування - спроектовано установку поворотну продуктивністю 60 відливок на годину.

Отримані в ході розробки результати можуть бути успішно використані при серійному та масовому виробництві при виготовленні великих виливків із алюмінієвих сплавів.

КОКІЛЬ, ЛИВНИКОВО-ЖИВИЛЬНА СИСТЕМА, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ЕЛЕКТРОДВИГУН, СТІЛ ЗВАРНИЙ, УСТАНОВКА ПОВОРОТНА, ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ, ФРОНТ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

ABSTRACT

The explanatory note is presented on pages of printed text and contains 3 figures, 2 table, 13 sources.

The bachelor's thesis analyzes existing machine designs, describes the design and principle of operation of the designed rotary unit, calculates the main parameters of the machine, and performs mathematical modeling of the casting crystallization process in the ladle.

The object of development is the design of a rotary unit with a capacity of 60 castings per hour. Subject of development - determination of structural and technological parameters of the rotary mixer.

Design results - a rotary mixer with a capacity of 60 castings per hour was designed.

The results obtained in the course of development can be successfully used in serial and mass production in the manufacture of large castings of aluminum alloys.

GATING, GATING AND FEEDING SYSTEM, ELECTRIC DRIVE, ELECTRIC MOTOR, WELDED TABLE, ROTARY UNIT, TEMPERATURE FIELD, CRYSTALLIZATION FRONT

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП.....	
1 Аналіз існуючих типів обладнання по темі бакалаврської роботи.....	
1.1 Універсальні однопозиційні кокільні машини.....	
1.2 Карусельні кокільні машини.....	
2 Опис конструкції та принципу роботи поворотної установки.....	
3 Розрахунок основних параметрів приводу.....	
3.1 Початкові данні.....	
4 Дослідження температурних полів в кокіль при затвердінні відливка методом математичного моделювання на ЕОМ.....	
4.1 Математична постановка задачі.....	
4.2 Алгоритм рішення крайової задачі затвердівання вилівка.....	
5 Охорона праці та техніка безпеки.....	
ВИСНОВКИ.....	
ЛІТЕРАТУРА.....	
ДОДАТКИ.....	

ВСТУП

Лиття в металеві форми - один із способів отримання виливок підвищеної точності і якості поверхні [1]. На відміну від піщаних разових форм, які руйнуються після кожного виливка, одні і ті ж металеві форми заливають металом від кількох сотень до кількох десятків тисяч раз. Кокіль має в порівнянні з піщаною формою значно більшу теплопровідність, теплоємність, міцність, практично нульову газопроникність і газотворність. Це обумовлює наступні його особливості взаємодії з металом виливки:

1) висока ефективність теплової взаємодії між виливком і формою - розплав і затвердіваюча виливка охолоджуються в кокілі швидше, ніж в піщаній формі, тому при однаковому тиску і температурі заливаємого розплаву заповнюємість кокілю звичайно гірше. Це ускладнює отримання в кокілях виливок із сплавів з пониженою рідинотекучістю і обмежує мінімальну товщину їх стінок і розмірів. Разом з тим підвищена швидкість охолодження сприяє отриманню щільних виливок з мілкозернистою структурою, що підвищує міцність і пластичність металу у виробках. Однак у виливках із чавуну, які отримують в кокілях, внаслідок особливостей кристалізації часто утворюються карбіди, феритографітна евтектика, які негативно впливають на властивості чавуну - знижує ударну в'язкість, зносостійкість, різко збільшується твердість у відбіленому поверхневому шарі, що ускладнює обробку різанням таких виливок і викликає необхідності їх термічної обробки для усунення відбілу [2];

2) кокіль більш інтенсивно перешкоджає усадці виливка, що утруднює вилучення його із форми, може викликати появу внутрішньої напруги, короблення та тріщин [3];

3) розміри робочої порожнини кокілю можуть бути виконані значно точніше, чим піщаної форми. При литті в кокіль відсутні похибки, викликані розташуванням моделі, пружними і залишковими деформаціями притаманними піщаній формі. Тому виливки в кокілях отримують більш точними.

4) фізико-хімічна взаємодія металу вилівка і кокілью мінімальна, що сприяє підвищенню якості його поверхні. Вилівки отримані в кокіль не мають пригару. Шорсткість поверхні виливків визначається складом облицювок або фарб, які наносяться на поверхню робочої порожнини форми.

