

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Пояснювальна записка
до випускної атестаційної роботи магістра

зі спеціальності 136 – Металургія
ОП «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів»

на тему:

**Аналіз та удосконалення технології виготовлення
випусків в металевих формах на підставі моделювання
ливарних процесів**

Виконав: студент групи ЛВ-24-1м
Керівник випускної роботи
Нормоконтролер
Завідувач кафедри

Остапенко С.А.
Саїтгареев Л.Н.
Саїтгареев Л.Н.
Савельєв С.Г.

Кривий Ріг
2025 р.

ВІДОМОСТІ ОБСЯГУ МАТЕРІАЛІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A4		1	КНУ.РМ.136.25.500с-12 ПЗ	Пояснювальна записка		
				<u>Графічні матеріали</u>		
A4		2	КНУ.РМ.136.25.500с-12 ПР	Презентація		
A4		3				
A4		4				
A4		5				

					КНУ.РМ.136.25.500с-12 ВМ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ		
Розроб.		Остапенко С.А.					
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.					
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.					
Затверд.		Савельєв С.Г.			ЛВ-24-1М ²		
					Лім.	Арк.	Акрушіє
						2	1

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота виконана на стор., містить рис.,
табл., літературних джерел.

Ключові слова: ливарна форма, система автоматизованого проектування (САПР), LVMFlow, кокіль, технологія кокільного лиття.

Об'єктом дослідження є ливарна форма для деталі "щит підшипниковий".

Мета роботи - моделювання кокільного лиття, аналіз дефектів, напружень і деформацій за допомогою пакета LVMFlow.

У процесі дослідження проводилися: проектування виливка "щит підшипниковий", моделювання технології виробництва виливки, розробка кокільного оснащення.

У результаті дослідження проаналізовано особливості технологь кокільного лиття, спроектовано виливок "щит підшипниковий", змодельовано технологію виробництва литва, розроблено кокільне оснащення. Спроектвані оснащення та виливок відповідають технічним вимогам.

Зміст

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ В КОКИЛЬ.

- 1.1. Основні операції технологічного процесу
- 1.2. Переваги і недоліки кокільного виробництва виливків
- 1.3. Особливості отримання якісних виливків у кокілях
 - 1.3.1. Класифікація конструкцій кокилів
 - 1.3.2. Взаємодія розплава із формою
 - 1.3.3. Стійкість кокилів і шляхи її підвищення.
 - 1.3.4. Особливості технологічних покриттів

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОКІЛЬНОГО ЛИТТЯ

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКИ

- 3.1. Призначення деталі та її опис
- 3.2. Розробка кокільного оснащення
- 3.3. Моделювання процесу лиття в системі LVMFlow

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА СТАНУ УМОВ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Лиття в кокіль використовується для виготовлення різних за призначенням виливків зі сталі, чавуну і кольорових сплавів. Найбільш технологічні алюмінієві, магнієві та мідні сплави, менш - залізовуглецеві сплави й особливо сталь. Це пояснюється тим, що з підвищенням температури плавлення використовуваного для лиття сплаву зменшується стійкість кокіля. Крім того, великі швидкості охолодження розплаву і затверділого виливка призводять до виникнення в ньому підвищених напружень, а в чавунному виливку можливий поверхневий або наскрізний вибіл за перетином стінки.

Цей вид лиття забезпечує не тільки високу точність виливків, а й високий відсоток виходу придатного литва, значне поліпшення механічних властивостей металу виливка, а також різке підвищення продуктивності праці та поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці. Лиття в кокіль рекомендується застосовувати при серійності не менше 300-500 дрібних виливків або 50-150 середніх. У випадках, коли застосування металевих форм дає змогу отримати виливки високої якості та задану структуру металу, вимоги до серійності можуть бути знижені.

У ручних і механізованих кокілях найчастіше виготовляють сталеві виливки простої конфігурації зі стінками завтовшки понад 6 мм і масою від кількох кілограмів до 14 т; чавунні виливки простої конфігурації з вибіленою поверхнею, щільною структурою і підвищеною герметичністю, а також виливки, до яких не висувають якихось вимог щодо структури; виливки з чавуну з вермикулярною або кулястою формою графіту зі стінками не менше 8 мм; виливки середньої складності до 100 кг; з алюмінієвих сплавів з товщиною стінок не менше ніж 4 мм; прості та середньої складності виливки з магнієвих сплавів масою не більше ніж 50 кг і товщиною стінки не менше ніж 5 мм; виливки з латуні зі стінками не менше ніж 4 мм і розмірами в плані до 600x700 мм [1].

Технологічна можливість виготовлення виливки в кокілі залежить від конструкції литої деталі і ливарних властивостей використовуваного сплаву. Так зі зменшенням товщини стінки і розмірів виливки зростають труднощі її виробництва і погіршується технологічність лиття. Отримані в кокілі виливки з тонкими стінками можуть мати недоливи, сталеві та чавунні - тріщини, а чавунні - поверхневий або наскрізний відбіл. Технологічність лиття погіршується і зі збільшенням числа отворів, що реалізуються у виливку, і підвищенням температури плавлення використовуваного

сплаву. Чим вища температура розплаву, що заливається в кокіль, тим менша його стійкість.

Складність і специфічність процесу лиття в кокіль призводять до того, що вже на етапі розроблення ливарної технології інженер-ливарник стикається з такими труднощами:

- ✓ вибір оптимальної ливниково-живильної системи (ЛЖС);
- ✓ вибір температури заливки;
- ✓ вибір оптимальної швидкості течії розплаву;
- ✓ запобігання коливанню швидкостей потоку в процесі заливки.

Розвиток техніки ливарного виробництва призвів до створення систем автоматичних машин, автоматичних ліній і автоматичних комплексів машин для лиття. Удосконалення ливарної технології, створення справді автоматичних систем машин для виготовлення виливків мають ґрунтуватися насамперед на управлінні процесом формування якісного виливка.

Під час підготовки технологічного процесу лиття металів виникає необхідність ухвалення рішень в умовах нестачі інформації про фізичну картину процесу. Це пов'язано з проблемами аналізу явищ перенесення (гідродинаміки, теплопередачі, фазових перетворень), що відбуваються в умовах реального виробництва. Застосування систем, що дають змогу візуалізувати і зрозуміти природу процесу лиття, дає можливість значно вдосконалити процес проектування і виробництва виливків. При цьому економляться найважливіші ресурси - метал, робочий час, електроенергія.

Результатом використання прикладних пакетів візуалізації лиття є точне знання протікання в сплаві фізичних явищ, що дає змогу вносити необхідні корективи на стадії проектування, що значно знижує відсоток браку, допомагає підвищити якість продукції і одночасно знизити її собівартість. Застосування наукомістких технологій, зокрема, систем комп'ютерного моделювання фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час формування виливки, дає змогу, з одного боку, переходити до виливків дедалі складнішої форми, використовуючи дедалі більшу номенклатуру сплавів, а з іншого - скорочувати витрати на налагодження технології, замінюючи натурний експеримент обчислювальним.

Комп'ютерне моделювання та оптимізація ливарних технологій є важливим напрямком в розвитку програмних продуктів комп'ютерного інженерного аналізу - CAE - Computer Aided Engineering. Комп'ютерна програма дає змогу простежити, що відбувається під час заповнення розплавом форми і надалі - під час охолодження та

затвердіння металу. CAE- програми дають змогу знаходити дефекти різної природи у виливку на стадії проектування, використовувати різні модифікації в технології, порівнюючи очікувану якість виливка для запропонованих модифікацій і обираючи оптимальний варіант технології та ливниково-живильної системи.

Сучасні програми комп'ютерного моделювання, засновані на фізичних теоріях теплових, дифузійних, гідродинамічних і деформаційних явищ, здатні адекватно відобразити картину фізико-хімічних процесів, які відбуваються під час заповнення рідким металом форми, кристалізації багатокомпонентного сплаву, відпалу тощо.

Використання пакета LVMFLOW дає змогу істотно спростити процес проектування ливарної форми з урахуванням протікання процесу переходу матеріалу з рідкого стану в твердий. У роботі наведено розрахунок ливарних дефектів, напружень і деформацій, оптимізацію технологічного процесу виготовлення виливки "Щит підшипниковий" за рахунок зменшення розмірів поживних елементів ливникової системи з підвищенням коефіцієнта виходу придатного лиття. На основі результатів моделювання процесу лиття спроектовано 3D-модель модельно-стрижневого оснащення для розроблення керуючих програм для виготовлення оснащення на верстатах із ЧПК.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ В КОКИЛЬ.

Кокільне лиття, або лиття в постійні форми, – це лиття металу, що здійснюється вільним заливанням кокілів. Кокіль (від фр. Coquille – мушля, шкаралупа) – металева форма з природним або примусовим охолодженням, що заповнюється розплавленим металом під дією гравітаційних сил.

Кокіль (рис.1.1) зазвичай складається з двох напівформ 12, плити 11 і вставок 7. Напівформи взаємно центруються штирями 6, а перед заливкою їх з'єднують замками 13. Порожнини і отвори у виливку можуть бути виконані металевими або піщаними стрижнями, що витягуються з виливки після її затвердіння і охолодження до заданої температури. Розплав заливають в кокиль через ливник 5, виконаний в його стінках, а живлення масивних вузлів виливки здійснюється з прибутку 2.

При заповненні кокиля розплавом повітря і газу видаляються з його робочої порожнини 10 через вентиляційні канали 1, пробки 3, канали між металевими частинами 9, що утворюють вентиляційну систему кокиля.

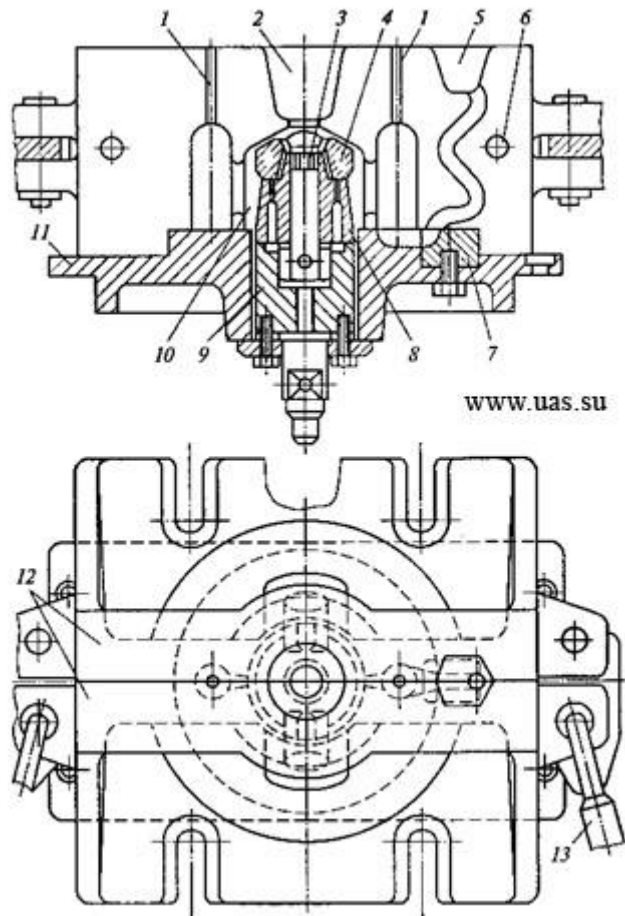


Рисунок 1.1 – Кокиль: 1 – вентиляційні канали; 2 – прибуток; 3 – вентиляційна пробка; 4 – піщаний стрижень; 5 – литникова система; 6 – штир (центруючий елемент); 7 – вставка; 8 – металевий стрижень; 9 – вентиляційний канал; 10 – порожнина форми; 11 – плита (піддон); 12 – напівформи; 13 – замок

Основні елементи кокиля – напівформи, плити, вставки, стрижні тощо – зазвичай виготовляють із чавуну або сталі. Вище розглянуто кокиль простої конструкції, але у виробничій практиці часто використовують кокилі досить складних конфігурацій.

Виробництво лиття в кокиль є малоопераційним процесом, основні операції: розкриття кокиля, вилучення стрижнів з виливки, очищення робочих поверхонь, нанесення вогнетривкого покриття, простановка стрижнів, замикання кокиля, заливка металу виконуються кокильними машинами, які

можна класифікувати на універсальні: одно-, дво- та трипозиційні, карусельні: 4 — 6 — 8 — 12 — 16 позиційні та спеціальні: 2-х, 3-х позиційні та карусельні.

У великосерійному і масовому виробництві в даний час широко використовуються автоматичні кокильні лінії, які включають однопозиційні автоматичні машини або автоматизовані кокильні робочі комірки. Використання роботів дозволяє звести участь людини у виробництві лиття в кокиль, тільки до транспортування готового металу до роздавальної печі автоматизованої кокильної комірки.

1.1.Основні операції технологічного процесу

Перед заливкою розплав новий кокиль готують до роботи: поверхню робочої порожнини і роз'єм ретельно очищають від слідів забруднень, іржі, масла, перевіряють легкість переміщення рухомих частин, точність їх центрування, надійність кріплення.

Потім на поверхню робочої порожнини і металевих стрижнів наносять шар вогнетривкого покриття - облицювання і фарби. Склад облицювань і фарб залежить в основному від типу залитого сплаву, а їх товщина - від необхідної швидкості охолодження виливки: чим товще шар вогнетривкого покриття, тим повільніше вилівка охолоджується. Разом з тим шар вогнетривкого покриття захищає робочу поверхню форми від різкого підвищення її температури при заливці, оплавлення і схоплювання з металом виливки.

Перед нанесенням вогнетривкого покриття кокиль нагрівають газовими пальниками або електричними нагрівачами до температури 150 – 280 оС. Фарби наносять на кокиль зазвичай у вигляді водної суспензії через пульверизатор. Вода крапель водної суспензії, що потрапляють на поверхню нагрітого кокиля, випаровується, а вогнетривка складова рівним шаром покриває поверхню.

Після нанесення вогнетривкого покриття кокиль нагрівають до робочої температури, що залежить в основному від складу залитого сплаву, товщини

стілки виливки, її розмірів і необхідних властивостей. Потім в кокиль встановлюють піщані або керамічні стрижні, якщо такі необхідні для отримання виливки, половинки кокиля з'єднують і скріплюють спеціальними затискачами, а при установці кокиля на кокильний машині - за допомогою її механізму замикання, після чого заливають розплав в кокиль.

Часто в процесі затвердіння і охолодження виливки, після того як вона набуде достатньої міцності, металеві стрижні «підривають», тобто частково витягують з виливки. Це роблять для того, щоб зменшити тиск затвердіваючої виливки на металевий стрижень і полегшити подальше витягання його з виливки. Після охолодження виливки до заданої температури кокиль розкривають, повністю витягують металевий стрижень і видаляють з кокиля виливку. З виливки вибивають піщаний стрижень, обрізають ливники, прибутки, випори, контролюють якість виливки. Потім описаний вище цикл повторюється.

Перед повторенням циклу оглядають робочу поверхню кокиля, площину роз'єму. Зазвичай вогнетривку фарбу наносять на робочу поверхню кокиля 1 - 2 рази на зміну, зрідка відновлюючи її в місцях, де вона відшарувалася від робочої поверхні. Оскільки під час вилучення виливки та фарбування робочої поверхні кокиля він охолоджується, зокрема при литті тонкостінних виливків охолоджується надмірно, для повторення циклу потрібно підігріти кокиль до робочої температури. Якщо ж виливка досить масивна, то за рахунок її теплоти кокиль може нагріватися до температури, вищої за необхідну робочу. Для такого випадку в кокилі передбачені спеціальні системи охолодження, і на наступну заливку він надходить охолодженим.

1.2. Переваги і недоліки кокільного виробництва виливків

Ефективність кокильного виробництва виливків залежить від повноти і правильності використання переваг цього процесу з урахуванням його особливостей і недоліків в умовах конкретного виробництва.

Нижче наведені переваги лиття в кокиль в порівнянні з литтям в піщані форми.

1. Обумовлене використанням металевої форми підвищення якості виливки і стабільності показників якості, зокрема: механічних властивостей, структури, щільності, шорсткості, точності розмірів виливків.

2. Використання в металевих формах разових піщаних стрижнів. Це істотно розширює можливості способу при виробництві фасонних виливків зі складними зовнішніми і внутрішніми поверхнями.

3. Підвищення продуктивності праці в результаті виключення трудомістких операцій приготування суміші, формування та очищення виливків. Тому використання лиття в кокилі, за даними різних підприємств, дозволяє в 2 - 3 рази підвищити продуктивність праці в ливарному цеху, знизити капітальні витрати при будівництві нових цехів і реконструкції існуючих за рахунок скорочення необхідних виробничих площ, витрат на обладнання та очисні споруди.

4. Усунення важких і шкідливих операцій вибивання форм, очищення виливків від пригару, їх обрубки, загальне оздоровлення і поліпшення умов праці, менше забруднення навколишнього середовища.

5. Усувається необхідність застосування формувальних сумішей і, отже, потреба в обладнанні для їх приготування, транспортування і зберігання, що різко зменшує вантажопотоки, скорочує площі виробничих і складських приміщень

6. Можливість механізації та автоматизації процесу виготовлення виливки завдяки багаторазовому використанню кокиля.

7. Металеві форми (кокилі) використовуються багаторазово, на відміну від одноразових піщано-глинистих форм, і при цьому забезпечуються більша чистота поверхні і більш точні розміри литих заготовок

8. На 40-60% менша трудомісткість виготовлення виливків і подальша їх механічна обробка

9. У зв'язку з відсутністю ряду технологічних операцій (наприклад, приготування, транспортування і зберігання формувальних сумішей), лиття в кокиль дозволяє збільшити зйом з 1-го кв. метра виробничих площ в 2-4 рази.

10. За рахунок високої швидкості затвердіння і кристалізації виливків, матеріал виливків має більш дрібну мікроструктуру і більш високі механічні властивості

11. Знижується брак виливків (за засміченням, пригаркою, невідповідністю розмірам та іншими видами) приблизно на 30-40%.

12. Кращі санітарно-гігієнічні умови праці.

При литті в кокиль усувається процес виготовлення ливарної форми, залишаються лише складальні операції: установка стрижнів, з'єднання частин кокиля і їх кріплення перед заливкою, які легко автоматизуються. Усуваються також такі збурюючі фактори, що впливають на якість виливків при литті в піщані форми, як вологість, міцність, газопроникність формувальної суміші, тобто процес лиття в кокиль є більш керованим. Для отримання виливків заданої якості в кокильному виробництві легше здійснити автоматичне регулювання технологічних параметрів процесу. Автоматизація процесу дозволяє змінити характер праці ливарника-оператора, який керує роботою таких комплексів.

Однак спосіб лиття в кокилі має і недоліки, серед яких наступні.

1. Висока вартість кокиля, складність і трудомісткість його виготовлення. Вартість кокиля зростає при отриманні виливків з піднутріннями, для виконання яких необхідно ускладнювати конструкцію форми – робити додаткові роз'єми, використовувати вставки, роз'ємні металеві або піщані стрижні.

2. Обмежена стійкість кокиля, що вимірюється числом придатних виливків, які можна отримати в даному кокилі. Від стійкості кокиля залежить

економічна ефективність процесу, особливо при литті чавуну і сталі. Тому проблема підвищення стійкості кокиля відноситься до найважливіших при вирішенні технологічних завдань кокильного лиття цих сплавів.

3. Висока інтенсивність охолодження розплаву в кокилі в порівнянні з піщаною формою. Даний фактор обмежує можливість отримання тонкостінних протяжних виливків, а в чавунних виливках додатково призводить до відбілювання поверхневого шару, що погіршує обробку різанням; викликає необхідність термічної обробки виливків.

4. Неподатливість кокиля, яка призводить до появи в виливках напружень, а іноді і тріщин.

5. Використання в кокилі великої кількості піщаних стрижнів. Цей фактор знижує точність одержуваних виливків і підвищує в цих місцях шорсткість їх поверхні.

6. Схильність до утворення відбілу у виливках із чавуну

Переваги і недоліки кокильного способу визначають в результаті раціональну область його використання. Внаслідок високої вартості кокилів економічно доцільно застосовувати цей спосіб лиття тільки в серійному або масовому виробництві. Серійність при литті чавуну повинна становити більше 20 великих або більше 400 дрібних виливків на рік, а при литті алюмінію – не менше 400 – 700 виливків на рік.

Ефективність лиття в кокиль зазвичай визначають у порівнянні з литтям в піщані форми. Економічний ефект досягається завдяки усуненню формувальної суміші, підвищенню якості виливків, їх точності, зменшенню припусків на обробку, зниженню трудомісткості очищення і обрубки виливків, механізації та автоматизації основних операцій і, як наслідок, підвищенню продуктивності та поліпшенню умов праці.

Таким чином, лиття в кокиль з повним правом можна віднести до трудо- і матеріалозберігаючих, малоопераційних і маловідходних технологічних

процесів, що поліпшують умови праці в ливарних цехах і зменшують шкідливий вплив на навколишнє середовище.

1.3.Особливості отримання якісних виливків у кокілях

1.3.1.Класифікація конструкцій кокилів

У виробництві використовують кокилі різних конструкцій. Залежно від конфігурації литих заготовок, матеріалу виливків і прийнятої технології за конструктивним виконанням кокилі можна класифікувати на такі типи: нероз'ємні (витрушувальні) (рис. 1.2.а); роз'ємні — з горизонтальним роз'ємом (рис. 1.2.б), з декількома роз'ємами (рис. 1.2.в), з вертикальним роз'ємом (рис. 1.г), зі складною площиною роз'єму (рис. 1.2.д).

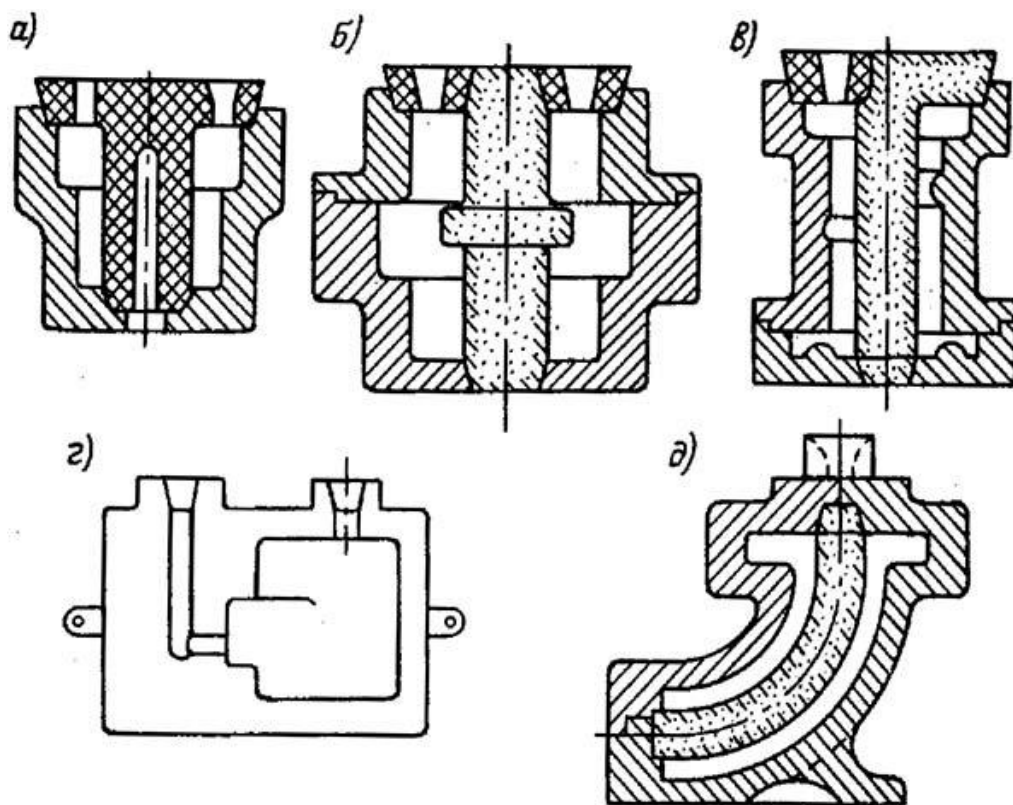


Рис. 1.2 Типи конструкцій кокилів

Нероз'ємні (витрушувальні) кокилі найчастіше використовують для виробництва сталевих і чавунних виливків простої конфігурації. Такі форми досить жорсткі і стійкі проти викривлення. Кокилі з горизонтальним роз'ємом

або з декількома роз'ємами служать для виробництва сталевих і чавунних виливків середньої складності. Кокилі з вертикальним роз'ємом використовують для виробництва виливків з чавуну і кольорових сплавів (поршнів, плит, дисків, барабанів тощо). Для виробництва складних виливків з чавуну і кольорових сплавів використовують коколи зі складною площиною роз'єму.

За кількістю робочих порожнин (гнізд), що визначають можливість одночасного (з одного заливання) виготовлення того чи іншого числа виливків, кокилі поділяють на одномісні та багатомісні.

Залежно від способу охолодження розрізняють кокилі з повітряним (природним і примусовим), рідинним (водяним, масляним) і комбінованим (водовоздушним тощо) охолодженням. Якщо повітряне охолодження використовують для малотеплонавантажених кокилів, то водяне охолодження зазвичай застосовують для високотеплонавантажених кокилів, а також для підвищення швидкості охолодження виливки або її окремих частин. Вода подається окремо в обидві половини кокиля, нижню плиту і верхню кришку.

Елементи конструкції кокилів

Конструктивне виконання основних елементів кокилів – напівформ, плит, металевих стрижнів, вставок – залежить від конфігурації виливки і від особливостей установки кокиля на кокильну машину.

До основних елементів конструкції кокилів відносять: формоутворюючі елементи – половини кокилів, нижні плити (піддони), вставки, стрижні; конструктивні елементи – штовхачі, плити штовхачів, системи нагрівання та охолодження кокиля і окремих його частин, вентиляційна система, центрувальні штирі та втулки.

Корпус кокиля або його половини виконують коробчатим з ребрами жорсткості. Ребра жорсткості на тильній (неробочій) стороні кокиля роблять невисокими, товщиною 0,7 – 0,8 товщини стінки кокиля, сполучаючи їх галтелями з корпусом. Товщина стінки кокиля залежить від складу залитого

сплаву і його температури, розмірів і товщини стінки виливки, матеріалу, з якого виготовляється кокиль, і його конструкції.

Товщина стінки кокиля повинна бути достатньою, щоб забезпечити заданий режим охолодження виливки, необхідну жорсткість кокиля і мінімальне його викривлення при нагріванні відведеною теплотою залитого розплаву, а також стійкість проти розтріскування.

Рекомендовані співвідношення товщини стінок кокиля і виливків при проектуванні кокилів наведені в табл. 1.1

Таблиця 1.1

Рекомендовані співвідношення товщини стінок кокиля і виливків

Товщина виливка, мм	10	15	30	50	>50
Товщина стінки кокиля, мм	25	30	40	60	60

Розміри і конструкція частин кокиля повинні дозволяти розміщувати і закріплювати його на плитах кокильної машини.

Стрижні в кокилях можуть бути піщаними і металевими. Піщані стрижні для кокильних виливків повинні мати знижену газотворність і підвищену поверхневу міцність. Перша вимога обумовлена труднощами видалення газів з кокиля, друга – взаємодією знакових частин стрижнів з кокилем, в результаті чого окремі піщинки можуть потрапити в порожнину кокиля і утворити засмічення у виливку. Стрижневі суміші і технологічні процеси виготовлення піщаних стрижнів можуть бути різними – суцільні і оболонкові стрижні з холоднотвердіючих сумішей і т.д. У будь-якому випадку використання піщаних стрижнів в кокилях викликає необхідність організації додаткової технологічної лінії для виготовлення стрижнів в кокильному цеху. Однак, в кінцевому рахунку, використання кокилів у комбінації з піщаними стрижнями в більшості випадків економічно виправдано.

Використання металевих стрижнів залежить від конструкції виливки та технологічних властивостей сплаву. Їх використання дає можливість підвищити швидкість затвердіння виливки, скоротити тривалість циклу її

виготовлення, в окремих випадках підвищити механічні властивості та щільність (герметичність) виливки. Однак при використанні металевих стрижнів зростають напруги у виливках, збільшується небезпека появи в них тріщин через утруднення усадки.

Для надійного вилучення стрижнів з виливки вони повинні мати ухили 1 - 5 градусів, хороші напрямні, щоб уникнути перекосів, а також бути надійно зафіксовані у формі.

У багатьох випадках металеві стрижні роблять водоохолоджуваними зсередини. Водяне охолодження стрижня зазвичай включають після утворення у виливку міцної скоринки. При охолодженні розміри стрижня скорочуються і між ним і виливком утворюється зазор, завдяки якому зменшуються зусилля при витяганні стрижня з виливка.

Вентиляційна система повинна забезпечувати спрямоване витіснення повітря з кокиля розплавом. Для виходу повітря використовують відкриті випори, зазори по площині роз'єму і між рухомими частинами кокиля і спеціальні вентиляційні канали. По площині роз'єму роблять газовідвідні канали, спрямовані по можливості вгору. У місцевих поглибленнях форми при заповненні їх розплавом можуть утворюватися повітряні мішки. У цих місцях в стінці кокиля встановлюють вентиляційні пробки. При виборі місця установки вентиляційних пробок необхідно враховувати послідовність заповнення форми розплавом.

Центрувальні елементи - контрольні штирі і втулки - призначені для точної фіксації половин кокиля при його збірці. Зазвичай їх кількість не перевищує двох і розташовують їх в діагонально протилежних кутах кокиля.

Закриття і замикання кокилів, що встановлюються на машинах, здійснюється пневматичним або гідравлічним приводом рухомої плити машини. Системи нагрівання та охолодження кокиля призначені для підтримки заданого температурного режиму процесу. Застосовують електричний і газовий обігрів. Перший використовується для загального

нагрівання кокиля, другий більш зручний для загального і місцевого нагрівання.

Матеріали для кокилів

У процесі експлуатації в кокилі виникають значні термічні напруження як результат чергування різких нагрівань при заливці, а також при затвердінні виливки і охолодженні при розкритті кокиля і витяганні виливки, нанесенні на робочу поверхню вогнетривкого покриття. Крім знакозмінних термічних напружень під дією змінних температур в матеріалі кокиля можуть протікати структурні зміни і хімічні процеси. Тому матеріали, призначені для виготовлення кокиля, особливо його частин, що безпосередньо стикаються з розплавом, повинні добре протистояти термічній втомі,

- мати високі механічні властивості і зазнавати мінімальних структурних перетворень при температурах експлуатації,
- володіти підвищеною стійкістю до росту і окалиностійкістю,
- характеризуватися мінімальною дифузією окремих елементів при циклічному впливі температур,
- добре оброблятися,
- бути недефіцитними і недорогими.

Виробничий досвід показує, що для виготовлення робочих стінок кокилів придатні наступні матеріали, які в достатній мірі відповідають зазначеним вимогам:

- чавуни СЧ20, СЧ25 та ін. – кокилі для дрібних і середніх виливків з алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів, чавуну, а також кокилі з повітряним і водовоздушним охолодженням;
- чавуни ВЧ40, ВЧ45 та ін. – кокилі для дрібних, середніх і великих виливків з чавунів: сірого, високоміцного, ковкого, кокилі з повітряним і водовоздушним охолодженням;
- сталі 10, 20, Ст3, сталі 15Л, 15ХМЛ та ін. – кокилі для дрібних, середніх, великих і особливо великих виливків з чавуну, сталі, алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів;

- мідь та її сплави, леговані сталі та сплави з особливими властивостями – вставки для інтенсивного охолодження окремих частин виливків, тонкостінні водоохолоджувані кокилі, масивні металеві стрижні для виливків з різних сплавів;
- силуміни АЛ9, АЛ11 та ін. – водоохолоджувані кокилі з анодованою поверхнею для дрібних виливків з алюмінієвих і мідних сплавів.

Найбільш широко для виготовлення кокилів застосовують сірий і високоміцний чавуни, так як ці матеріали в достатній мірі задовольняють основним технологічним вимогам і порівняно дешеві. Ці чавуни повинні мати ферито-перлітну структуру. Графіт в сірих чавунах повинен мати форму дрібних ізольованих включень. У цих чавунах не допускається присутність вільного цементиту, так як при нагріванні кокиля відбудеться розпад цементиту зі зміною обсягу матеріалу, в результаті в кокилі виникнуть внутрішні напруги, що сприяють викривленню, утворенню сітки розпалу, зниженню його стійкості. До складу чавунів для кокилів з метою підвищення їх стійкості вводять до 1% нікелю, міді, хрому, а вміст шкідливих домішок (сірки і фосфору) в них повинен бути мінімальним. Наприклад, для виготовлення кокилів з високим теплонавантаженням рекомендується сірий чавун наступного хімічного складу, мас. %: 3,0 – 3,2 С, 1,3 – 1,5 Si, 0,6 – 0,8 Mn, 0,7 – 0,9 Cu, 0,3 – 0,7 Ni, 0,08 – 0,1 Ti, не більше 0,12 S, не більше 0,1 P.

Для виготовлення кокилів широко використовують також низьковуглецеві сталі марок 10, 20, а також сталі, леговані хромом і молібденом, наприклад, сталь марки 15ХМЛ. Ці матеріали мають високу пластичність, тому добре протистоять розтріскуванню при експлуатації.

Кокилі для дрібних виливків з алюмінієвих сплавів іноді виготовляють також з алюмінієвих сплавів (АЛ9 і АЛ11). Такі кокилі анодують, в результаті чого на їх робочій поверхні утворюється тугоплавка зносостійка плівка оксиду алюмінію товщиною до 0,4 мм, температура плавлення якої становить близько 2000(о) С. Висока теплопровідність стінок кокиля з алюмінію сприяє

швидкому відведенню тепла від виливки. Ці кокилі зазвичай роблять водоохолоджуваними.

Мідь також часто використовують для виготовлення робочих стінок водоохолоджуваних кокилів. З міді роблять окремі вставки, вкладиші в місцях, де необхідно прискорити відведення тепла від виливки і тим самим керувати процесом її затвердіння.

Стрижні простої конфігурації виготовляють з конструкційних вуглецевих сталей, а стрижні складної конфігурації – з легованих сталей. Для інших деталей – осей, валів, болтів тощо – використовують конструкційні сталі.

1.3.2. Взаємодія розплава із формою

Металева форма в порівнянні з піщаною має значно більшу теплопровідність, теплоємність, міцність, практично нульову газопроникність і газотворність. Цими властивостями матеріалу кокиля обумовлені розглянуті далі особливості його взаємодії з металом виливки.

1. Розплав і затверділий вилив охолоджуються в кокилі швидше, ніж в піщаній формі, тобто при однакових гідростатичному напорі і температурі заливаного розплаву заповнюваність кокиля зазвичай гірша, ніж піщаної форми. Це ускладнює отримання в кокилях виливків зі сплавів зі зниженою текучістю і обмежує мінімальну товщину стінок і розміри виливків. Разом з тим підвищена швидкість охолодження сприяє отриманню щільних виливків з дрібнозернистою структурою, що підвищує міцність і пластичність металу виливків. Однак у виливках з чавуну, що отримуються в кокилях, внаслідок особливостей кристалізації часто утворюються карбіди, ферито-графітна евтектика, що негативно впливають на властивості чавуну, оскільки знижують показники ударної в'язкості та зносостійкості. Різке підвищення твердості у відбіленому поверхневому шарі ускладнює обробку різанням таких виливків і

призводить до необхідності піддавати їх термічній обробці (відпалу) для усунення відбілу.

2. Кокиль практично непіддатливий і більш інтенсивно перешкоджає усадці виливки, що ускладнює вилучення її з форми і може викликати появу внутрішніх напружень, викривлення виливки і тріщин в ній. У той же час, непіддатлива форма не деформується через збільшення обсягу деяких розплавів при кристалізації через передсадочне розширення, наприклад, в результаті виділення графіту в чавуні. У цьому випадку зменшується небезпека формування усадочної пористості при затвердінні виливки.

При литті в кокиль відсутні похибки, викликані пружними і залишковими деформаціями піщаної форми, що знижують точність її робочої порожнини і відповідно виливки. Розміри робочої порожнини кокиля можуть бути виконані значно точніше, ніж розміри піщаної форми, і виливки в кокилях відповідно виходять більш точними. Точність виливків у кокилях зазвичай відповідає класам 5 – 9 для виливків з кольорових сплавів і класам 7 – 11 для виливків з чорних металів (ГОСТ 26645-85 (зміни № 1, 1989)). При цьому найбільша точність забезпечується для розмірів в одній частині форми. Точність розмірів у двох і більше частинах форми, а також розмірів, що оформляються рухомими частинами форми, нижча. Точність виливків, отриманих у кокилі, за масою приблизно на один клас вища порівняно з піщаними формами, при цьому забезпечується можливість зменшення припусків на обробку різанням.

3. Фізико-хімічна взаємодія металу вилівка і кокиля мінімальна, що визначає високу якість поверхні виливка. Виливки в кокилі не мають пригару. Шорсткість поверхні виливків залежить від складу облицювань і фарб, що наносяться на поверхню робочої порожнини форми, і відповідає $R(z) = 40 - 100$ мкм, але може бути і менше.

4. Кокиль практично газонепроникний і має мінімальну газотворність, що визначається в основному складом вогнетривких покриттів, що наносяться на поверхню робочої порожнини. Однак газові раковини в кокильних

виливках – явище нерідке. Причини їх появи різні, але в будь-якому випадку розташування вилівки у формі, спосіб підведення розплаву і вентиляційна система повинні забезпечувати видалення повітря і газів з кокиля при заливці.

1.3.3. Стійкість кокилів і шляхи її підвищення.

Даний показник вимірюється кількістю виливків необхідної якості, отриманих в даній кокилі до виходу її з ладу. Приблизна стійкість кокилів наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Приблизна стійкість кокилів

Заливаемый сплав	Размер отливки	Материал кокиля	Стойкость кокиля, число отливок
Сталь	Мелкие	Чугун	400 – 600
	Средние		100 – 300
	Крупные		50 – 100
	Очень крупные		10 – 50
Чугун	Мелкие	Чугун	1000 – 8000
	Средние		1000 – 3000
	Крупные		200 – 1000
	Крупные	Сталь 15Л	400 – 1000
Медные	Мелкие	Медные сплавы	3000 – 10000
	Средние		3000 – 8000
	Мелкие	Чугун	1000 – 10000
	Средние		1000 – 8000
Алюминиевые, магниевые, цинковые	Мелкие	Сталь	1000 – 1500
	Средние		500 – 3000
Алюминиевые, магниевые, цинковые	Мелкие	Чугун	Сотни тысяч
	Средние		Десятки тысяч
	Крупные		Несколько тысяч

Основною причиною руйнування кокиля є складні термохімічні процеси в матеріалі кокиля, що викликаються нерівномірним циклічним нагріванням і охолодженням його робочої стінки у всіх трьох її вимірах (за товщиною, довжиною і шириною).

Це призводить до появи неоднорідного, що змінюється зі зміною температури поля напружень в стінці кокиля, що викликає її пружні і пластичні деформації. Для останніх характерні залишкові деформації і напруження. Теоретично показано, що в поверхневому шарі кокиля нереалізована термічна деформація зазвичай в 2 рази перевищує деформацію, що відповідає межі плинності матеріалів при певній температурі. Тому в кожному циклі термічного навантаження (залівка – видалення виливки) деформація стиснення змінюється деформацією розтягування, що призводить до термічної втоми матеріалу кокиля.

Термічні напруження виникають також внаслідок структурних перетворень і зростання зерна матеріалу кокиля, що протікають тим інтенсивніше, чим вища температура його нагрівання. Здатність кокиля витримувати термічні напруження залежить від механічних властивостей його матеріалу при робочих температурах кокиля. Ці властивості різко знижуються при нагріванні. Наприклад, межа плинності сталі 15 при нагріванні до температури 600°C зменшується приблизно в 3 рази.

Рівень напружень, що виникають в кокилі, залежить також від конструкції кокиля – товщини його стінки, конструкції ребер жорсткості тощо. Наприклад, тонкі ребра жорсткості великої висоти призводять до появи тріщин на робочій поверхні кокиля, а низькі ребра можуть не забезпечити жорсткість кокиля і привести до викривлення.

Стійкість кокилів забезпечується конструктивними, технологічними та експлуатаційними методами.