Широкому використанню цього методу литва сприяє ряд переваг перед литтям в піщані форми:

- значно підвищується точність розмірів, зменшується шорсткість поверхні виливків, що дозволяє зменшити припуски на механічну обробку в два - три рази, а іноді повністю її усуває. В останньому випадку підвищується механічна міцність вилівка, так як лита поверхня має кращу стійкість до корозії, ерозії та стирання;
- вилівки мають більш щільну структуру металу, в результаті механічні властивості їх збільшуються від 15 до 30 % [4];
- продуктивність праці робітників збільшується в 2...4 рази;
- вихід придатного литва збільшується за рахунок прибутків, зменшення технологічних припусків, браку виливок;
- форма використовується багаторазово;
- зйом лиття з квадратного метра виробничої площі значно збільшується;
- витрати формувальних і стержньових матеріалів зменшується в декілька разів, а в багатьох випадках повністю виключаються, внаслідок чого звільнюються транспортні пристрої, складські і виробничі приміщення;
- легше механізувати і автоматизувати виробничий процес, так як відпадають трудомісні операції формовки, зборки і вибивки форм, які застосовуються при виготовленні виливок в піщаних формах;
- собівартість виливок знижується.

В даній бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих конструкцій кокільних машин, спроектована карусельна поворотна кокільна машина для виготовлення виливків корпусу НШ 100, НШ 500, наведено розрахунок основних параметрів машини, математичне моделювання процесу кристалізації вилівка в кокілі.

1 Аналіз існуючих типів обладнання по темі бакалаврської роботи

Кокільні машини поділяються на універсальні - одно, двох і трипозиційні, карусельні - 4, 6, 8, 12, 16 позиційні та спеціальні [5]. Спеціальні дво- та трипозиційні карусельні машини часто спеціалізовані і призначені для виготовлення в масовому виробництві виливків одного типу, таких, наприклад, як поршні двигунів внутрішнього згорання, кришки електродвигунів, тощо.

1.1 Універсальні однопозиційні кокільні машини

Універсальні однопозиційні кокільні машини в залежності від розташування в просторі площини роз'єму кокілю і металевих стержнів поділяються на машини для отримання виливків з горизонтальною і вертикальною площинами роз'єму, а також з перемінним положенням площини роз'єму.

Для переміщення робочих частин машини - рухомих плит, механізмів видалення стержнів, виштовхування виливків, повороту каруселей, як правило використовують гідравлічний привід, який здатний забезпечити значні зусилля, плавність переміщення, широке регулювання швидкості та зусиль, безшумність роботи, компактність машини [5].

Універсальні однопозиційні кокільні машини призначені для отримання виливків із кольорових та чорних сплавів в кокілях нормального ряду з розмірами від 250×200 до 1000×800 мм в плані. Гамма машин включає наступні типи: I - з вертикальним роз'ємом кокілю, з однією рухомою плитою; II - з вертикальним роз'ємом кокілю, з двома рухомими плитами і піддоном; III - з вертикальним роз'ємом кокілю, з двома рухомими плитами, піддоном та механізмом верхніх стержнів; IV - з вертикальним роз'ємом кокілю, з двома рухомими плитами, піддоном з нижніми та торцевими стержнями (п'ять рухомих плит). Ці машини забезпечують широкі можливості отримання відливків складної конфігурації.

1.2 Карусельні кокільні машини

Як правило карусельні кокільні машини є спеціальними і використовуються для масового виробництва виливків. Такі машини мають 6, 8, 12, 16 позицій. Завдяки сумісності основних операцій наведені машини відрізняються високою продуктивністю.

Карусельні машини з вертикальною віссю обертання каруселі складаються із одно позиційних кокільних секцій з самостійними приводами для запирання і розкриття кокілю, виштовхування виливків. Ці секції змонтовані на столі каруселі. Стіл на каруселі може мати безперервний та пульсуючий рух. Пульсуючий рух спрощує заливку форм, нанесення на їх робочу поверхню вогнетривкого покриття, видалення виливка та інші операції. Такі машини часто використовують в складі автоматичних ливарних комплексів.

Із аналізу конструкцій кокільних машин впливає наступне:

- 1) машини першого типу прості за конструкцією, але на них не можливо встановлювати механізми нижніх і бокових стержнів;
- 2) машини третього типу дають таку можливість, але вони складні за конструкцією, до того ж механізм верхнього стержня для виготовлення номенклатури виливків ПАТ Гідросила, в цілому не потрібен;
- 3) карусельні машини мають складну конструкцію і велику продуктивність;
- 4) найбільш вигідною для виробництва виливків корпус НШ 100, НШ 500 є машина другого типу. Вона відносно проста за конструкцією і дає можливість встановлювати механізми нижніх і бокових стержнів.

2 Опис конструкції та принципу роботи поворотної установки

Спроектвана поворотна установка відноситься до карусельних кокільних машин другого типу. На верстат встановлено кокілі з вертикальним роз'ємом (рис. 2.1).