Конструктивні методи базуються на правильному виборі матеріалів для кокилів залежно від переважаючого виду руйнування, розробці раціональної конструкції кокиля.

Термічні напруження, що призводять до зниження стійкості кокиля, є наслідком нереалізованої термічної деформації: менш нагріті частини кокиля (шари робочої стінки, прилеглі до зовнішньої неробочої поверхні, ребра жорсткості) перешкоджають розширенню нагріваючої металом відливки

частини кокиля. Зменшити напруження можна, якщо термічна деформація нагрітої частини відбувається безперешкодно. Цього можна досягти, якщо розчленувати робочу стінку кокиля на окремі елементи в поздовжньому або поперечному напрямках. Тоді внаслідок зазорів між елементами кокиля кожен з них при нагріванні розширюється вільно.

Для підвищення стійкості кокилів використовують змінні вставки, що оформляють робочу порожнину кокиля. Завдяки зазорам між корпусом і вставкою, термічна деформація вставки протікає вільно, напруження, що виникають в ній, знижуються, стійкість кокиля зростає. Найбільш ефективно використання змінних вставок в багатомісних кокилях.

Технологічні методи спрямовані на підвищення стійкості поверхневого шару робочої порожнини, що має найбільшу температуру при роботі кокиля. Для цього використовують поверхнєве легування, алітування, силіціювання, термічну обробку різних видів, наплавлення, напилення на робочу поверхню матеріалів, що підвищують стійкість кокиля. Кожен з цих способів призначений для підвищення стійкості кокиля до руйнувань певного виду.

1.3.4.Особливості технологічних покриттів

Покриття повинно добре наноситися і утримуватися на поверхні форми, протистояти різким коливанням температури, при нагріванні не виділяти газів, здатних розчинятися в металі виливки або створювати на її поверхні газові раковини.

До складу покриття входять вогнетривкі матеріали, сполучні речовини, активізатори і стабілізатори

В якості вогнетривких матеріалів застосовують пилоподібний кварц, шамотний порошок, оксиди і карбіди металів, тальк, графіт, азбест.

Сполучними для покриттів є рідке скло, вогнетривка глина, сульфідний луг.

Активізатори застосовують для поліпшення схоплювання покриття з поверхнею кокиля. В якості активізаторів використовують

- для шамотних і азбестових покриттів тетраборат натрію $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (буру) і гідроксид бору $\text{B}(\text{OH})_3$ (борну кислоту H_3BO_3),
- для маршалітових – кремнефтористий натрій Na_2SiF_6 ,
- для талькових – тетраборат натрію, гідроксид бору або марганцевокислий калій.

Стабілізатори застосовують для того, щоб зменшити седиментацію (осідання) вогнетривких складових покриття. З цією метою зазвичай використовуються поверхнево-активні речовини ОП5, ОП7.

Склади вогнетривких покриттів, рекомендовані Ю.А. Степановим та ін., наведені в табл. 1.3. Склади покриттів і фарб, рекомендованих для виробництва чавунного лиття в кокиль Н.Г. Гіршовичем, наведені в табл. 1.4. В даний час в Україну поставляється досить велика кількість готових протипригарних покриттів, щоб не витратити час і трудові ресурси на їх приготування. Зокрема, ТОВ «Інженерна компанія САС», м. Київ, спеціально для кокильного лиття поставляє в ISO 9001-2009, ТУ РБ 100196035.010-2007.

Таблиця 1.3

Склад вогнетривких покриттів (фарб) кокилів

Призначення	Склад	Вміст, мас. %	Коеф. теплопровідності, Вт/м·К
Для виливків з Al сплавів	1. Окис цинку Азбест прожарений (пудра) Рідке скло	15	0,41

Призначення	Склад	Вміст, мас. %	Коеф. теплопровідності, Вт/м·К
	Вода	5	—
	2. *Азбест прожарений	3	—
	Крейда мелена	77	—
	Рідке скло	8,7	0,27
	Вода	17,5	—
		3,5	—
		70,3	—
Для виливків із Mg сплавів	3. Тальк	18	0,39
	Борна кислота	2,5	
	Рідке скло	2,5	
	Вода	77	
Для виливків із чавуну	4. Пилоподібний кварц	10	0,58
	Рідке скло	3	—
	Вода	87	—
	5. *Мелений шамот	40	0,25
	Рідке скло	6	—
	Вода	54	—
	Марганцевокислий калій	0,05% (понад 100%)	—
Для виливків зі сталі	Вогнетривка складова (циркон, карборунд, оксид хрому)	30	
	Рідке скло	5	
	Борна кислота	0,7	
	Вода	Решта до щільності 1,1-1,2 г/см ³	

* Склади застосовують для покриття поверхні ливників і випарів

Таблиця 1.4

Склад покриттів і фарб для кокилів (масова частка, %)

Найменування матеріалу	Номер складу							
	покриття				фарби			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Сажа ТМ-15	15	—	—	—	10	4	—	—
Вогнетривка глина	15*	2	—	—	—	4	—	—
Тальк мелений	—	23	—	—	—	—	—	—
Кварц мелений пилоподібний	—	—	—	10-15	—	—	—	—
Шамот мелений	—	—	40	—	—	—	—	—
Кріпитель 4ГУ	—	—	—	—	—	—	100	—
Копоть ацетиленова	—	—	—	—	—	—	—	100
Калій марганцевокислий (понад 100%)	—	—	0,05	—	—	0,05	—	—
Бура (понад 100%)	—	1,2	—	—	—	—	—	—
Рідке скло, щільність 1,43-1,52, модуль 2,4-3,0	7	4	6	3-5	—	8	—	—
Змочувач ОП-7 або ОП-10	0,5	—	—	—	0,5	—	—	—
Вода	62,5	71	54	87-80	89,5	84	—	—

* У вигляді 20%-ного розчину у воді

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОКІЛЬНОГО ЛИТТЯ

Нині найбільш відомі такі програмні продукти, як LVMFlowCV, ProCAST, MAGMASOFT, CastCAE, SOLIDCast, PoligonSoft і WinCast. Вони різняться за застосовуваними чисельними методами, видами лиття, що аналізуються, об'ємом бази даних матеріалів, використовуваними операційними системами, одержуваними результатами, вимогами до апаратної підтримки тощо.

Програма моделювання ливарних процесів LVMFlowCV

Версія LVMFlowCV може використовуватися практично для всіх ливарних процесів: лиття в землю; лиття в кокіль; лиття під високим тиском; лиття під низьким тиском; лиття за виплавлюваними моделями.

Застосування LVMFlowCV дає змогу оптимізувати режими заливки сплаву і затвердіння виливки, оптимізувати ливникову систему, аналізувати процеси лиття під час використання різних матеріалів (вуглецеві сталі; леговані сталі; чавуни сірі, білі, ковкі та високоміцні; алюмінієві, титанові, бронзові, магнієві сплави, а також сплави на нікелевій і мідній основі та ін.).

Також LVMFlowCV істотно прискорює дослідницьку роботу з проєктування виливків, забезпечуючи гарний збіг результатів розрахунку з експериментальними даними.

Програма моделювання ливарних технологій ProCAST

Система ProCAST базується на методі кінцевих елементів, що забезпечує високу точність опису в комп'ютері етрії виливка та форми, розрахункової моделі, врахування більшості процесів теплового, кристалізаційного, металургійного, напружено-деформованого характеру.

Види модельованих технологій: лиття в піщані форми, лиття в кокіль, лиття в оболонкові форми, лиття за виплавлюваними моделями, лиття під

високим тиском, лиття під регульованим тиском (включно з литтям під низьким тиском, з протитиском і вакуумним всмоктуванням), лиття за моделями, що газифікуються, відцентрове лиття, безперервне і напівбезперервне лиття, тиксолиття (лиття металу в твердорідкому стані).

В модуль VisualCAST включені інструменти для більш точного визначення початкових умов технологічного процесу: розрахунок швидкості заливки зі стопорного ковша, контроль рівня заповнення металу в ливниковій лійці, розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі для каналів охолодження форми та ін.

База даних VisualCAST містить спеціалізований термодинамічний модуль для розрахунку теплових і механічних властивостей сплавів за необхідним хімічним складом. Таким чином, повністю виключається проблема пошуку необхідних властивостей вітчизняних марок сплавів або підбір їхніх аналогів із зарубіжних стандартів.

Розраховувані теплофізичні властивості сплаву: теплопровідність, щільність, ентальпія, в'язкість, крива виділення твердої фази, температури Ліквідуса і Солідуса.

Отримувані механічні властивості сплаву: модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнт лінійного розширення, межа плинності, розширення, межа плинності,

Програма моделювання ливарних процесів CastCAE

Для проведення розрахунків у програму CastCAE необхідно завантажити гкомп'ютері етричну модель порожнини ливарної форми і вказати межі області, заповненої піщано-глинистою сумішшю. Гкомп'ютері етрична модель може бути приготована в будь-якій CAD-системі, конвертованій у формат STL.

На гкомп'ютері етричній моделі виливки і форми будується сітка, що складається з кубічних осередків однакового розміру. Потім з бази даних обирають матеріали для виливки і форми. Широта бази даних матеріалів є

важливою характеристикою програми, оскільки властивості матеріалу залежать від температури, водночас відсутність у базі даних потрібного матеріалу викликає необхідність додаткового дослідження для визначення властивостей матеріалу.

Після проведення розрахунків програма видає користувачеві велику кількість різних результатів, що дають змогу всебічно проаналізувати процес. Можна побачити процес заповнення форми, поле векторів швидкостей розплаву, температурне поле, значення критерію Ніяма в різних точках виливки, ступінь пористості металу, ступінь проникності його X-променями.

Існує два види представлення результатів: зміна поля в часі та зміна поля в просторі (томографія - можна переглянути в будь-якому шарі елементів).

Модуль CastDesign, що входить до складу пакета, дає змогу оцінити ступінь використання живильних елементів і визначити зони їхньої дії, що в низці випадків дає змогу зменшити вагу виливка.

Модуль CastCheck дає змогу оцінити технологічність проекрованої деталі.

Застосування програми CastCAE дає змогу заощадити 15-20% використовуваної енергії, збільшити коефіцієнт використання металу до 0,75 завдяки зниженню ваги виливка, скоротити час процесу, а отже, підвищити продуктивність. CastCAE суттєво знижує відсоток браку в середньому

Програма моделювання ливарних процесів SOLIDCast

SOLIDCast може застосовуватися для моделювання заливки сірого і ковкого чавунів, сталей, алюмінієвих, магнієвих, мідних і нікелевих сплавів. За допомогою SOLIDCast можливо змодельовати процеси лиття в землю, в кокіль, за виплавлюваними моделями. Програма дає змогу побачити процес кристалізації виливки, виявити та виправити помилки існуючої технології лиття. Основні функції програми:

Збір даних (Температура) - використовується для створення низки віртуальних термопар, які допоможуть відстежити зміну температури у

виливку і формі.

Раннє заповнення форми з нахилом - дає змогу визначити відсоток нахилу форми, за якого більша частина або весь метал буде залитий у форму. Заповнення форми відбудеться до завершення нахилу. Наприклад, у разі нахилу форми на 90° можна встановити, щоб 90% усього об'єму металу заливалося під час нахилу форми наполовину (45°).

Форма фільтра - створює прямокутний елемент фільтра із зазначеною пропускною здатністю в STL-файлі. STL-файл можна додати до моделі в SOLIDCast для розрахунку заповнення форми сплавом через фільтр.

Параметри розрахунку - дає змогу регулювати такі параметри налаштування як: зменшення коефіцієнта теплопередачі між формою і металом у точці солідус (для постійних форм); живлення теплових центрів (для безнадливних чавунних виливків); моделювання лиття під низьким тиском; налаштування для заповнення форми при горизонтальній та вертикальній ЛПС; установка часового кроку збереження даних термопар.

Програма моделювання ливарних процесів PoligonSoft

СКМ ЛП "ПолігонСофт" (PoligonSoft) - пакет програм, що дає змогу моделювати заповнення форми розплавом, перенесення тепла під час кристалізації (теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням), утворення усадочних дефектів (раковини, макро- і - мікропористість), напруження та деформації (включно з критерієм утворення тріщин). Крім того, "ПолігонСофт" має спеціальні можливості для моделювання спрямованої кристалізації, безперервного лиття, лиття під високим і низьким тиском і критеріального аналізу отриманих результатів.

СКМ ЛП "ПолігонСофт" може бути використана для моделювання більшості ливарних технологій: лиття в піщану форму з будь-яким сполучним; лиття в кокіль (у тому числі охолоджуваний або підігрітий); лиття за виплавленими моделями; лиття у вакуумі (в тому числі спрямованої кристалізації); лиття за процесом вакуумно-плівкового формування; лиття під

високим і низьким тиском; безперервного лиття; рідке штампування (лиття з кристалізацією під тиском); затвердіння з урахуванням підведення електричного струму.

За допомогою програми можна змодельовати і проаналізувати прогрів та охолодження форми перед заливкою (в атмосфері і вакуумі); процес заповнення форми розплавом з отриманням інформації про поле швидкостей і температуру розплаву, можливі "перемерзання" живильних каналів і непроливи; процес зміни температури виливки і форми; процес затвердіння виливки; процеси формування усадочних раковин, макро- і мікропористості; фільтраційну задачу, включно з моделюванням полів тиску; напружено-деформований стан виливка, включно з викривленням і прогнозом утворення гарячих і холодних тріщин; різні завдання, засновані на постобробці розрахункових полів, що дають змогу прогнозувати механічні властивості, пригар, структурні параметри тощо.

Система дає змогу:

- ✓ побачити вилівок/форму під будь-яким кутом;
- ✓ створити будь-які перерізи як для виливка і форми спільно, так і окремо;
- ✓ зазирнути в тіло виливки і спостерігати за перебігом усіх процесів в об'ємі;
- ✓ вивести будь-які розрахункові дані у вигляді кольорних полів;
- ✓ вивести інформацію про швидкість і напрямок потоку у векторному вигляді;
- ✓ показати ізоповерхні або області вище або нижче заданого значення;
- ✓ встановити "датчики" в будь-якому місці виливки/форми на будь-який розрахунковий параметр;
- ✓ переглянути графіки, записані за допомогою "датчиків";
- ✓ записати анімаційний файл і багато іншого.

У СКМ ЛП "ПолігонСофт" передбачено критеріальний розрахунок і аналіз багатьох властивостей і параметрів (структура, твердість, пригар, розмиви форми і тощо) за розрахунковими даними. Крім наявних готових критеріїв, можна задати власні критерії аналізу, необхідні для

конкретного виробництва.

Реалізовано технології багатопотокового опрацювання для сучасних багатоядерних систем, що дає змогу істотно прискорити процес розрахунку і повністю використовувати обчислювальний потенціал сучасних процесорів.

На підприємствах України найбільш застосовуваними є такі системи автоматизованого моделювання ливарних процесів (САМ ЛП):

- LVMFlowCV - система моделювання теплових і гідродинамічних процесів лиття в реальних цехових умовах для широкої номенклатури сплавів, матеріалів форми під час гравітаційного лиття і лиття під тиском;

- ProCast - моделювання лиття в піщану форму, спеціальні способи лиття різних сплавів; дає змогу моделювати процеси заповнення форми, прогнозувати структуру більшості багатокомпонентних промислових сплавів, здійснювати розрахунок залишкових напружень і пластичних деформацій у виливку;

Перераховані системи дають можливість реалізувати комп'ютерну розробку технології виробництва виливків, моделювання ливарних процесів, проєктування та виготовлення ливарного оснащення. ливарного оснащення. У табл. 2.1 наведено порівняльні характеристики програм.

Таблиця 2.1.

Аналіз програм для моделювання ливарних процесів

Функції	Назва програм для моделювання ливарних технологій				
	LVMFlow	ProCAST	CastCAE	SOLIDCast	Полігон Soft
1. імпорт 3D моделей з інших CAD систем	+	+	+	+	+
2. Зручний інтерфейс із довідковою системою	+	+	-	--	+
3. Доповнення модулями	+	+	+	+	-
4. Банк основних матеріалів	+	+	+	+	+
5. Бази основних форм для лиття	+	+	+	+	+
6. Аналіз теплової картини	+	+	+	+	+
7. Робота з чавунами	-	-	-	+	-

8. Функція зворотної задачі для розрахунку початкових умов за експериментальними	-	+	-	-	-
9. Лиття під низьким і високим тиском	+	+	-	+	+
10. Зміна гкомп'ютері етричних параметрів	+	+	-	-	+
11. аналіз гкомп'ютері ертрії	+	+	-	-	+
12. аналіз заповнення форми	+	+	+	+	+
13. Зміна технологічних параметри	+	+	+	+	+
14. Розрахунок напруги і деформації	+	+	-	-	+
15. Аналіз якості та витрати часу на виріб	+	-	+	+	+
16. Розрахунок процесу охолодження та затвердіння	+	+	+	+	+
17. Формування параметрів заливки	+	+	-	+	+
18. економія пам'яті під час зберігання даних	+	-	-	-	-
19. Банк паспортів	+	-	-	-	+
20. Аналіз процесу кристалізації і усадочних дефектів	+	+	+	+	+
21. Моделювання заповнення стрижневих ящиків піском під час піскодувному процесі	-	+	-	-	-
23. Розрахунок будь- яких видів гравітаційної заливки	+	-	-	+	-

У результаті порівняльного аналізу програм для проектування кокіля і моделювання процесу отримання виливки за достовірністю результатів моделювання, їх наочним представленням, широкими можливостями і зручним інтерфейсом було обрано програму CAE для аналізу різних ливарних технологій LVMFlow.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКИ

3.1. Призначення деталі та її опис

В електричних машинах застосовуються різні за конструкцією підшипникові щити, що відрізняються один від одного формою, розмірами і матеріалом, з якого вони виготовлені. Підшипникові щити слугують сполучною деталлю між статором і ротором. Незважаючи на велику різноманітність конструкцій щитів, за призначенням їх можна розділити на два види:

- а) підшипникові щити для електричних машин на лапах, що слугують тільки сполучною деталлю;
- б) фланцеві підшипникові щити для електричних машин без лап, які є не тільки з'єднувальною деталлю, а й слугують для встановлення і кріплення електричної машини на виконавчому механізмі. Такі підшипникові щити на відміну від звичайних мають приєднувальний фланець.

На рис. 3.1, 3.2 наведено креслення деталі "Щит підшипниковий".

поверхонь щита залежить довговічність роботи підшипників і деякі енергетичні показники електричних машин. У зв'язку з цим до підшипникових щитів висувають певні вимоги: замок і отвір під підшипник мають бути концентричними, тобто мати спільну вісь. У фланцевих підшипникових щитів із цими поверхнями має бути концентричною також приєднувальна поверхня (заточка фланця, якою електрична машина з'єднується з виконавчим механізмом). Отвір під підшипник обробляється з високою точністю (1-2-й клас) і чистотою поверхні (6-8-й клас), які призначаються залежно від того, з якого класу підшипниками вони сполучаються.

Заготовки підшипникових щитів отримують методом лиття зі сталі, чавуну та алюмінію (машини малих габаритів) для асинхронних двигунів і лише сталі - для електричних машин постійного струму.

Наш виливок належить до 5-ї групи за ГОСТ 977-88, його виготовляють литтям сталі 30Л у кокіль, він має фасонні контури, через конфігурацію деталі, що містить 6 отворів, застосовують піщані клеєні стрижні. Для зручності вилучення з форми, виготовляється у формі з однією горизонтальною площиною роз'єму. Точність виливки - за ГОСТ 26645-85. Габаритні розміри деталі - 90x97x52 мм.

Під час лиття в металеві форми припуски на механічну обробку призначаються менші й допуски на розміри жорсткіші, ніж під час лиття в піщані форми .

Для габаритів деталі 90x97x47 мм приймаємо припуски оброблюваних зовнішніх і внутрішніх поверхонь від 0,5 до 1,5 мм.

Зважаючи на складність розрахункового визначення величини фактичної усадки виливків, особливо великих, рекомендується під час призначення усадки керуватися досвідом лиття подібних деталей. Після уточнення величини усадки проводять доведення форм.

Під час розігрівання металевої форми її розміри збільшуються, що особливо позначається на розмірах виливків великих габаритів. Тому під час підрахунку розмірів робочої порожнини форми для великих виливків

необхідно враховувати теплове розширення порожнини форми за нормальної її роботи.

Для сталі 30Л лінійна усадка становить 2,2-2,3%.

До кокільних виливків висуваються такі вимоги:

- ✓ товщина стінок має бути достатньою, щоб форма цілком заповнилася рідким металом за нормального технологічного режиму;
- ✓ у виливків не повинно бути різких переходів від товстих стінок до тонких, великої кількості частин, що виступають, заглиблень і гострих внутрішніх кутів;
- ✓ конструкція виливка повинна по можливості забезпечувати отримання її зовнішніх контурів за рахунок поверхні кокіля, тобто без застосування стрижнів.

Радіуси заокруглень внутрішніх кутів виливки приймаємо в 1 мм, ухили на зовнішніх вертикальних стінках по периметру виливки - 3° , ухили на стінках внутрішніх порожнин виливка, утворених піщаними стрижнями - 1° - $1,5^{\circ}$.

Шляхом побудови ескізів на плоских поверхнях і в просторі та виконанням над ними операцій твердотілого або поверхневого моделювання можна отримати гкомп'ютері етричні форми будь-якої складності. Креслення виливки (рис. 3.3), а також гкомп'ютері етричні моделі виливки з ливниковою системою (рис. 3.4), формотворчих елементів і модельно-стрижневого оснащення виконані в параметризованій системі автоматичного проектування SolidWorks (рис 3.5 та 3.6).

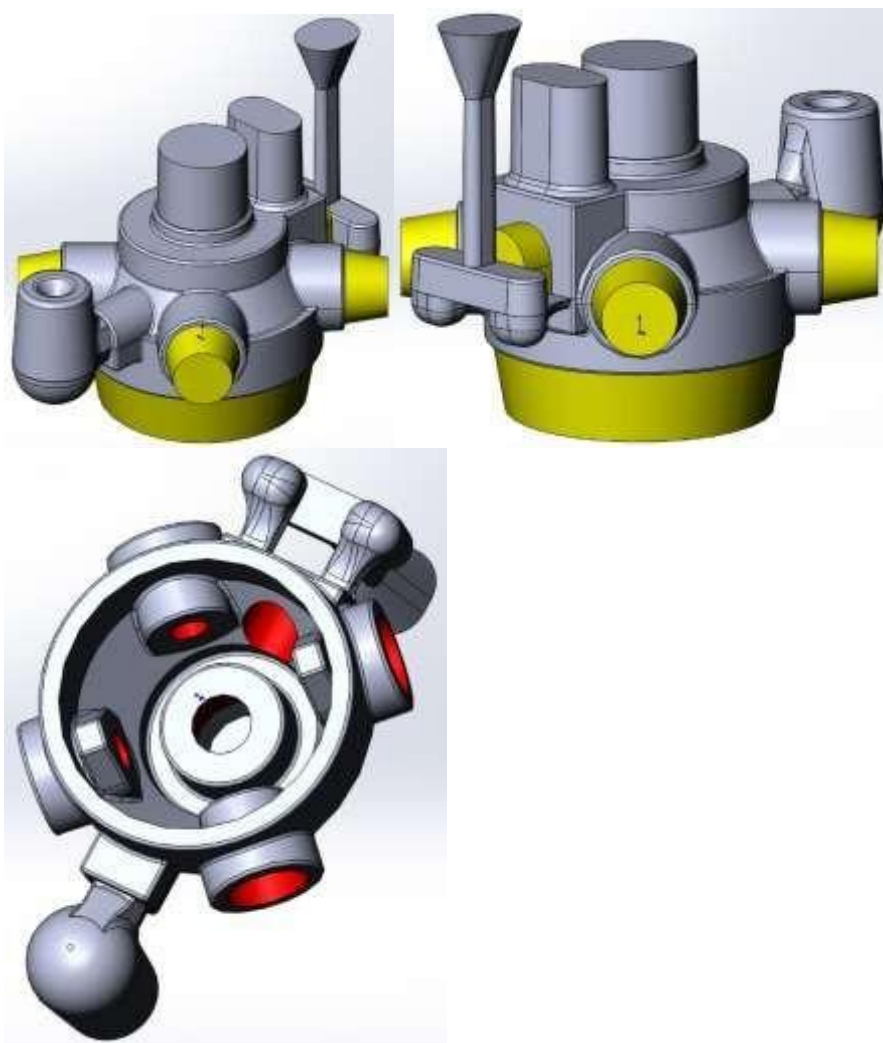


Рис. 3.4. Виливок із ливниковою системою, створений у SolidWorks

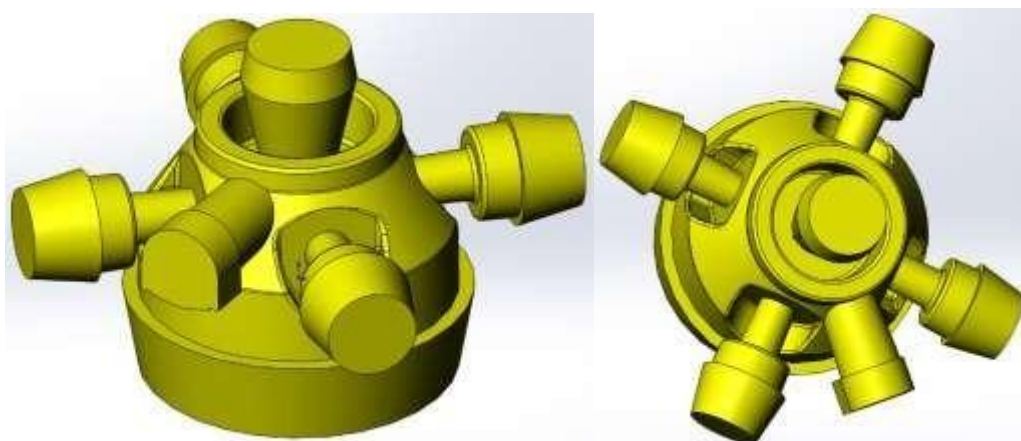


Рис.3.5. 3D моделі складання піщаних стрижнів

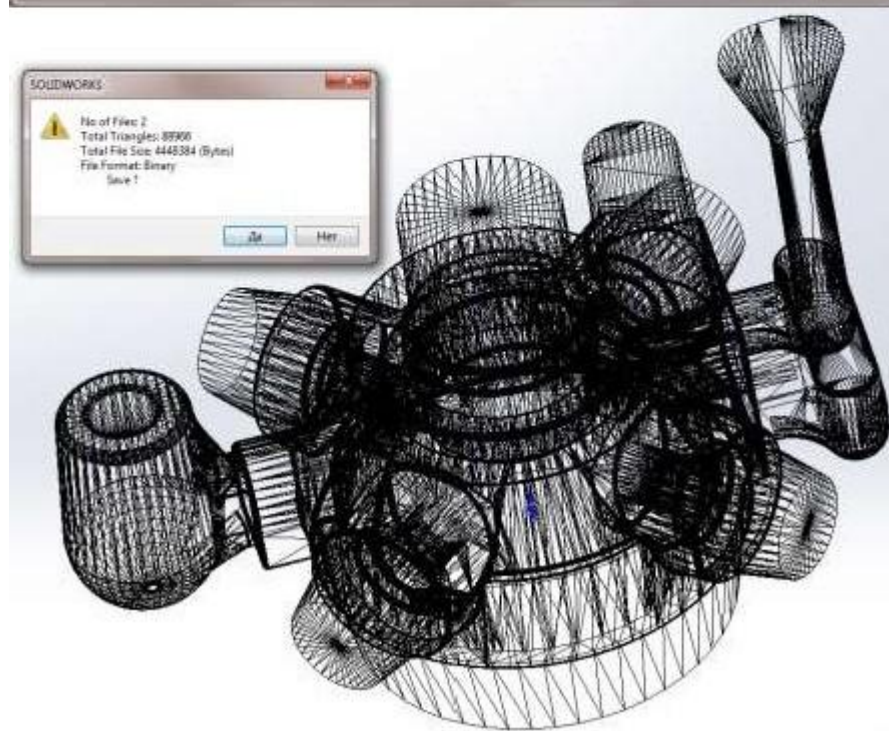
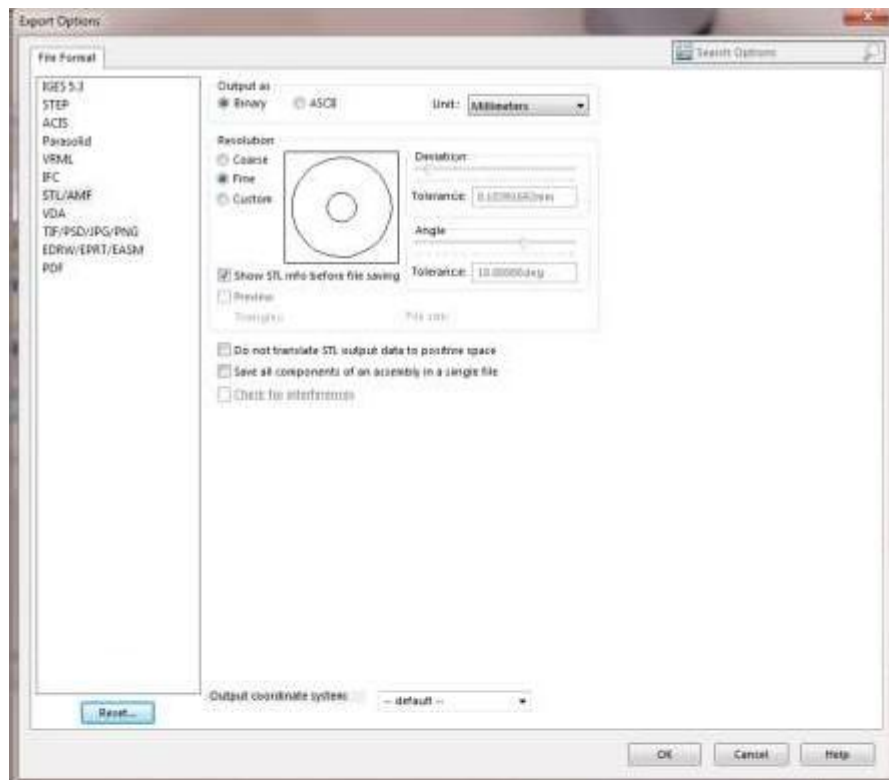


Рис. 3.6. Переведення гкомп'ютері етрії SolidWorks у формат STL

3.2. Розробка кокільного оснащення

Після ухвалення рішення про доцільність виготовлення виливків у кокілі розробляється технологія виробництва виливки за схемою, наведеною на рис. 3.7.

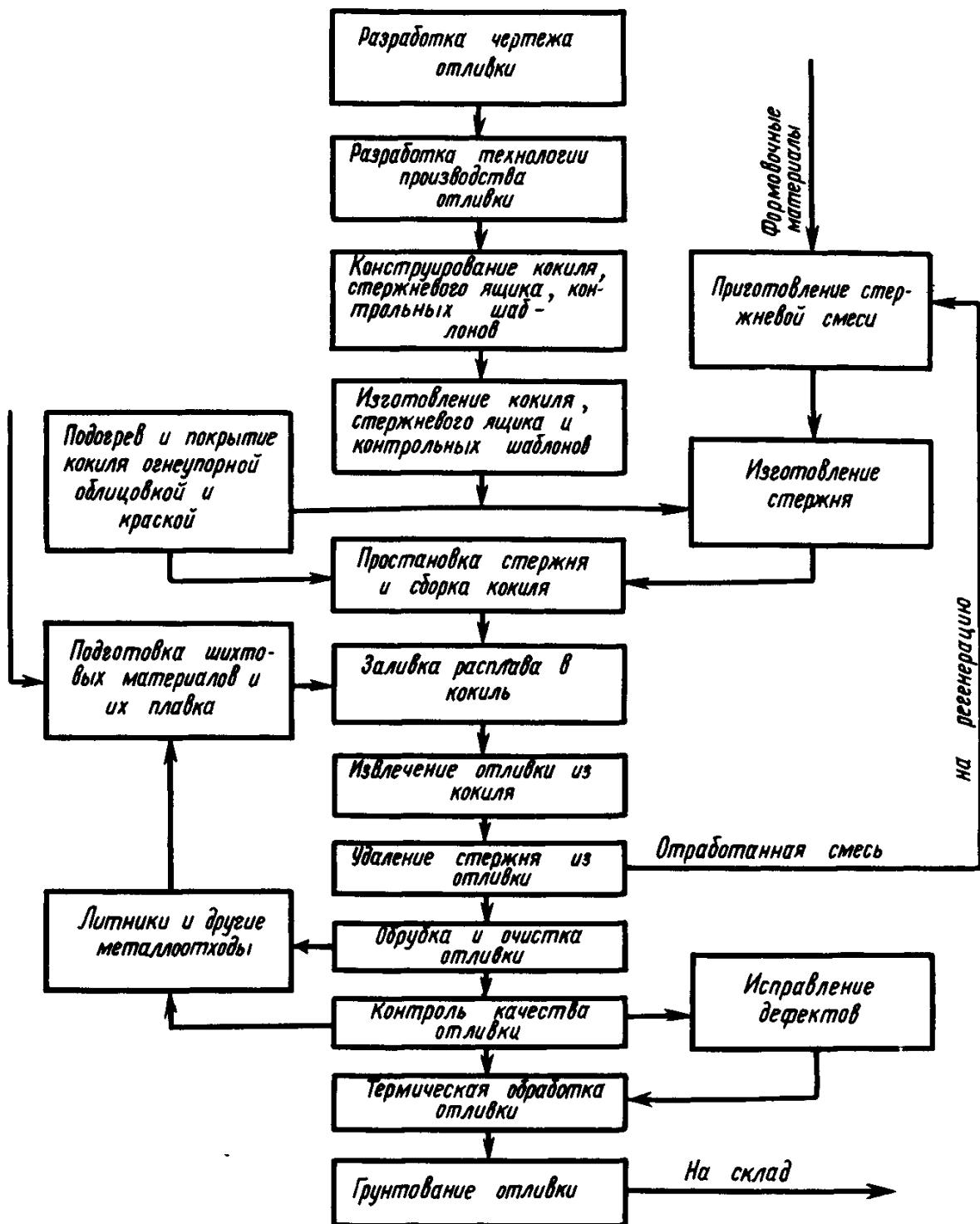


Рис. 3.7 Схема технологічного процесу виготовлення виливків у кокілях

Слід зазначити, що залежно від складності виливка, конструкції кокіля, наявності піщаних або металевих стрижнів, виду сплаву виливка та якості його виготовлення низка операцій, показаних на рис. 3.6, може не виконуватися. наприклад, виготовлення разового стрижня, проставляння стрижня в кокіль, видалення стрижня з кокіля, виправлення дефектів виливки, термічна обробка виливки та його ґрунтування.

Існують певні вимоги до конструкції кокіля, яких необхідно дотримуватися під час проектування:

- ✓ Конструкція ливникової системи повинна забезпечувати спокійне і рівномірне надходження металу у форму без утворення бризок. Якщо це важко здійснити, слід вживати заходів до того, щоб удар металу сприймався самою ливниковою системою або стрижнем. Під час виготовлення сталевих виливків обов'язково влаштовувати ливникову систему в піщаній частині форми.
- ✓ У всіх випадках необхідно уникати потрапляння струменя рідкого металу на виступаючі частини металевої форми.
- ✓ Під час виготовлення кокілів слід домагатися точного з'єднання частин форми, щоб під час її експлуатації метал не потрапляв у місця зчленування.
- ✓ Конструкція кокіля повинна забезпечувати вільну усадку і вибивання виливки.

Для отримання внутрішньої порожнини у виливку, а іноді для виконання і зовнішніх частин застосовуються сухі або сирі стрижні. В окремих випадках їх замінюють металевими вкладишами або металевими стрижнями. Сирі стрижні застосовують у тих випадках, коли від них вимагається велика податливість.

Для виливків з алюмінієвих і магнієвих сплавів кокільна форма і стрижні робляться металевими; для виливків з чорних металів форма робиться металевою, а стрижні, як правило, піщаними.

Під час виготовлення різних кокілів необхідно забезпечувати

достатню чистоту поверхонь роз'єму, щоб уникнути утворення великих заливок. Для точних виливків простої конфігурації застосовуються кокілі з повною обробкою робочих поверхонь і місць сполучень. Для виливків середньої точності проводять часткову обробку кокілів, головним чином знаків стрижнів і місць з'єднання частин форми. Під час виробництва виливків складної конфігурації, коли їх обробка пов'язана з труднощами, а також у тих випадках, коли не потрібна висока точність виливків, кокілі механічно не обробляють.

Причинами виходу з ладу кокілів є:

- ✓ вигорання робочих поверхонь від теплового впливу рідкого металу;
- ✓ тріщини на робочих поверхнях, що утворюються від багаторазового одностороннього нагрівання та охолодження стінок форми;
- ✓ викривлення з втратою первинних розмірів (переважно великих і складних форм);
- ✓ механічні пошкодження при поганому поводженні з кокілями під час їх експлуатації;
- ✓ груба механічна обробка робочих поверхонь.

Стійкість металевих форм залежить від властивостей металу, що відливається, і металу форми; від конструкції ливникової системи; від конструкції і розмірів форми; від якості виготовлення форми і правильної її експлуатації.

Для дрібних виливків зі сталі за температури плавлення 1450°C з піщаними стрижнями стійкість кокілів становить 400-600 заливок.

Поверхня робочої частини кокіля під час його експлуатації зазнає різких температурних змін, оскільки під час заливання рідким металом кокіль піддається швидкому нагріванню, а після видалення виливки - охолодженню. Тому матеріал кокілів повинен мати достатню теплостійкість, протистояти вигоранню, зростанню і викривленню. Цим вимогам найбільше задовольняє

сірий чавун Сталь застосовується рідше. Перед заливанням робоча поверхня кокіля обприскується захисною рідиною, наприклад суспензією силіманіту Al_2SiO_5 .

Кокілі виготовляються різними методами. Заготовки кокілів нескладної конфігурації відливають у сирі форми або на металеву плиту (лиття в металеві форми здійснюють у разі серійного виробництва заготовок кокілів, до того ж для поліпшення їхньої якості застосовують метод кристалізації під пресовим тиском). Заготовки кокілів складнішої конфігурації виготовляють литтям у сухі форми, а за дуже складної конфігурації заготовки відливають у стрижнях.

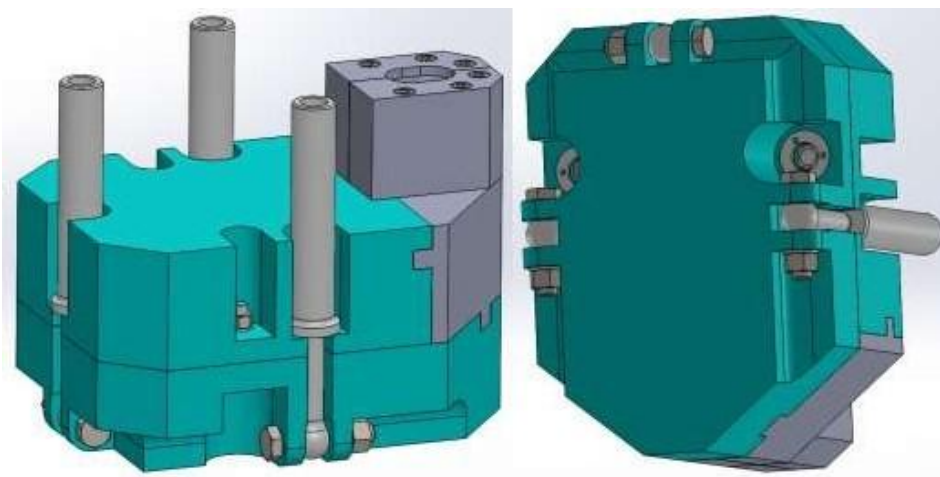
Оскільки вилівок зі сталі складної конфігурації, то обираємо матеріал для напівформ кокіля чавун з таким хімічним складом (таблиця 3.1).

Таблиця.3.1

Хімічний склад чавуну для виготовлення кокіля

Вуглець %	С, %	Кремній Si, %	Марганець Mn, %	Фосфор P, %	Сірка S, %
3,3-3,7		1,8-2,8	0,6-0,7	0,1-0,2	$\leq 0,12$

Таким чином, після розроблення кокільного оснащення, вибору матеріалу кокіля і моделювання процесу лиття проєктують 3D-модель кокіля для виготовлення підшипникового щита (рис. 3.7).