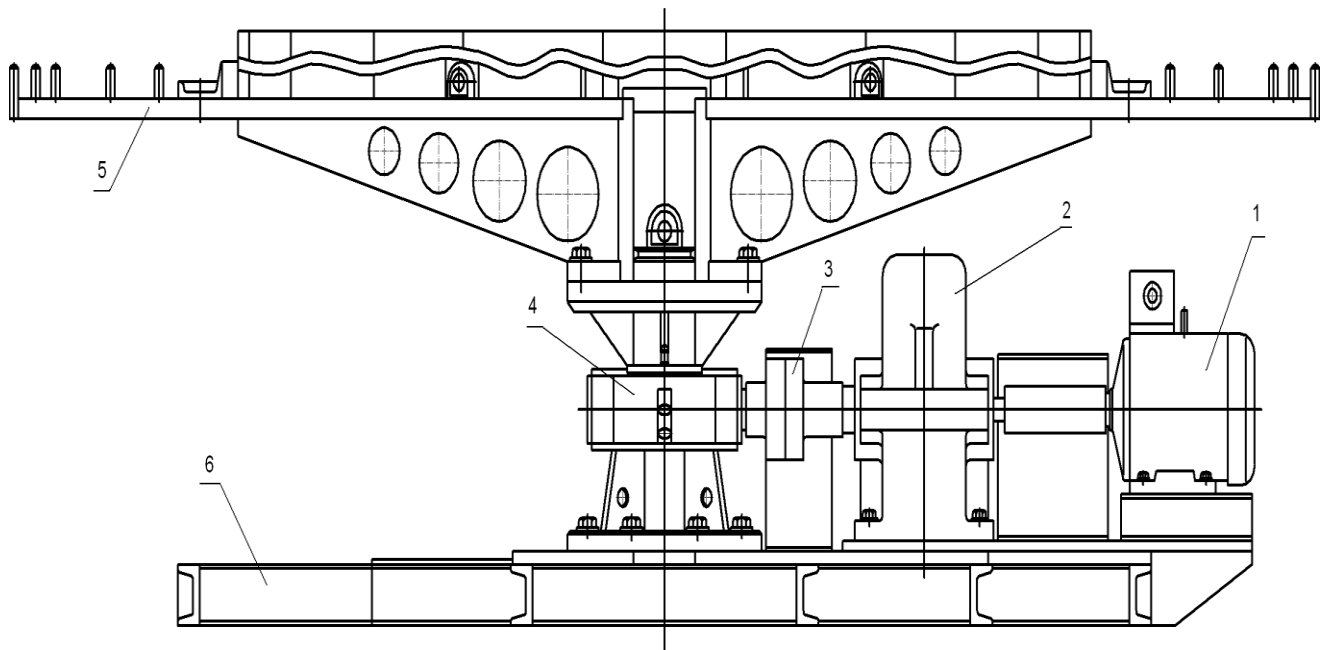


Рисунок 2.1 - Схема поворотної установки

Основним вузлом установки є основа 6, яка об'єднує всі вузли в єдине ціле, орієнтує їх спеціальним чином відносно один одного і забезпечує їх взаємодію. На раму встановлені електродвигун 1, якій слугує для створення обертового моменту для повороту столу 5. Обертовий момент передається від двигуна через редуктор 2, муфту 3 та редуктор - стійку 4, яка також виконує роль опори для поворотного столу.

Працює установка наступним чином при включенні електродвигуна 1 обертовий момент передається через привод на поворотний стіл 5, який в свою чергу починає обертатися. На поворотному столі розташовується 20 кокілів, які при потребі можна замінити на інші для виготовлення виливків іншого типу. Обслуговування установки виконує 1 робітник, він заливає кокілі, виконує їх фарбування протипригарною фарбою, склад якої вибирається по металу з якого виготовляють виливки, знімає охолоджені відливки.

3 Розрахунок основних параметрів приводу

Електропривод використовується для забезпечення значного обертового зусилля, необхідного для здійснення обертального руху поворотного столу машини [6].

Початкові данні для розрахунків:

потрібна потужність на маточині редуктора-стійки $P = 2,4$ кВт;

необхідна кількість обертів на маточині редуктора-стійки $n = 1$ об/хв.

Визначаємо потужність електродвигуна та потужності на валах приводу:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P}{\eta_{pc} \cdot \eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{ред}}, \quad (3.1)$$

де $\eta_{pc}, \eta_{\text{муф}}, \eta_{ред}$ - відповідно ККД редуктора-стійки, муфти, редуктора [7]

$$P_{\text{дв}} = \frac{2,4}{0,89 \cdot 0,99 \cdot 0,9} = 3 \text{ кВт}$$

Потужність на вхідному валу редуктора-стійки:

$$P_{pc} = \frac{P}{\eta_{pc}} \quad (3.2)$$

$$P_{pc} = \frac{2,4}{0,89} = 2,7 \text{ кВт}$$

Потужність на вихідному валу редуктора:

$$P_{ред} = \frac{P_{pc}}{\eta_{\text{муф}}} \quad (3.3)$$

$$P_{ред} = \frac{2,7}{0,99} = 2,72 \text{ кВт}$$

Потужність на вхідному валу редуктора:

$$P_{редвх} = P_{дв} = \frac{P_{ред}}{\eta_{ред}} \quad (3.4)$$

$$P_{редвх} = \frac{2,72}{0,9} = 3 \text{ кВт}$$

Приймаємо по каталогу електродвигун 4А10034У3 [8], характеристики якого наведено у табл. 3.1;