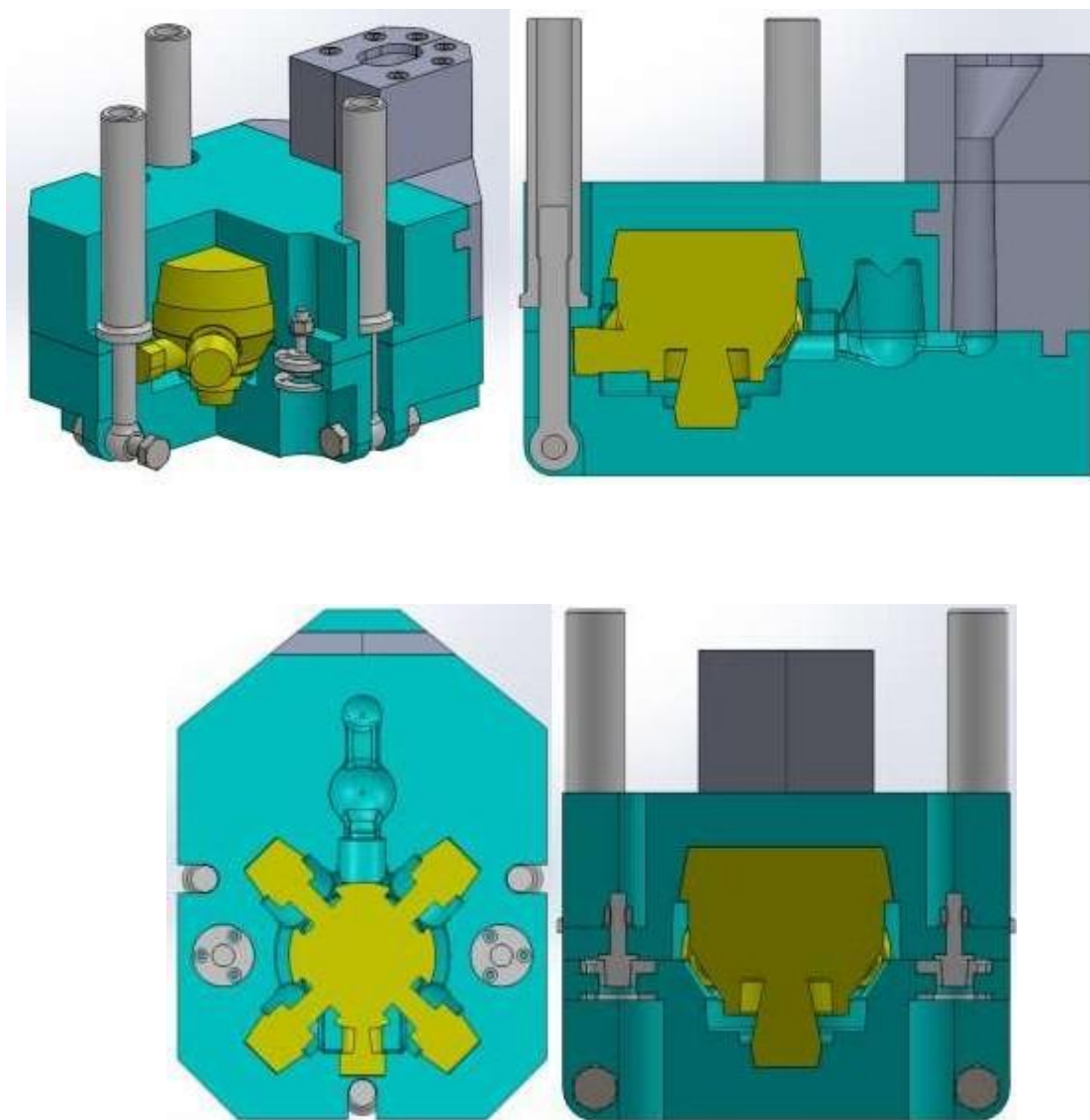


Рис.3.7. 3D-модель кокіля для виготовлення підшипникового щита

Конструкція спроектованого кокіля задовольняє необхідним вимогам:

- рівномірне надходження металу у форму без утворення бризок;
- точне з'єднання частин форми;
- забезпечення вільної усадки і вибивання виливки.

3.3. Моделювання процесу лиття в системі LVMFlow

Систему LVMFlow використано для комп'ютерного моделювання процесів, що відбуваються в ливарній формі та оптимізації технологічного

процесу виготовлення виливки. Ядром системи є рівняння тепломасопереносу. САМ ЛП LVMFlow CV заснована на методі контрольованого об'єму (МКО) і дає змогу:

- простежити заповнення форми металом,
- розрахувати температурні поля виливки і форми,
- зробити розрахунок поля рідкої фази,
- розрахувати поле швидкостей,
- розрахувати конвективні потоки,
- розрахувати поле тисків,
- оцінити можливі дефекти у виливку,
- розрахувати напруження і деформацію виливки,
- оцінити роботу фільтрів,
- врахувати багаторазове використання форми,
- розробити технологію ЛПД,
- розрахувати розміри надливів і ливникової системи,
- врахувати поведінку газу в порожнині форми під час заповнення,
- прогнозувати захоплення повітря в процесі заливки,
- підібрати розміри ізо- та екзотермічних оболонок для надливів

Аналіз технологічного процесу виготовлення виливків у системі комп'ютерного моделювання ливарних процесів LVMFlow складається з таких прийомів та етапів:

1. Конвертація гкомп'ютері етрії виливки у формат LVMFlow.
2. Створення розрахункової кінцево-об'ємної сітки.
3. Завдання властивостей матеріалів.
4. Завдання граничних умов.
5. Проведення розрахунку температурних полів.
6. Контроль змін розрахункових параметрів.
7. Розрахунок напружень і деформацій у виливку.

До складу LVMFlow входить кілька модулів, які виконують різні

функції (табл. 3.2).

Таблиця 3.2.

Модулі програми LVMFlow

Назва модуля	Функції, що виконуються
Системні установки	Встановлення параметрів за замовчуванням, які використовуються всіма модулями пакета (мова інтерфейсу користувача, система одиниць вимірювання, директорія файлів бази даних тощо)
3D-Імпорт	Імпорт 3D-моделі з комп'ютера в формат LVMFlow, зміна орієнтації виливки, підготовки ливарної конфігурації, завдання кольорі тілам виливки.
База даних	База теплофізичних даних сплавів і матеріалів форм. Містить теплофізичні дані матеріалів і сплавів, які використовуються в моделюванні (теплоємність, теплопровідність, густина, коефіцієнти теплопереносу тощо) у вигляді температурних залежностей, а також бінарні діаграми стану сплавів.
Початкові установки	Завдання початкових і граничних умов моделювання та технологічних параметрів процесу лиття. Завдання паспорта для зберігання проміжних і кінцевих результатів моделювання
Кристалізація	Моделювання процесу затвердіння виливка у формі.
Заливка	Моделювання процесу заповнення порожнечі форми виливки розплавом без урахування теплопередачі.
Повна задача	Моделювання процесів заповнення порожнечі форми та затвердіння виливки розплавом
Банк паспортів	Огляд результатів моделювання процесів заповнення форми затвердіння металу, при виконанні розрахунку.

Тест	Калібрування теплофізичних даних, які містяться в Базі даних матеріалів, до сплавів і матеріалів користувача.
------	---

3D-Імпорт

Для зв'язку із системами гкомп'ютері етричного моделювання в пакеті LVMFlow існує конвертор (модуль "3D-Імпорт" (рис 3.8) для перенесення файлів формату STL у внутрішній формат LVMFlow. Конвертор також виконує такі функції:

1. Зміна орієнтації виливки в просторі. У процесі налагодження технології необхідно змінювати орієнтацію виливки щодо поля тяжіння. Для повороту виливки передбачено два варіанти:
 - числове завдання кутів Ейлера;
 - обертання виливки за допомогою пристрою "миша" з візуальним контролем за його орієнтацією.
2. Масштабування гкомп'ютері етричних образів виливки за допомогою вибору системи одиниць виміру (мм, см, дюйми).
3. Складання конструкції з гкомп'ютері етричних образів, збережених у різних файлах. Наприклад, маючи в окремих файлах гкомп'ютері етрію виливків, ливниково-живильних систем, надливів, можна реалізувати різні компонування елементів і створювати різні конструкції.
4. Завдання кольорів тілам виливки. Кольори вводяться для подальшого (в модулі "Початкові умови") призначення матеріалів тілам виливки.

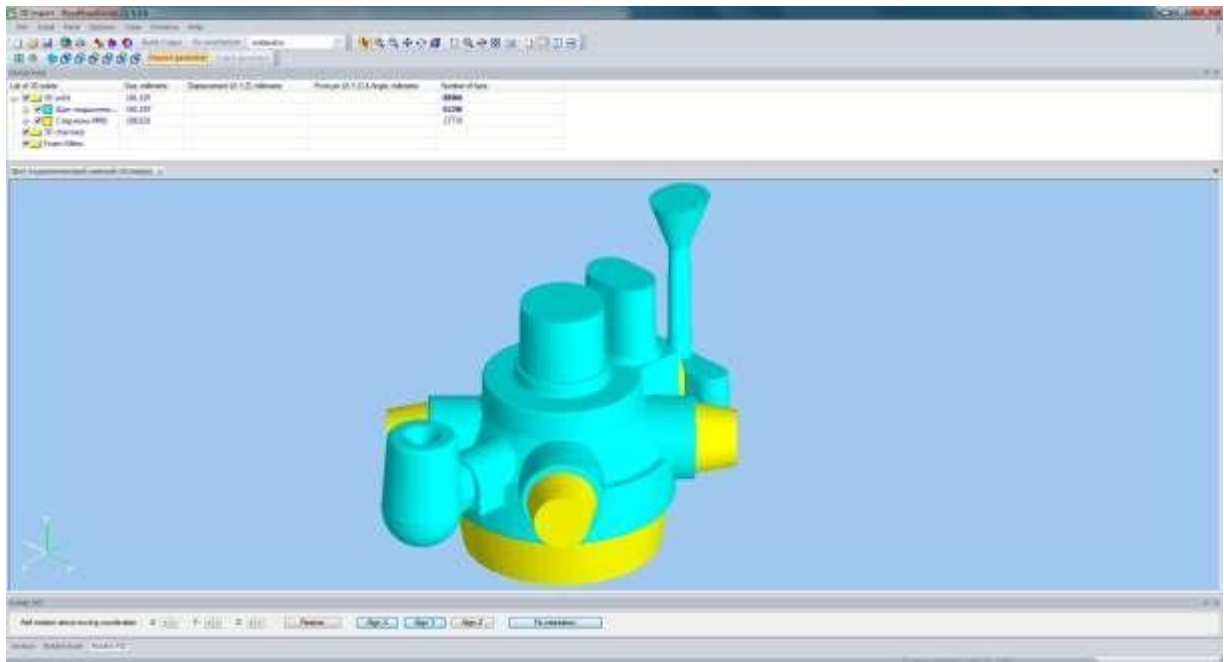


Рис.3.8. Гкомп'ютері етрія виливки в модулі 3D Імпорт

База даних

Виробничі сплави в переважній більшості є багатокомпонентними системами. Для моделювання кристалізації сплаву необхідна його фазова діаграма. На жаль, повних багатокомпонентних діаграм стану не існує. Досить вивченими є фазові діаграми двокомпонентних систем. У зв'язку з цим у модулі "База даних" проводиться наближений розрахунок положення фазових рівноваг багатокомпонентного сплаву методом деформації двокомпонентної діаграми стану. З цією метою дані щодо сплавів у базі даних розбиті на класи: вуглецеві сталі, леговані сталі, чавуни, бронза, силуміни тощо.

Клас характеризується бінарною (базовою) рівноважною діаграмою стану, параметрами, що визначають деформацію діаграми під час додавання до подвійної системи інших елементів, і кінетичними коефіцієнтами фазових перетворень. Для конкретного сплаву, який належить до певного класу, введені: хімічний склад, теплоти фазових переходів і поріг плинності. Ці данні дозволяють визначати інтервал і кінетику кристалізації даного сплаву.

Межа текучості - це експериментальний параметр, який визначає

мінімальне значення частинки рідкої фази, за якого можлива течія рідини у двофазній зоні.

Крім класів ливарних сплавів у базі даних існує клас матеріалів форм, куди занесені формувальні, вогнетривкі та ізоляційні матеріали, які найчастіше використовуються у виробництві.

Моделювання процесів протікає в широкому температурному інтервалі, на якому значення теплофізичних властивостей матеріалів можуть змінюватися в кілька разів. Тому, як для матеріалів форм, так і для сплавів введені температурні залежності теплопровідності, теплоємності, густини.

Якщо база даних не містить потрібних користувачеві сплавів і матеріалів форм, вона може бути поповнена самим користувачем. Введення та коригування даних здійснюється в простому діалозі та супроводжується графічним відображенням значень, що вводяться. Коригуються тільки дані щодо сплавів і матеріалів форм, параметри класів користувачем не коригуються. Така корекція, а також введення нових класів сплавів проводяться розробником на замовлення користувача.

У цій роботі застосовується сплав SS1505 з бази даних програми. Цей тип сплаву належить до шведського стандарту ливарних сплавів і є аналогом сталі 30Л, його можна застосовувати для моделювання, оскільки він має повні дані щодо теплофізичних параметрів сплаву і механічних властивостей залежно від зміни температури. Для сталі 30Л ці дані знайти складно, навіть маючи довідкові матеріали, а щоб їх дізнатися, потрібно проводити додаткові дорогі виробничі дослідження, особливо під час визначення механічних характеристик. [2]

Хімічний склад сплаву SS1505, отриманий за допомогою спеціалізованого САПР LVMFlow, показаний на рис. 3.9.

Carbon steels

SS1505_Stress

Свойство

Состав

Точки

Т. ликвидуса, °C

1510.09

Т. солидуса, °C

1464.07

Т.эвтектики, °C

1143.04

Q_{сг}, кДж/кг

172.60

Q_{eut}, кДж/кг

235.93

П. текучести, %

90.00

П. протекания, %

70.00

Хим. состав, %

Fe	98.70
C_	0.25
Si	0.30
Mn	0.60
Cr	0.01
P_	0.03
S_	0.02
Cu	0.07
Ni	0.01
Mo	0.01
V_	0.00
Al	0.00
Sn	0.00
Ti	0.00
Bi	0.00
Mg	0.00

Carbon steels

SS1505_Stress

Свойство

Состав

Точки

Всего:14

◀◀

1

▶▶

Точки

T, °C

C_, %

A

1536.00

0.00

Состав

dT, °C/%

dC, %/%

Si	-15.50	0.00
Mn	-6.25	0.00
Cr	-1.50	0.00
P_	-7.20	0.00
S_	-8.90	0.00
Cu	-1.00	0.00
Ni	-4.00	0.00
Mo	-6.20	0.00
V_	-2.00	0.00
Al	0.00	0.00
Sn	-27.00	0.00
Ti	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00

Рис. 3.9. Хімічний склад сплаву, взятий для моделювання в програмі LVMFlow

На рис. 3.10-3.17 наведено діаграми, отримані відповідно до властивостей, показаних на рис. 3.10.

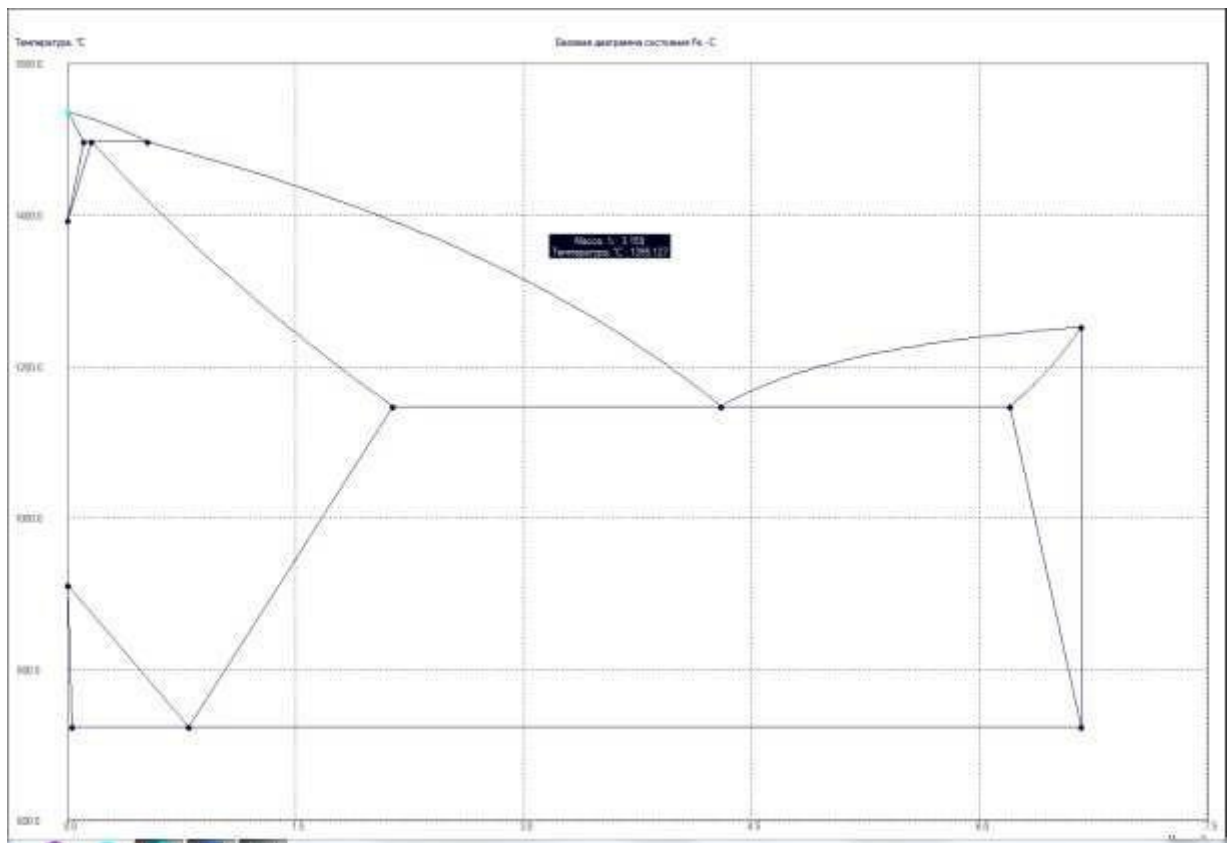


Рис. 3.10. Базова діаграма Fe-C для сплаву SS1505

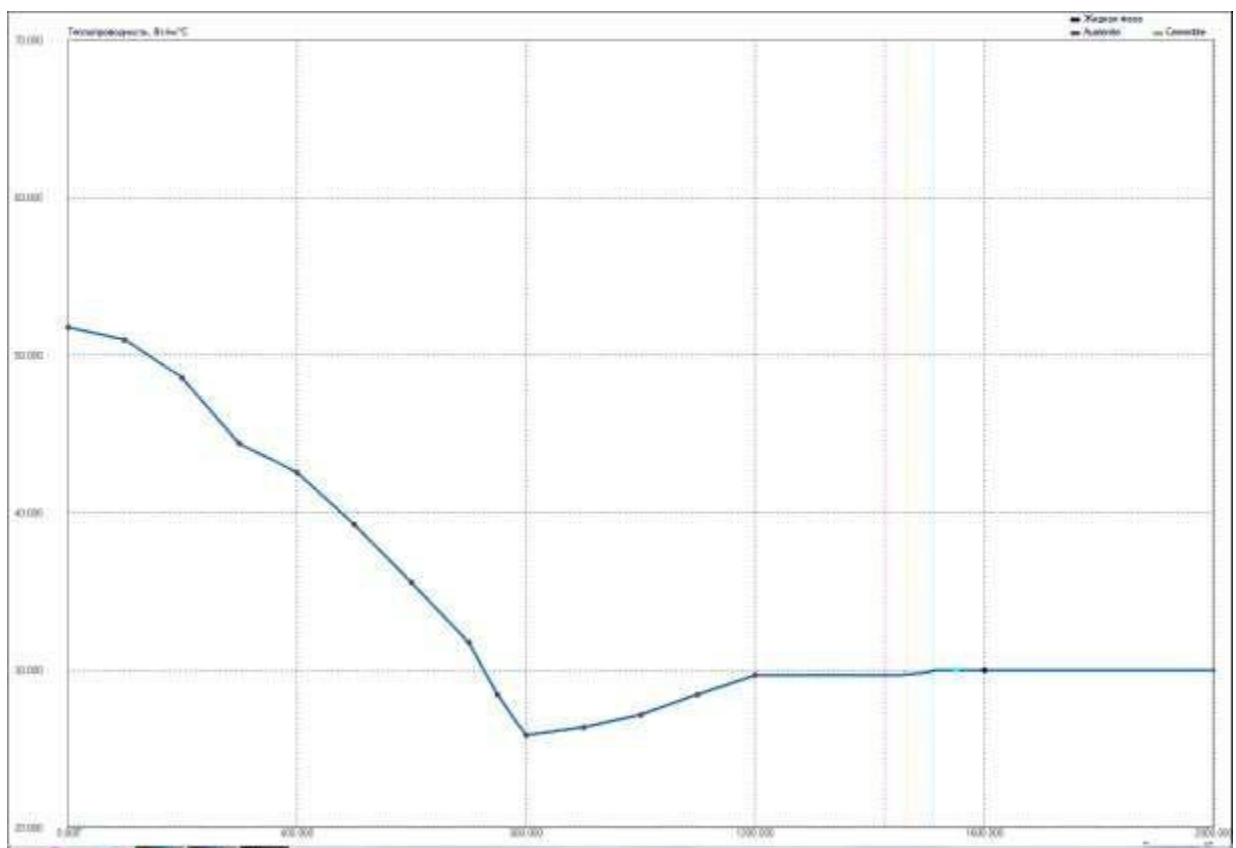


Рис. 3.11. Залежність теплопровідності сплаву SS1505 від температури

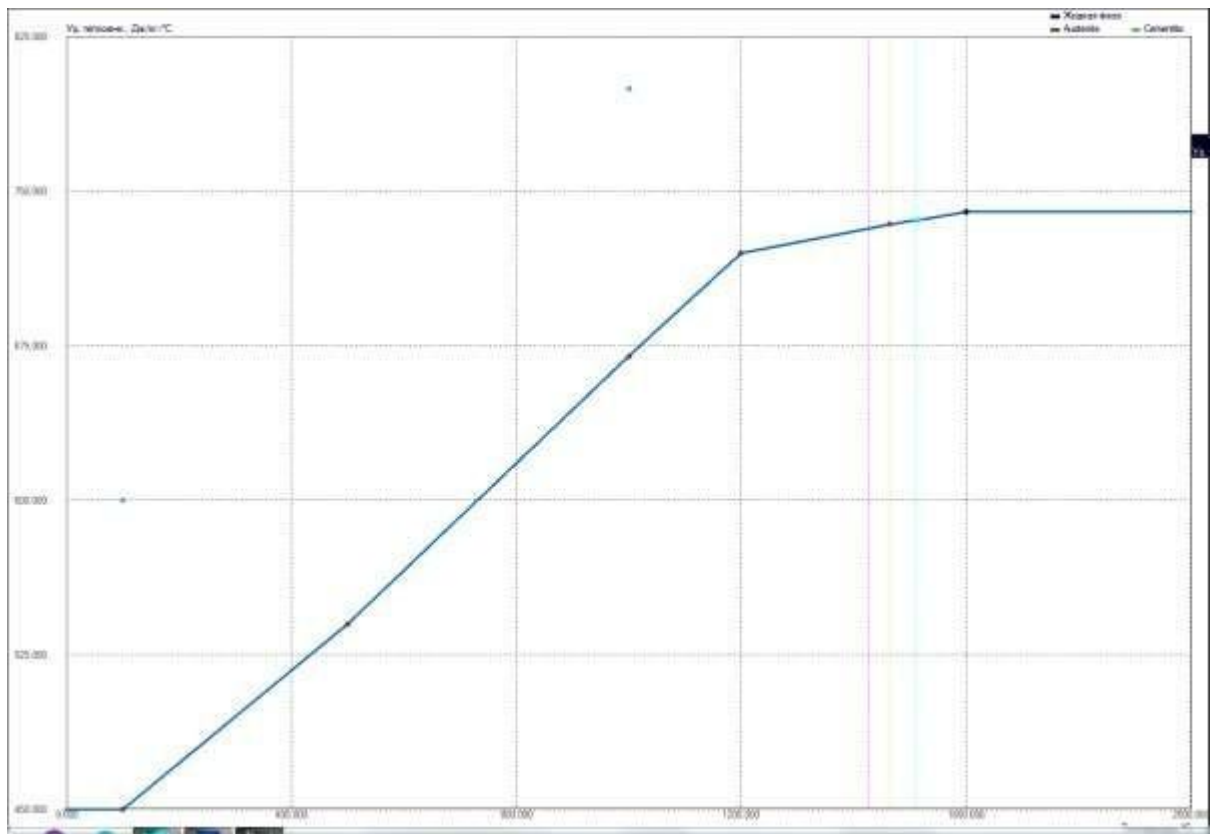


Рис. 3.12. Залежність питомої теплоємності для сплаву SS1505 від температури



Рис. 3.13. Залежність густини для сплаву SS1505 від температури



Рис. 3.14. Залежність модуля Юнга для сплаву SS1505 від температури

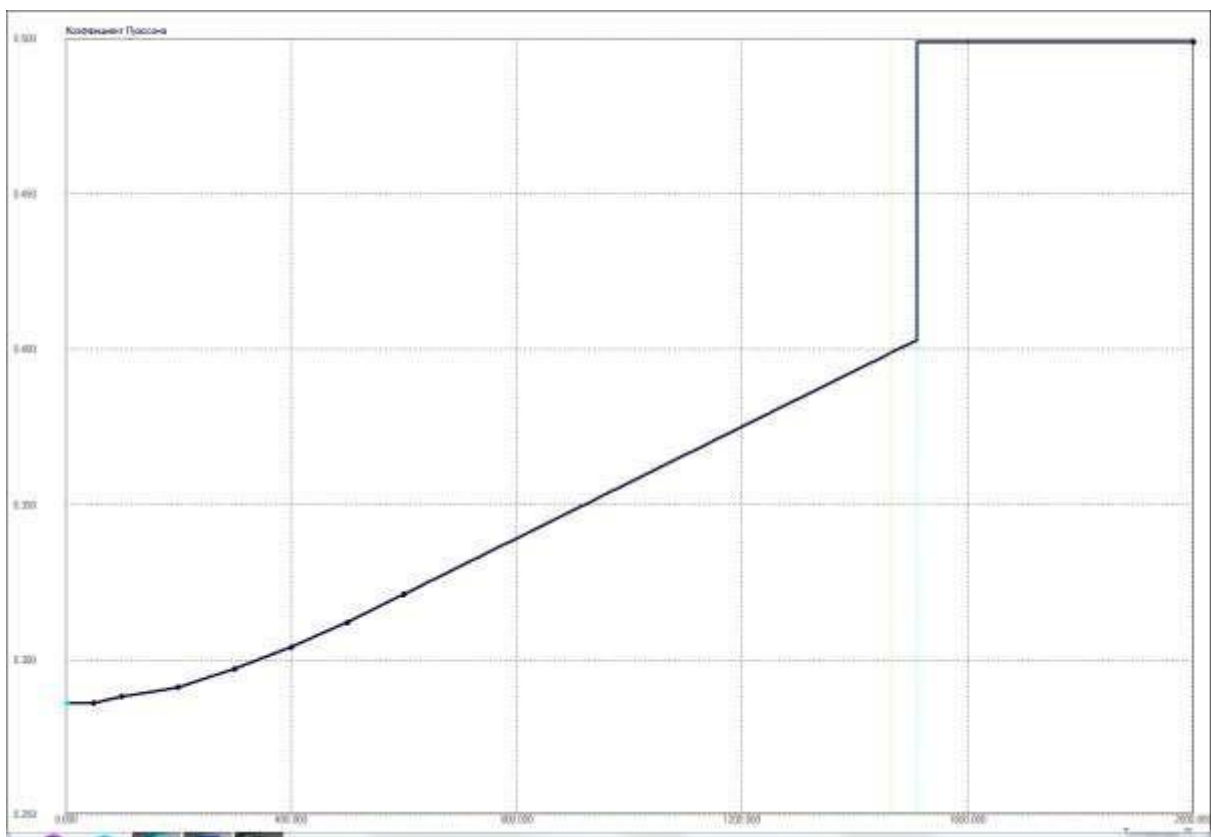


Рис. 3.15. Залежність коефіцієнта Пуассона для сплаву SS1505 від температури



Рис. 3.16. Залежність межі плинності для сплаву SS1505 від температури

Початкові умови

У модулі "Початкові умови" (рисю 3.17) необхідно, насамперед, створити в розрахункову область сітку, на якій будуть вирішуватися рівняння тепломасопереносу. У LVMFlow елементарним елементом сітки є куб. Тому для автоматичної генерації сітки достатньо ввести один параметр - або розмір елемента (крок сітки), або загальну кількість вузлів сітки. Чим менший крок сітки, то сітка щільніша і тим точнішим буде розрахунок.

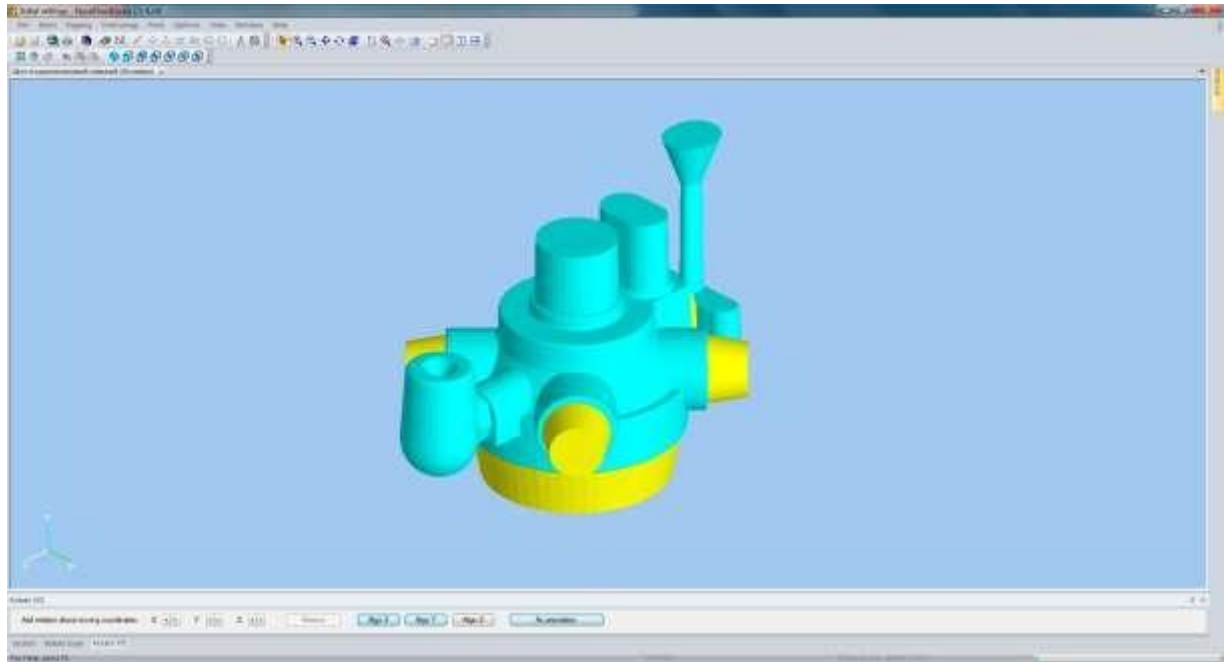


Рис. 3.17. Гкомп'ютері етрія виливки в модулі "Початкові умови"

Задаємо на межах розрахункової області умови теплообміну (граничні умови). Завдання граничних умов здійснюється вибором одного з таких чотирьох варіантів:

- На межі розрахункової області підтримується задана температура;
- межа розрахункової області є площиною симетрії;
- за межами межі розрахункової області розташовується нескінченна форма;
- межа розрахункової області є межею "форма-повітря".

Потім задаються початкові температури форми і металу, що заливається. Створену в системі гкомп'ютері етричного моделювання конструкцію можна доповнити побудовою оболонки навколо будь-якої частини виливки. Для цього достатньо вказати частину виливки і задати товщину оболонки. Оболонка стає таким самим елементом технологічного оснащення, як і ті деталі, які побудовані в системі гкомп'ютері етричного моделювання. У разі неоднорідного технологічного оснащення для кожного матеріалу можна задати свою власну початкову температуру.

Наступний крок - розробка формату параметрів заливки (рис. 3.18). У LVMFlow закладена можливість моделювання трьох видів заливки:

гравітаційне лиття, лиття під тиском і заливка з ковша. Завдання місця живильника металом (ливникової точки) проводиться на межі розрахункової області в точці, яка належить виливку або ливниково-живильній системі. Для гравітаційного лиття задається напір - висота стовпа рідини над перерізом, у якому встановлена ливникова точка, і коефіцієнт, що характеризує зменшення потоку розплаву, який викликається тертям рідини об стінки заливального пристрою (рис. 3.20 - 3.24).

Зрештою, встановлюються датчики . Для більш детального аналізу користувач може встановити датчики в будь-якому місці розрахункової області (у виливку або оснащенні). Покази датчиків виводять у вигляді графіків залежності виведеної функції (температури, швидкості зміни температури, частки рідкої фази, швидкості течії розплаву, вхідного потоку розплаву), [2].