Таблиця 3.1

Технічна характеристика електродвигуна 4А10034У3

Потужність, кВт	Тип електродвигуна	Частота обертів, об/хв	$\frac{T_{пуск}}{T_{ном}}$	$\frac{T_{max}}{T_{ном}}$	ККД, %	cos φ
3	4А10034У3	1500	2	2,2	84,5	0,83

Визначаємо передаточне число редуктора [9]. Для цього приймемо передаточне число редуктора-стійки рівним 41, та визначимо оберти вхідного валу редуктора-стійки:

$$n_{вхрс} = u_{рс} \cdot n_{вихрс} = n_{вихред} \quad (3.5)$$

$$n_{вхрс} = 41 \cdot 1 = 41 \text{ об/хв}$$

Знаходимо передаточне число редуктора:

$$u_{ред} = \frac{n_{вхред}}{n_{вихред}} \quad (3.6)$$

$$u_{ред} = \frac{1500}{41} = 38$$

Знайдемо кутові швидкості валів приводу. Кутова швидкість вхідного валу редуктора:

$$\omega_{вхред} = \frac{\pi \cdot n_{вхред}}{30}, \quad (3.7)$$

$$\omega_{вхред} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с}$$

Кутова швидкість вихідного валу редуктора рівна кутовій швидкості вхідного валу редуктора-стійки:

$$\omega_{вихред} = \frac{\pi \cdot n_{вихред}}{30} = \omega_{вхрс} \quad (3.8)$$

$$\omega_{вихред} = \frac{3,14 \cdot 41}{30} = 4,3 \text{ рад/с}$$

Кутова швидкість вихідного валу редуктора-стійки:

$$\omega_{вихрс} = \frac{\pi \cdot n_{вихрс}}{30} \quad (3.9)$$

$$\omega_{вихрс} = \frac{3,14 \cdot 1}{30} = 0,1 \text{ рад/с}$$

Визначимо обертові моменти на валах приводу. Обертний момент на вхідному валу редуктора:

$$T_{вхред} = \frac{P_{редвх}}{\omega_{вхред}} \quad (3.10)$$

$$T_{вхред} = \frac{3000}{157} = 19,1 \text{ Нм}$$

Обертовий момент на вихідному валу редуктора:

$$T_{вихред} = \frac{P_{редвих}}{\omega_{вихред}} = T_{вхрс} \quad (3.11)$$

$$T_{вихред} = \frac{2720}{4,3} = 632,6 \text{ Нм}$$

Обертовий момент на вихідному валу редуктора-стійки:

$$T_{вихред} = \frac{P_{вихрс}}{\omega_{вихрс}} \quad (3.12)$$

$$T_{вихред} = \frac{2700}{0,1} = 27000 \text{ Нм}$$

Отримані дані зводимо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри приводу установки

Параметр	Величина	Одиниці виміру	Вхідний вал редуктора	Вихідний вал редуктора	Вхідний вал редуктора-стійки	Вихідний вал редуктора-стійки
Передаточне число	i			38		41
Потужність	P	кВт	3	2,72	2,7	2,4
Частота обертів	n	об/хв	1500	41		1
Кутова швидкість	ω	рад/с	157	4,3		0,1
Обертовий момент	T	Нм	19,1	632,6		27000

4 Дослідження температурних полів в кокiлi при затвердiваннi виливка методом математичного моделювання на ПК

4.1 Математична постановка задачi

Розглянемо процес затвердiвання вiдливка у виглядi напiвнескiнченного цилiндра при постiйнiй температурi заливки [10]. Таке припущення справедливe для нашого виливка, якщо не враховувати кутовi спряження, ребра, порожнини та iншi види приливiв та напускiв. $T_{зал} > T_{кр}$. Тепло та вiд затвердiваючого розплаву вiдводиться в напiвскiнченну стiнку форми, яка має початкову температуру $T_{\phi} = \text{const}$.

Схема температурних полiв $T_1(X, t)$ в рiдкому розплавi, в затвердiвшiй кiрцi $T_2(X, t)$ i в кокiлi $T_3(X, t)$, зображено на рис. 4.1.

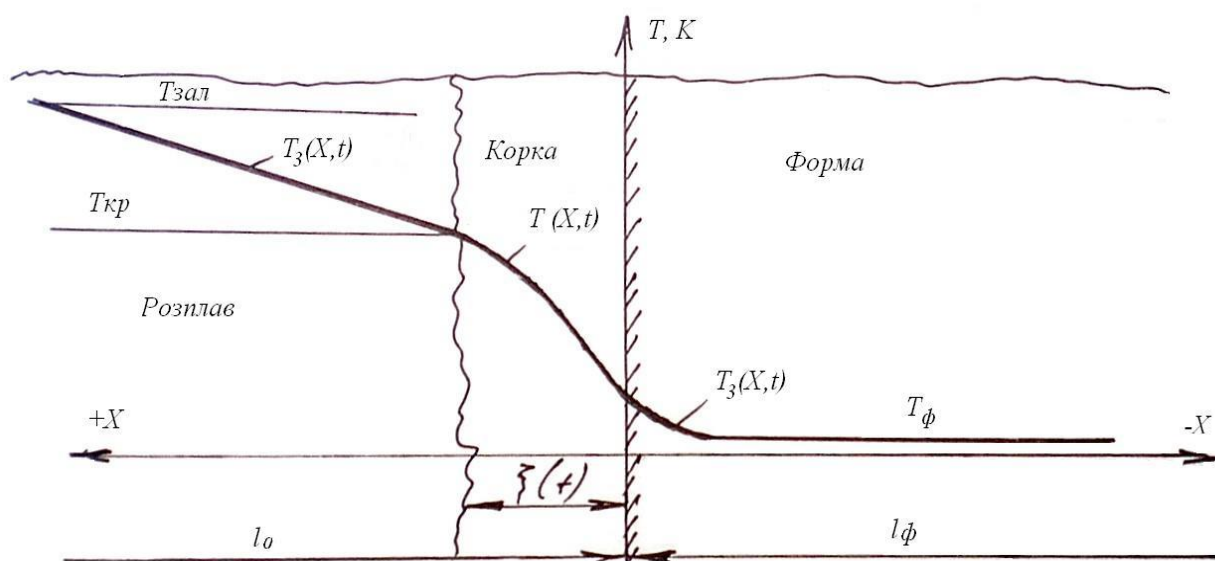


Рисунок 4.1 - Схема температурних полiв в затвердiваючому виливку i форми

Всi три елементи системи – розплав, затвердiла кiрка, форма в тепловому вiдношеннi взаємодiють мiж собою. В кожному елементi протiкає взаємопов'язана просторово-часова змiна температур $T_1(X, t)$, $T_2(X, t)$, $T_3(X, t)$. Для описання цiєї змiни в кожному елементi необхідно три диференцiальнi рiвняння теплопровiдностi Фур'є:

$$\frac{dT}{dt} = a \frac{d^2T}{dX^2}$$

- в рідкому стані:

$$\frac{\partial T_1(X, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T_1(X, t)}{\partial X^2}, \xi(t) < X < \infty, t > 0 \quad (4.1)$$

- в затверділій кірці:

$$\frac{\partial T_2(X, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T_2(X, t)}{\partial X^2}, 0 < X < \xi(t), t > 0 \quad (4.2)$$

- у формі:

$$\frac{\partial T_3(X, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T_3(X, t)}{\partial X^2}, -\infty < X < 0, t > 0 \quad (4.3)$$

Взаємозв'язок диференціальних рівнянь (4.1) - (4.3) визначений умовами протікання процесу теплообміну на поверхнях контакту розплаву з твердою кіркою і кірки з формою.

При затвердінні розплавів чистих металів і евтектик теплота кристалізації виділяється при постійній температурі $T_{кр}$ [11]. Із рис. 4.1 видно, що ця теплота повинна виділятися на границі твердої кірки і розплаву при $X = \xi(t)$.

Очевидно, що товщина $\xi(t)$ корки зростає тільки в тому випадку, якщо від фронту кристалізації буде відводитись теплота кристалізації через кірку в форму. Це означає, що температурне поле $T_2(X, t)$ в кірці при $X = \xi(t)$ повинно задовольняти відношення:

$$L\rho_2 \frac{d\xi}{dt} \leq -\lambda_2 \frac{\partial T_2(X, t)}{\partial X}, \quad (4.4)$$

де L - питома теплота кристалізації розплаву, Дж/кг;

ρ_2 - густина кг/м³;

λ_2 - коефіцієнт теплопровідності розплаву, Вт/(м·К).

Фізичний зміст виразу (4.4) заключається в наступному: швидкість $L\rho_2 \frac{d\xi}{dt}$ виділення теплоти в результаті росту кірки повинна бути меншою чи рівною густині теплового потоку від фронту затвердіння в кірку.