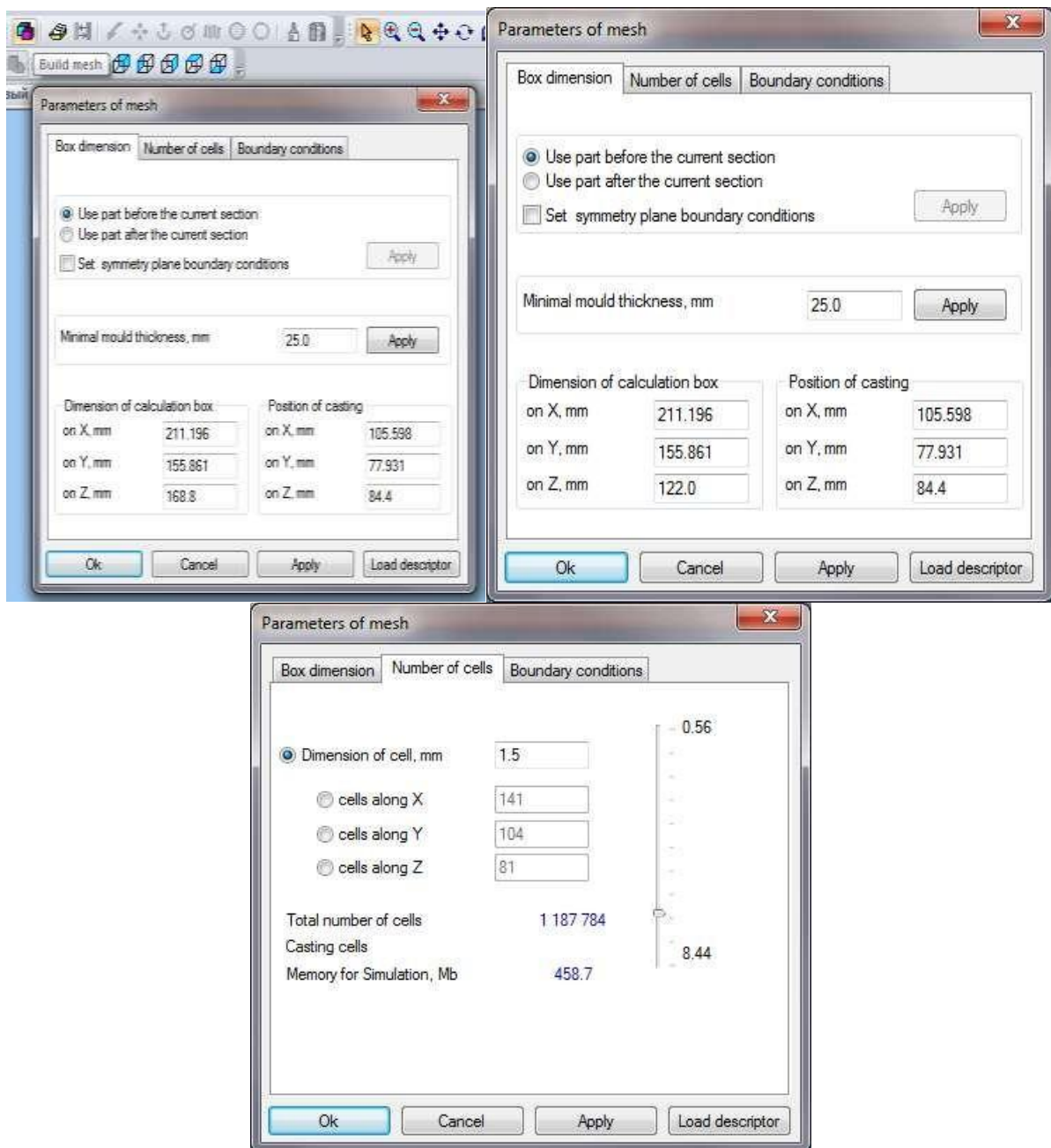


Рис. 3.20. Завдання розмірів розрахункових елементів сітки

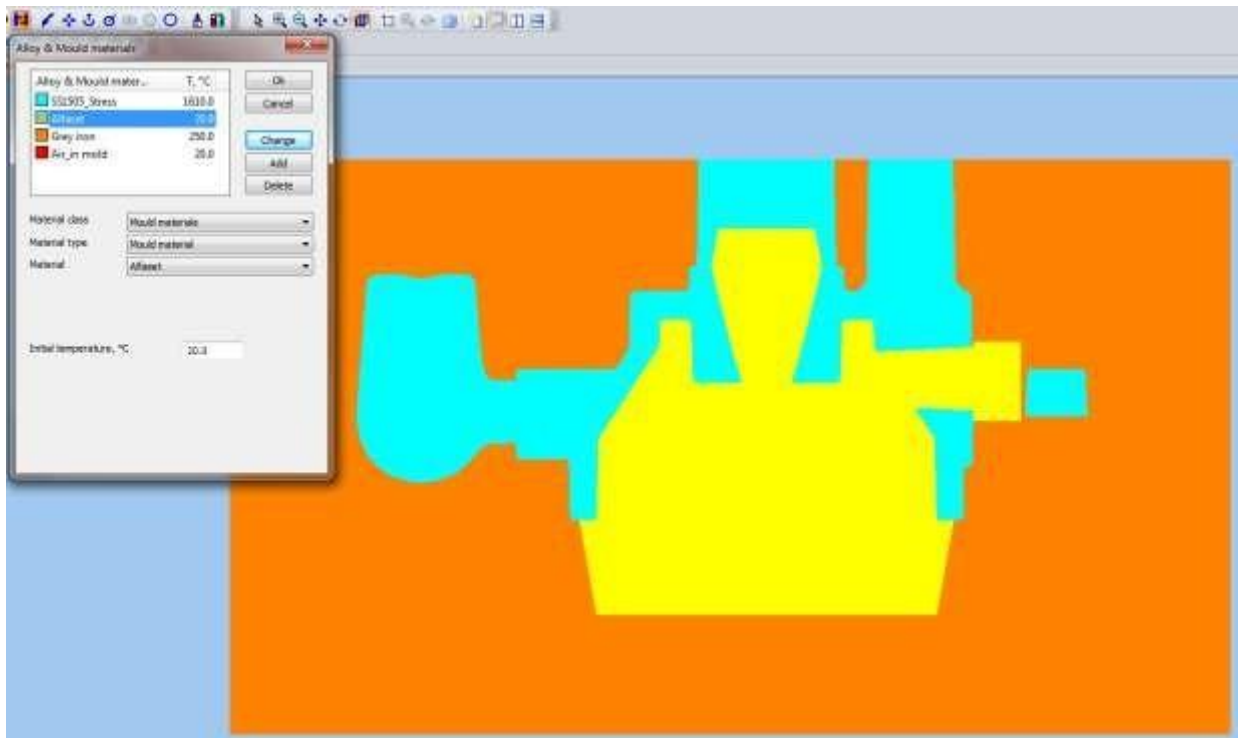


Рис. 3.21. Завдання матеріалів виливки і форми, їхніх початкових температур

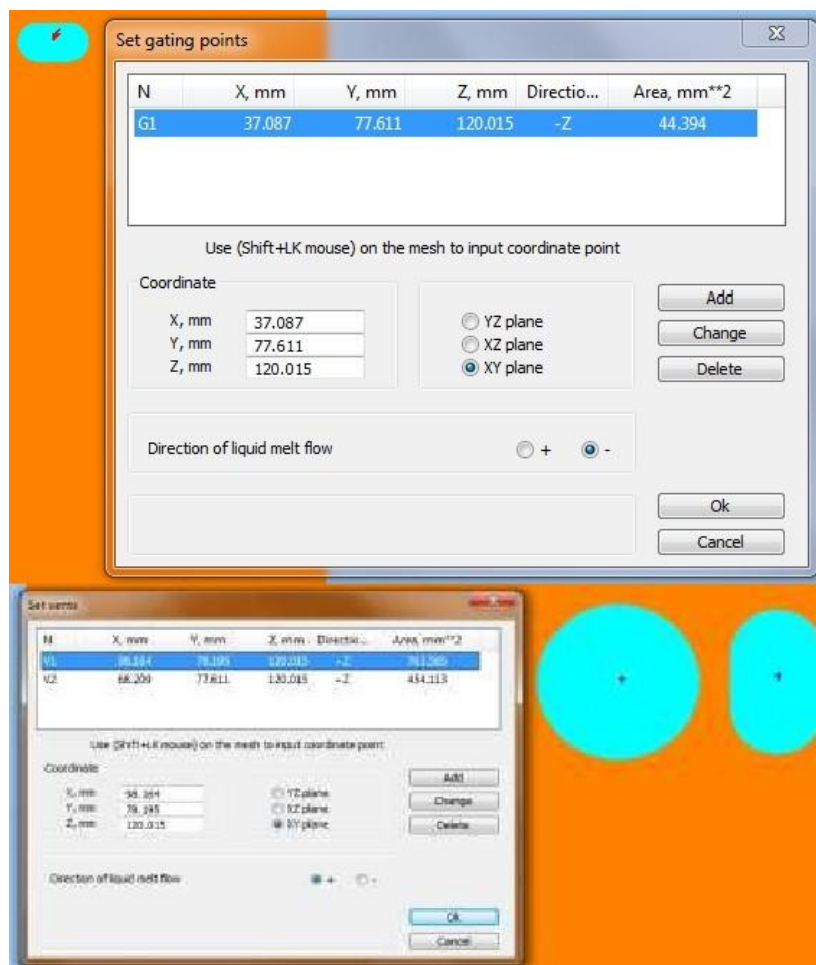


Рис. 3.22. Завдання ливникових і вентиляційних точок

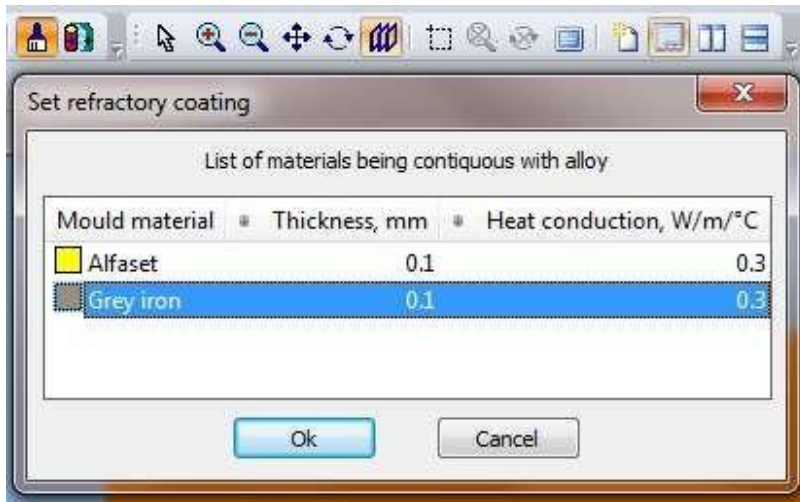


Рис. 3.23. завдання антипригарних покриттів

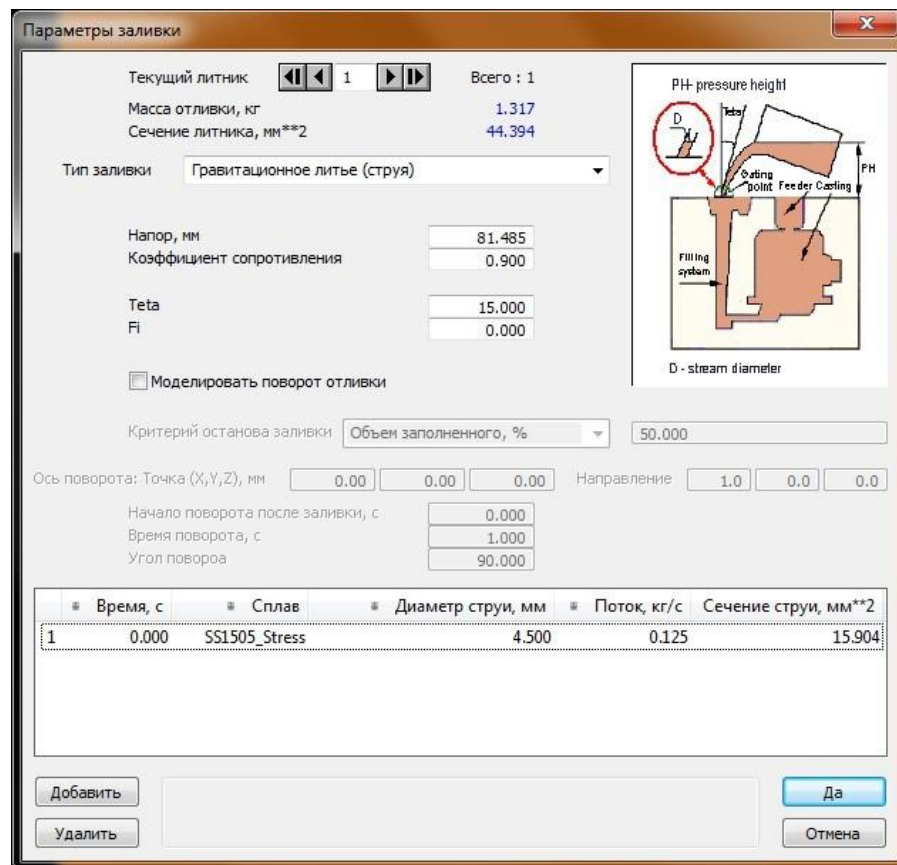


Рис. 3.24. Завдання параметрів заливки форми

Моделювання заповнення і кристалізація

В LVMFlow є три розрахункових модулі:
 "Кристалізація",

"Моделювання течії розплаву", "Повна задача".

У модулі "Кристалізація" форма спочатку вважається миттєво заповненою розплавом і моделюється процес затвердіння сплаву. В основі моделі лежить нерівноважна теорія кристалізації багатокомпонентного сплаву.

У модулі "Моделювання течії розплаву" моделюється заповнення форми розплавом, що розглядається як течія ідеальної рідини без урахування процесів теплопередачі. Течія описується рівняннями Нав'є-Стокса, де в'язкість враховується у вигляді поправки. Для вивчення руху в розплаві сторонніх (шлакових) частинок у пакеті передбачена можливість моделювання руху кулястих частинок заданого радіусу і густини.

Одночасне моделювання процесів заповнення форми розплавом і його затвердіння здійснюється в модулі "Повна задача".

У кожному окремому модулі процеси тепломасопереносу описуються замкненою динамічною системою рівнянь, що ґрунтуються на законах збереження енергії, імпульсу, маси, рівняннях стану багатокомпонентних сплавів, які розв'язуються на прямокутній сітці методом контрольних об'ємів (МКО) з автоматичним вибором кроку інтеграції за часом.

Динаміка процесу несе велику кількість інформації, тому відображенню результатів моделювання в пакеті приділяється велика увага.

Результати моделювання такі як температура, частка рідкої фази, швидкість течії розплаву, тиск у розплаві, частка усадочних дефектів виводять на кожному кроці. Виведення образу виливки (також, як і полів функцій, що характеризують її стан) проводиться у вигляді ізометричного зображення (3-D) і в довільному плоскому розрізі (2-D), у кольоровій гамі, що відповідає встановленій шкалі. Функції обертання та масштабування доповнюють можливості перегляду. Для отримання більш детальної інформації можна розрахувати чисельне значення поля (температури, частка рідкої фази, швидкості, частинки дефектів) у довільній точці розрахункової області.

В основі моделі кристалізації сплавів пакета LVMFlow лежить

квазірівноважна теорія. Це макроскопічно-феноменологічна теорія. На відміну від чистих металів сплави кристалізуються в температурному інтервалі від температури ліквідус до температури солідус. У цій зоні, званій двофазною зоною, присутні як рідка так і тверда фаза. При цьому тверда фаза, яка утворюється, перебуває в рівновазі з рідкою фазою. Низькі значення коефіцієнтів дифузії елементів порівняно з коефіцієнтом температуропровідності сплавів і слабкість конвективного змішування дозволяють нехтувати процесами дифузії як у твердій так і в рідкій фазах. Головне припущення теорії двофазної зони - двофазну зону можна описати за допомогою макроскопічних функцій, аналогічно температурним полям $T(r,t)$ полям швидкості $V(r,t)$ [2].

Припустимо, що $S(r,t)$ - об'ємна частинка твердої фази; $L(r,t)$ - об'ємна частинка рідкої фази; $P(r,t)$ - об'ємна частинка порожнечі.

Усі ці функції є локальними функціями координат і часу та змінюються в інтервалі від 0 до 1. Їхня сума дорівнює одиниці:

$$S(r,t) + L(r,t) + P(r,t) = 1$$

Тоді баланс маси в частинних похідних має вигляд:

$$\frac{\partial S(r,t)}{\partial t} + \frac{\partial L(r,t)}{\partial t} + \frac{\partial P(r,t)}{\partial t} = 0$$

Закон збереження маси зводиться до рівняння

$$\rho_s(T) \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho_L(T) L) = 0,$$

де $\rho(S)(T)$, $\rho(L)(T)$ - густини твердої та рідкої фаз як функції температури.

Закон збереження маси компонент сплаву зводиться до рівняння [3]:

$$\rho_s(T) C_s^i(T) \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho_L(T) C_L^i(T) L) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де $C_s^i(T)$, $C_L^i(T)$ - концентрації i -ого компонента сплаву в рідкій і твердій фазі, які перебувають у рівновазі. Вони визначаються з фазових діаграм станів

багатокомпонентних систем.

Моделювання заповнення ливарної форми та утворення усадочних дефектів

За механізмом утворення виділяють два типи усадочних дефектів:

- 1) раковини (макропористість)
- 2) мікропористість.

Макропористість утворюється за нестачі живлення вище дзеркала розплаву, коли відсутній необхідний його обсяг для компенсації усадки. Для прогнозування макропористості моделюється виникнення і рух дзеркала розплаву. Переміщення дзеркала зумовлене об'ємною усадкою, а його виникнення відбувається через формування під час затвердіння ізольованих один від одного об'ємів розплаву.

Мікропористість утворюється за нестачі тиску нижче дзеркала в області теоретично достатнього живлення. Падіння тиску в глибині зони з формально хорошими умовами живлення відбувається з таких причин: велика об'ємна усадка, утруднений рух рідкого металу у твердо-рідкій зоні, ізоляція від зовнішнього тиску під час формування твердої фази на кордонах прикладання тиску. Для прогнозування мікропористості розв'язується диференціальне рівняння фільтраційної течії.

Для виконання етапу попереднього моделювання в програмі SolidWorks було створено кілька варіантів виливків, щоб на стадії моделювання перевірити, який із варіантів (розміщення виливків у формі, технологічних чинників) є найбільш підходящим.

Дослідження №1 "Виливок без живильних елементів (надливів)"

Результати моделювання (рис. 3.25) показують у яких місцях можливе утворення дефектів усадочного характеру.

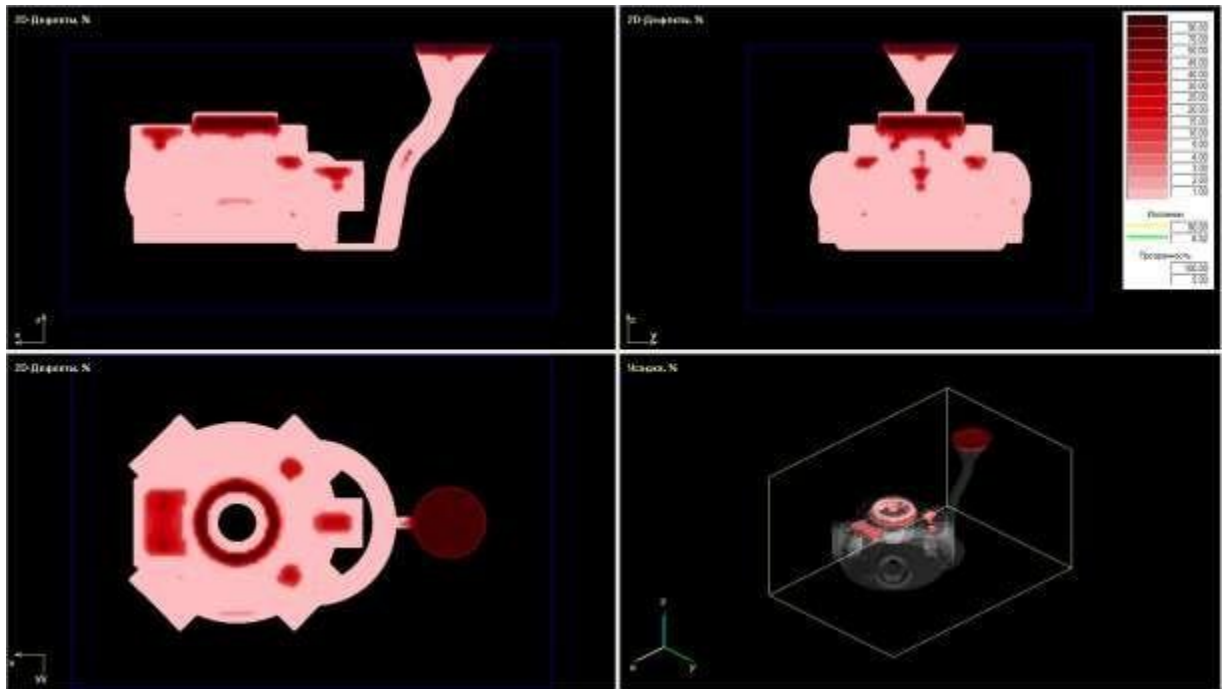


Рис. 3.25. Результат дослідження №1 (виливок без живильних елементів)

За цим зображенням можна провести аналіз дефектів у виливку. Є шкала з відсотковим вмістом усадочних раковин, а також види виливки збоку, зверху, спереду і в ізометрії. Усі види мають рентгенівську прозорість і всі дефекти проєктуються на даний вид. Виходячи з цього можна зробити аналіз, що виливок є непридатним, оскільки процентний вміст дефектів досить великий. Необхідно проводити нове дослідження.

Дослідження №2 (затвердіння виливки з живильними елементами)

Концентрація усадочних раковин у цьому варіанті має бути зосереджена в надливах. Аналіз цього дослідження за рис. 3.26 показує, що деякі дефекти пішли в живильні елементи (надливи), але в окремих місцях виливки цей вид браку присутній. Також у цьому варіанті матеріаломісткість ливарного куца досить висока, що впливає на економічність процесу. Отже, було вирішено провести нове дослідження з іншими технологічними параметрами процесу.

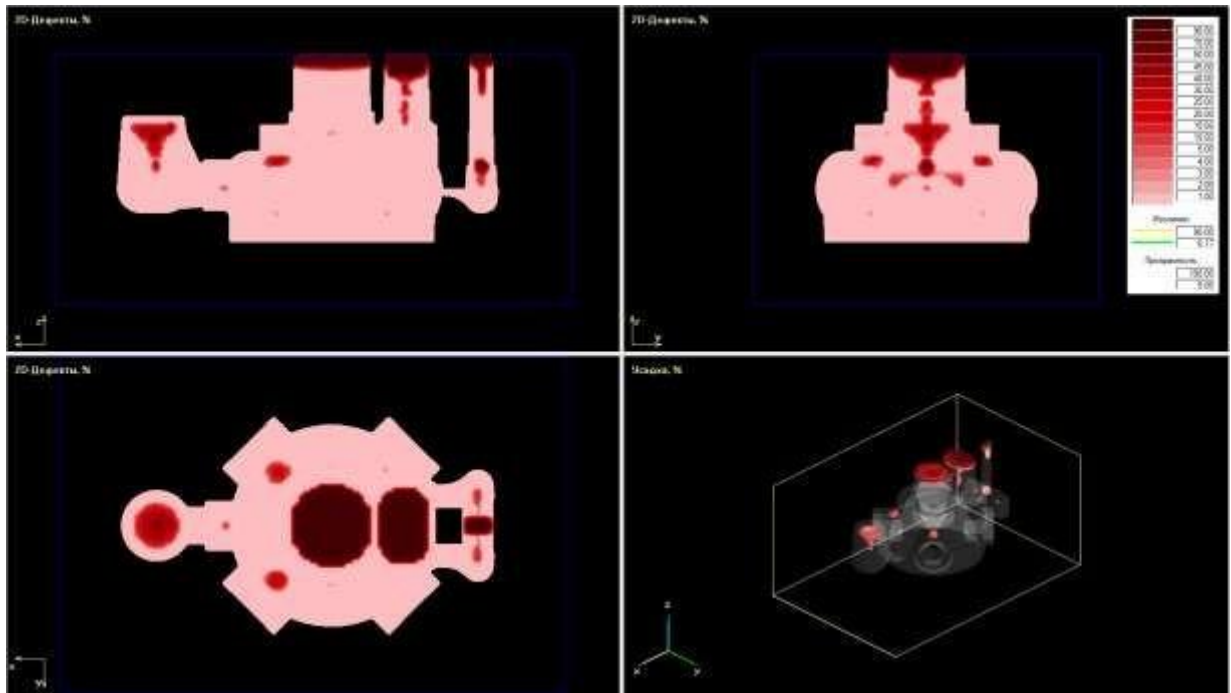


Рис. 3.26. Результат дослідження №2 (затвердіння виливки з живильними елементами)

Дослідження №3 (моделювання на знижених температурах)

Результати дослідження (рис. 3.27) показали, що може виникнути ще один вид браку - недолив. Цей результат був одразу ж відбракований.

На рис. 3.27 можна побачити момент утворення недоливу (перемерзання живлення виливки від ливникової системи), чисельно він склав 36%. На рис. 3.28 показано рентгенівське зображення дефектів.