Рівність в виразі (4.4) буде мати місце, якщо розплав перед фронтом кристалізації не перегрітий. В загальному випадку розплав перед фронтом кристалізації перегрітий. Тому, крім теплоти кристалізації, від фронту буде відводитись теплота перегріву:

$$q_1(X, t) + L\rho_2 \frac{d\xi}{dt} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(X, t)}{\partial X}, \quad (4.5)$$

де $q_1(X, t)$ - густина теплового потоку від перегрітого розплаву до твердої кірки.

З урахуванням закону теплопровідності Фур'є маємо:

$$q_1(X, t) = -\lambda_1 \frac{\partial T_1(X, t)}{\partial X} \quad (4.6)$$

Тоді вираз (4.5) буде мати вигляд:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(X, t)}{\partial X} + L\rho_2 \frac{d\xi}{dt} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(X, t)}{\partial X} \quad (4.7)$$

Розглянемо початкові і граничні умови теплообміну в системі (рис. 4.1).

Температура в початковий момент часу $t = 0$: $T_1(X, 0) = T_{зал}$. Температура форми в початковий момент часу $t = 0$: $T_1(X, 0) = T_{\phi}$. Температура твердої кірки і ливарної форми на поверхні контакту ($X = 0$) в будь-який момент часу будуть рівні між собою: $T_2(0, t) = T_3(0, t) = T_0$.

Тепловий потік на границі тверда кірка - форма описується виразом:

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(0, t)}{\partial X} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3(0, t)}{\partial X} \quad (4.8)$$

Температури розплаву і форми на безмежному віддаленні від поверхні розділу виливок - форма дорівнюють:

$$T_1(\infty, t) = T_{зал}; T_3(-\infty, t) = T_{\phi} \quad (4.9)$$

На поверхні контакту тверда кірка – розплав має місце рівність:

$$T_1(\xi, t) = T_{зал}; T_2(\xi, t) = T_{кр} \quad (4.10)$$

4.2 Алгоритм рішення крайової задачі затвердіння виливка

Найбільш ефективними методами вирішення поставленої задачі є метод сіток і метод кінцевих елементів. Цю задачу будемо вирішувати методом сіток [12].

Введемо сітку (рис. 4.2) по товщині кірки, рідкої частини і форми. При цьому будемо вважати, що затвердіння проходить у вузлі сітки NI. Відповідно, в зоні рідкого металу знаходяться вузли сітки з номерами від N+1 до N, в зоні затверділого металу від 2 до NI-1. У вузлі NI протікає затвердіння, а у вузлі 1 відливок контактує з формою. Вузли сітки з номерами від 1 до M - належать формі.

Для визначення температурних полів у всіх зонах системи використовуємо явну кінцево-різницеву схему.

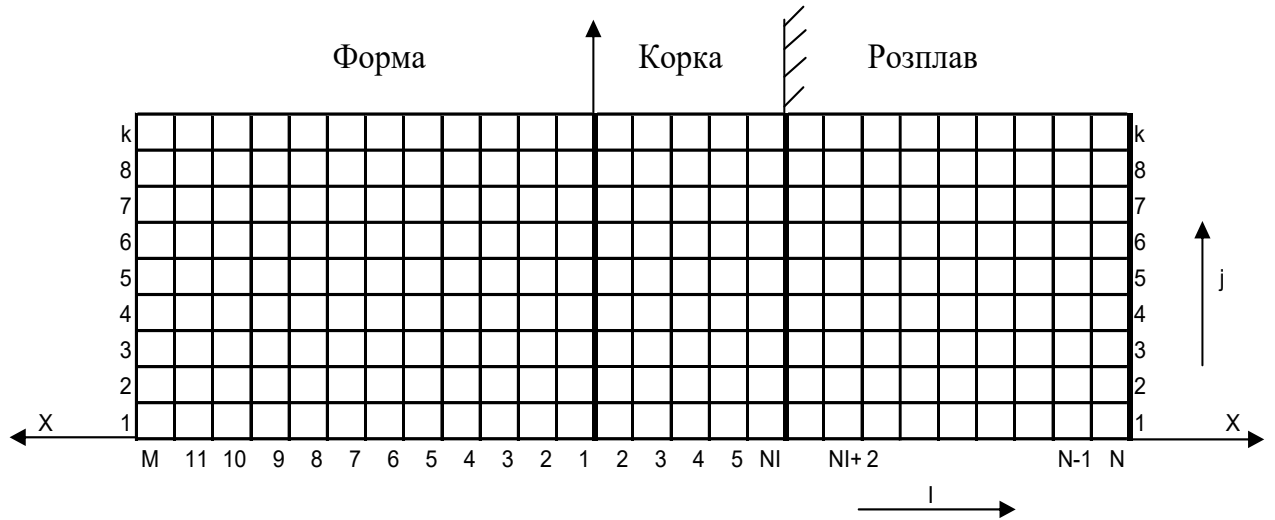


Рисунок 4.2 - Схема сітки

З урахуванням прийнятого, система (4.7) - (4.10) буде представлена наступною системою кінцево-різницевих рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1(I, j+1) = \frac{a_1 \Delta t}{h_1^2} \cdot T_1(I-1, j) + (1 - 2 \frac{a_1 \Delta t}{h_1^2}) T_1(I+1, j) + \frac{a_1 \Delta t}{h_1^2} T_1(I+1, j) \\ T_2(I, j+1) = \frac{a_2 \Delta t}{h_2^2} \cdot T_2(I-1, j) + (1 - 2 \frac{a_2 \Delta t}{h_2^2}) T_2(I+1, j) + \frac{a_2 \Delta t}{h_2^2} T_2(I+1, j) \\ -\lambda_2 \frac{T_2(NI, j) - T_2(NI-1, j)}{h_2} + \lambda_1 \frac{T_1(NI+1, j) - T_1(NI, j)}{h_1} = L\rho \frac{h_1}{\Delta t} \\ T_3(I, j+1) = \frac{a_3 \Delta t}{h_3^2} \cdot T_3(I-1, j) + (1 - 2 \frac{a_3 \Delta t}{h_3^2}) T_3(I+1, j) + \frac{a_3 \Delta t}{h_3^2} T_3(I+1, j) \\ \lambda_2 \frac{T_2(I+1, j) - T_2(I, j)}{h_2} = \lambda_3 \frac{T_3(I, j) - T_3(I+1, j)}{h_3} \end{array} \right. \quad (4.11)$$

Але для розв'язку цієї задачі, необхідний також визначити початковий крок по часу Δt_1 :

$$\Delta t_1 = \frac{L \cdot \rho \cdot h}{-\lambda \frac{T_\phi - T(N, j)}{h} + \lambda \frac{T(N, j) - T(N-1, j)}{h}} \quad (4.12)$$

Маючи Δt_1 знаходимо температури на наступному рівні $j+1$, а з цих температур знаходимо наступний крок по часу:

$$\Delta t_2 = \frac{L \cdot \rho \cdot h}{-\lambda \frac{T(I+2, j) - T(I+1, j)}{h} + \lambda \frac{T(I+1, j) - T(I, j)}{h}} \quad (4.13)$$

Розрахунок проводимо до тих пір, коли $T(1, j)$ буде рівне $T_{кр}$ (індекс 1 вказує на центр відливка).

Потім підсумовуємо всі кроки по часу для кожного температурного рівня і отримуємо відшукований час затвердівання відливка:

$$t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_i = \sum \Delta t_i \quad (4.14)$$

Для спрощення розрахунків складаємо на ПК програму мовою GWBasic:

```

1 REM "Програма розрахунку часу затвердівання виливка"
5 DIM T(110, 110), A(150), B(150), DTAY(150)
10 DATA .1,50e-3, 1.7e-5, 55, 40, 720, 670, 80, 2600, 215000
30 READ L, DX, A, AL, LA, TN, TKR, TS, RO, EL
40 LPRINT L, DX, A, AL, LA, TN, TKR, TS, RO, EL
50 N=L/DX+1
60 PRINT N
70 K=1: I=1: J=0: Z=0
80 T(I,J)=TN
90 I=I+1
100 IF I<=(N-1) GOTO 80
105 T(N,J)=TKR
106 DTAY(K)=EL*RO*DX/(-LA*(TS-T(N,J))/DX+LA*(T(N,J)-T(N-1,J))/DX)
115 J=1: A(1)=0: B(1)=1

```

```

135 I=2
145 A(I)=(A*DTAY(K)/DX^2*A(I-1)+T(I,J-1))/(1+2*A*DTAY(K)
/DX^2-A*DTAY(K)/DX^2*B(I-1))
150 B(I)=(A*DTAY(K)/DX^2)/(1+2*A*DTAY(K)/DX^2-A*DTAY(K)/DX^2*B(I-1))
155 I=I+1
160 IF I<N THEN 145
165 T(N,J)=(AL*DX/LA*TS+A(N-1))/(1+AL*DX/LA-B(N-1))
170 I=N-1
175 T(I,J)=A(I)+B(I)*T(I+1,J)
180 I=I-1
185 IF T(1,J)<TKR THEN 212
186 I=N
187 I=I-1
188 IF T(I,J)<TKR THEN 187
207 K=K+1
208 DTAY(K)=EL*RO*DX/(-LA*(T(I+2,J)-T(I+1,J))/DX+LA*(T(I+1,J)-
T(I,J))/DX)
210 J=J+1
211 GOTO 135
212 FOR U=1 TO K
213 Z=Z+DTAY(U)
214 NEXT U
215 LPRINT "час затвердівання виливка" Z "с."
220 END
L = 0,1; DX = 0,05; A = 0,000017; AL = 55; LA = 40; TN = 720
TKR = 670; TS = 80
Час затвердівання виливка складає 50,4 с.

```

5. Охорона праці та техніка безпеки

Згідно системи стандартів охорони праці проектуєма поворотна установка повинна задовольняти слідуючим вимогам безпеки [13]:

- вимоги до конструкції (будова огорожень рухомих і небезпечних елементів, блокування увімкнень при неробочому і аварійному стані; фіксація і закріплення рухомих органів при ремонтах, в неробочому стані та при транспортуванні, освітлення робочих органів забезпечення обмежувачами ходу).
- вимоги по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов на об'єкті стандартизації (пристрої місцевої вентиляції, установка витяжок, фільтрів, захисних кожухів від шкідливих газів та тепловиділення).
- вимоги електробезпеки (пристрої електроізоляції, захисного заземлення, вимикання при перевантаженнях та при короткому замиканні, тощо).

Підтримка обладнання в робочому стані має важливе значення для забезпечення нормальних умов роботи і запобігання аварій.

Всі частини, деталі і допоміжні пристрої по відношенню виготовлення матеріалів, якості зварювання, монтажу, надійності пристроїв, установки, експлуатації, повинні задовольняти відповідні технічні вимоги.

До роботи на обладнанні допускається персонал, який вивчив це обладнання, правила його експлуатації і отримав інструкцію по техніці безпеки.

При експлуатації обладнання обов'язково дотримуватись діючих на заводі правил та інструкцій по техніці безпеки.

Інструкції заходів безпеки при роботі на обладнанні повинні знаходитись на робочому місці.

Обслуговуючий персонал повинен тримати в чистоті робоче місце на протязі всього робочого дня.

При ремонті обладнання на ввідному автоматі (рубильнику) повинен бути повішений плакат: "Не вмикати - працюють люди".

Забороняється під час роботи обладнання:

- спиратися на працююче обладнання;
- виконувати прибирання працюючого обладнання.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих типів обладнання для виготовлення виливок з алюмінієвих сплавів в ливарних цехах масового і великосерійного виробництва, аналіз існуючих конструкцій кокільних установок, зроблено опис конструкції та принципу роботи спроектованої установки, розрахунки основних параметрів приводу.

Розроблена математична модель затвердіння виливка в кокілі, яка дала змогу розробити і реалізувати програму визначення часу затвердіння виливка корпусу, програма виконана на ПК з використанням мови BASIC.

Використання поворотної установки є справді ефективним вирішенням завдань отримання виливків з кольорових сплавів в умовах ливарного виробництва. Цей тип установок відомий своєю простотою у використанні, високою продуктивністю та енергоефективністю.

Також в бакалаврській роботі розроблено креслення загального виду і приводу і редуктора-стійки, що дозволяє не лише краще розуміти принцип її роботи, а й надає можливість візуально оцінити конструкцію та потенційні особливості експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. - 89с.
2. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок / підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. - 353 с.
3. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. - Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2019. - 352 с.
4. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство, розділ Матеріалознавство: Навчальний посібник / Л.Г. Бодрова, Г.М. Крамар, Я.О. Ковальчук, І.В. Коваль – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. - 157 с. Гіні Е. Ч.
5. Спеціальні технології лиття: підручник для ВНЗ / Е. Ч. Гіні, А. М. Зарубін, В. А. Рибкін. - М.: Вид-во МДТУ ім. Н. Е. Баумана, 2010. - 367 с.
6. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. - 492 с.
7. Анур'єв В.І. Довідник конструктора - машинобудівника: у 3-х томах. Т.1 - М.: Машинобудування, 1972. - 350с.
8. Каталог електродвигунів <https://xn--80aqy.com.ua/uk/4a-i-4am/>
9. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – 275 с.
10. Баландін Г.Ф. Основи теорії формування виливки. Частина 1, М., «Машинобудування», 1976. - 328 с.
11. Лейбензон В.О., Пілюшенко В.Л., Кондратенко В.М., Хричиков В.Є., Недопьокін Ф.В., Білоусов В.В., Дмитрієв Ю.В. Твердження металів і металевих композицій. Підручник для ВУЗів. Видання друге, доопрацьоване. Затверджено Міністерством освіти і науки України. - К.: Наукова думка, 2009. - 447 с.

12. Чабан В. Чисельні методи / В. Чабан. – Львів: Вид. Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2001. - 186 с.
13. Глиняна, Н.М. Охорона праці у ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів напрямку 0904 «Металургія» / Н.М.Глиняна. – Краматорськ: ДДМА, 2009. - 184 с.

ДОДАТКИ