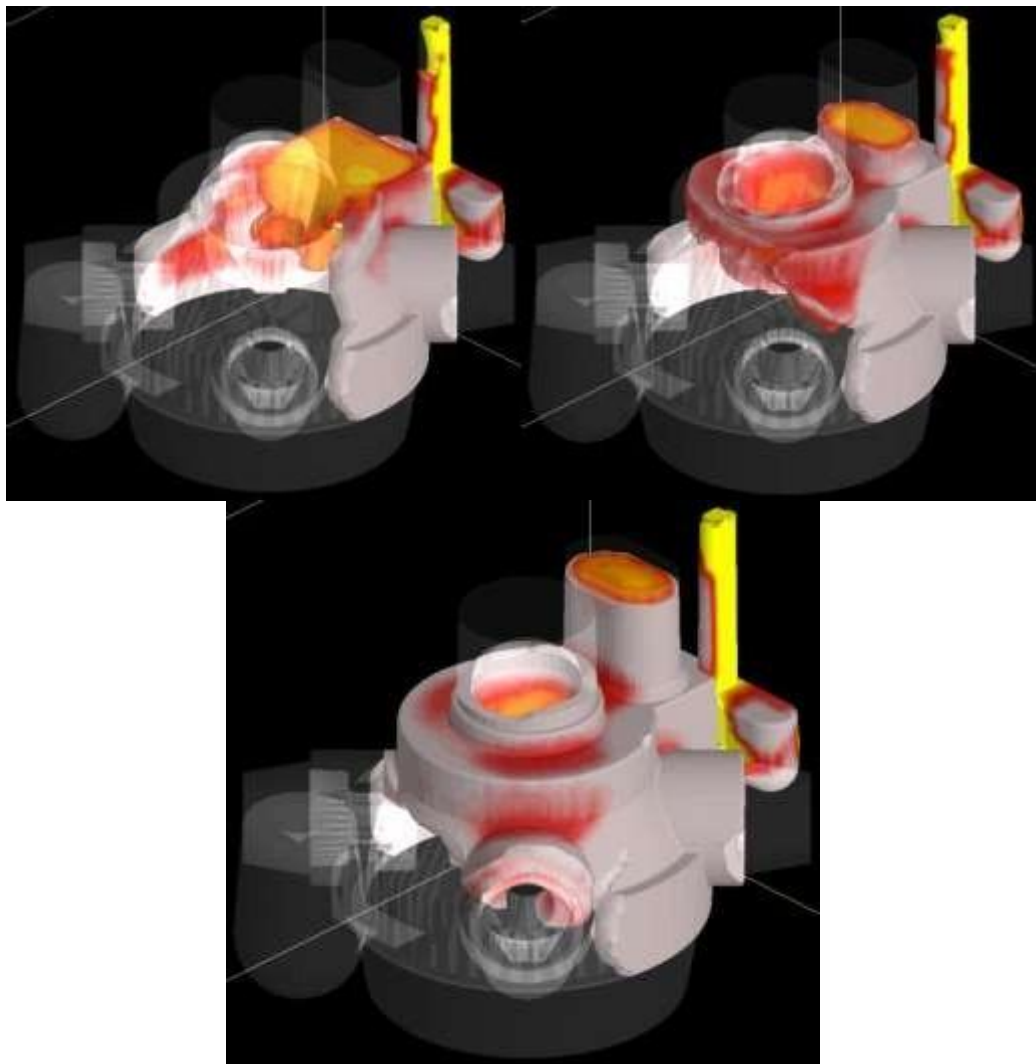


Рис. 3.27. Утворення недоливу у виливку (дослідження №3)

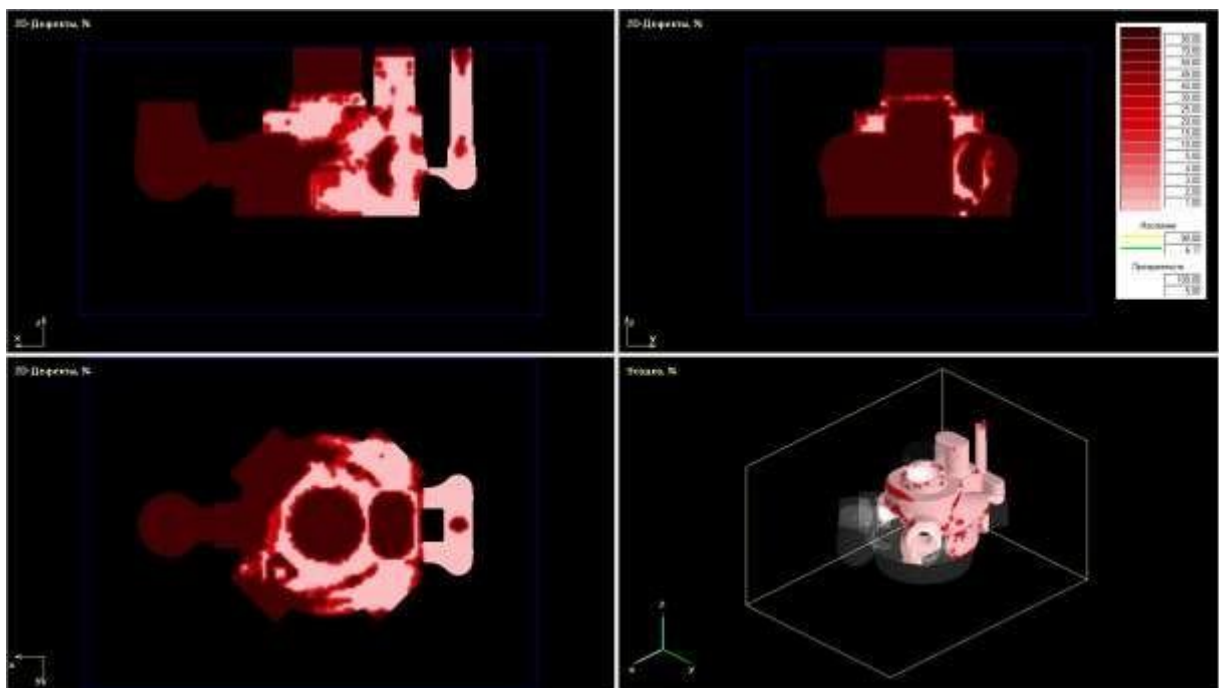


Рис. 3.28 Результат дослідження №3 (недолив 36%)

Дослідження №4 (моделювання та затвердіння виливки на грубій сітці)

Перед моделюванням внесено такі зміни в технологію лиття: виливок довелося перевернути, товстіші, масивніші стінки (теплові вузли) виливки було розміщено в нижній напівформі. Грубу сітку (великий розмір скінченного осередку) було прийнято для більш швидкого розрахунку, точність цього моделювання була низькою.

Отримано задовільні результати цього моделювання - утворення усадкових дефектів мінімальне, матеріаломісткість виливки невисока. Результат цього моделювання показано на рис. 3.29.

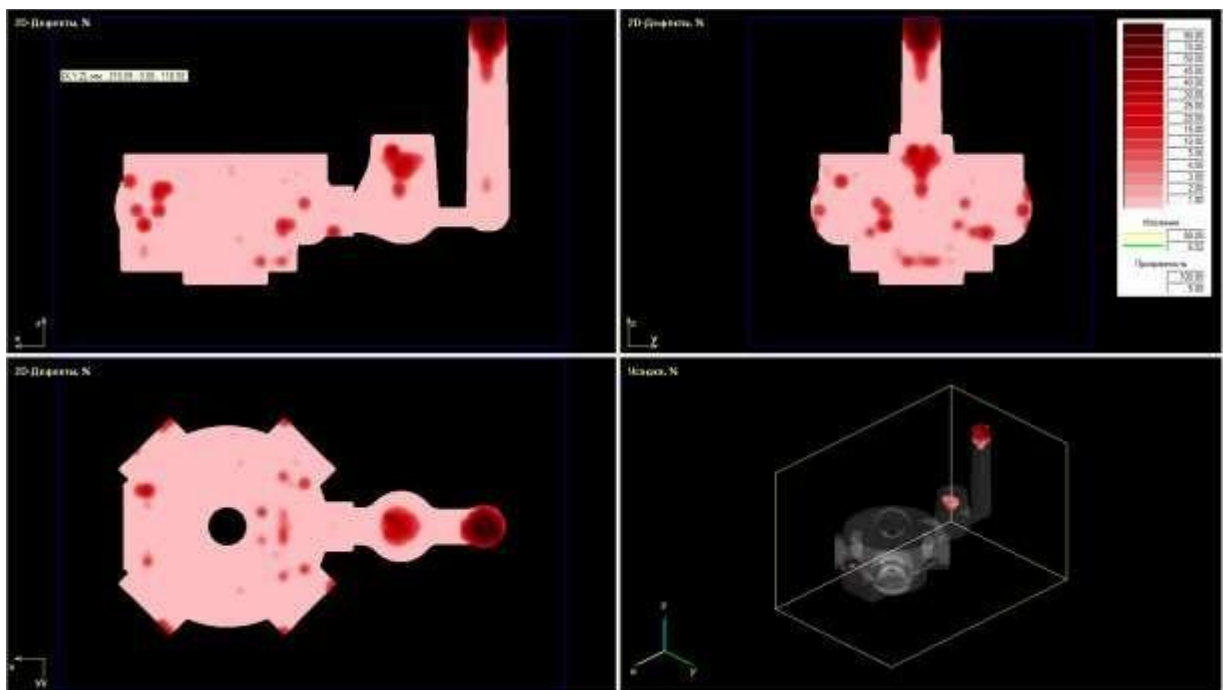


Рис. 3.29. Результат дослідження дефектів №4

Дослідження №5 (моделювання і затвердіння виливки на грубій сітці зі зниженою температурою)

У дослідженні №5 були використані ті самі технологічні параметри, що і в дослідженні №4, тільки температура заливки була знижена. І знову ж таки за зниженої температури виник недолив, тільки в цьому разі він становив 53%. Результати розрахунку можна побачити на рис. 3.30, 3.31.

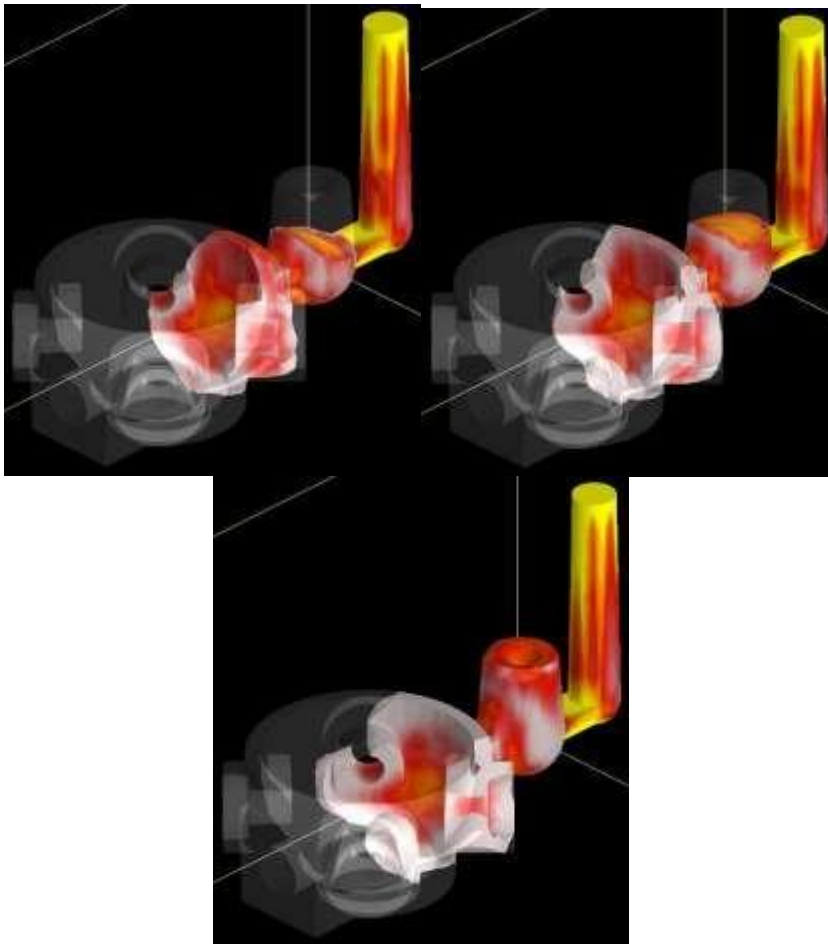


Рис. 3.30. Утворення недоливу у виливку (дослідження №5)

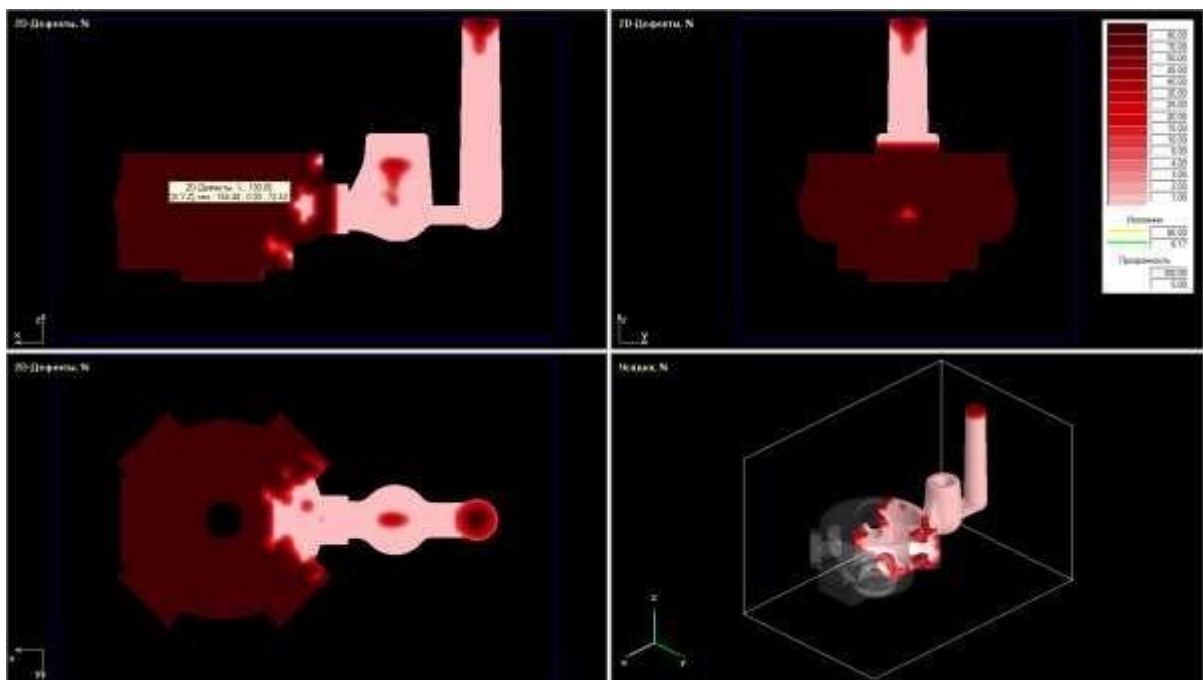


Рис. 3.31. Результат дослідження №5 (недолив 53%)

Виходячи з описаних вище результатів досліджень, було вирішено провести ще одне **Дослідження №6**, яке ґрунтувалося на вихідних даних 4-ого, але параметри точності були задані вищими. Температура в цьому випадку була прийнята оптимальна. Результат моделювання заповнення ливарної форми й утворення усадочних раковин показано на рис. 3.32.

Утворення дефектів мінімальне (рис. 3.33), заповнення форми проходить плавно, і кристалізація проходить у необхідний момент часу, тобто не виходить недоливу і більшість усадочних дефектів іде в надлив. Як видно з рисунка, у виливку ще є дефекти, але їхня величина незначна, і вони не потрапляють до припуску на механічну обробку (під час обробки дефекти не будуть виявлені). Отриманий результат можна прийняти для подальшого розрахунку напружень.

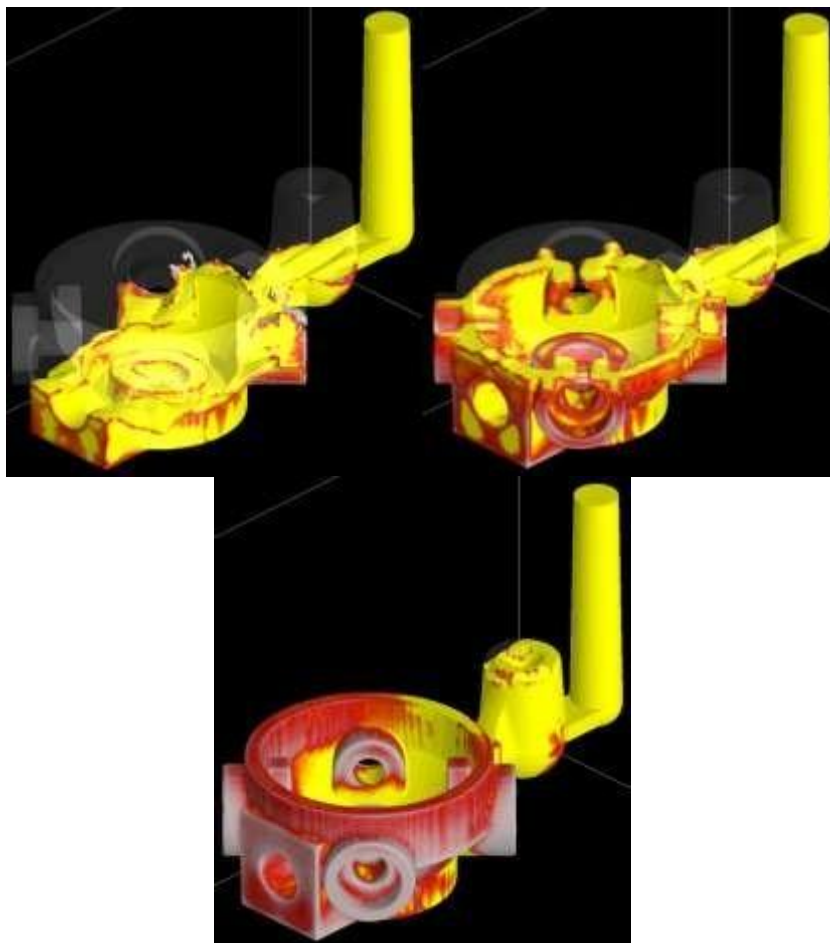


Рис. 3.32. Заповнення ливарної форми розплавом (дослідження №6)

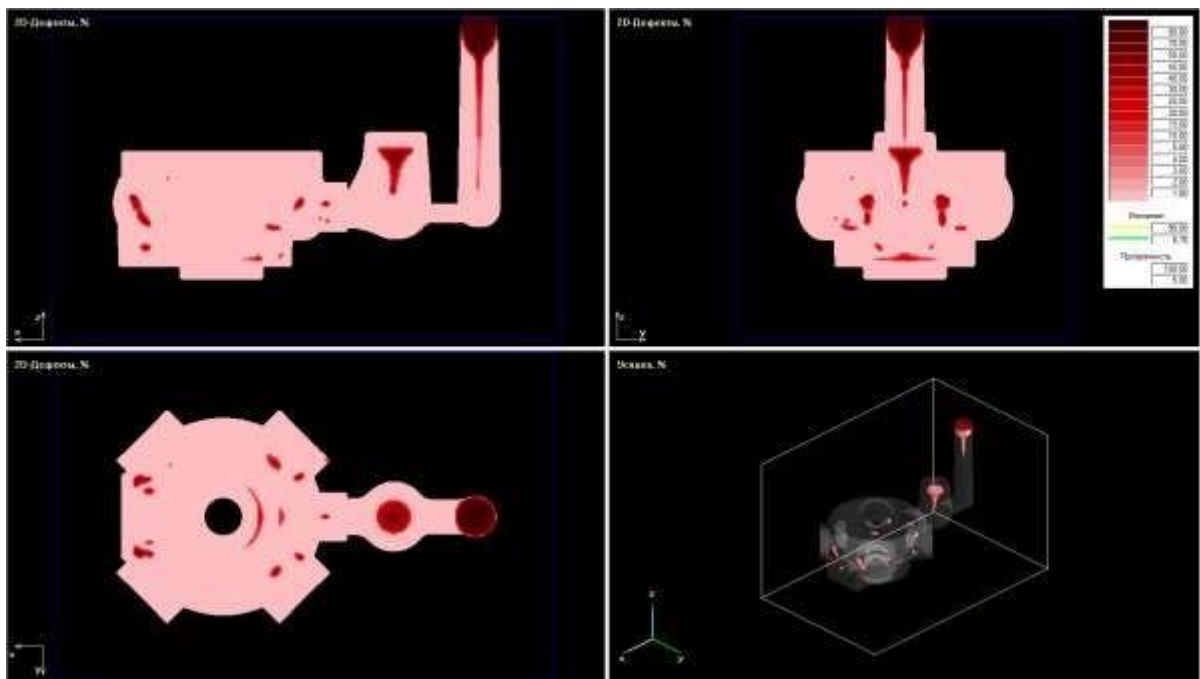


Рис. 3.33. Результат дослідження дефектів №6

Аналіз роботи живлення виливка та утворення усадки

Розглянемо процес затвердівання в теплових вузлах, тип дефектів, їхню концентрацію та форму (рис. 3.34, 3.35).

Надлив працює ефективно, оскільки з наймасивнішого теплового вузла виливки усадка переходить у нього. У тих місцях, де присутня пористість, надлив встановлювати недоцільно і незручно, оскільки це спричинить подорожчання технологічного процесу і собівартості лиття. Як уже було описано вище, ці дефекти незначні і в цьому випадку ними можна знехтувати.

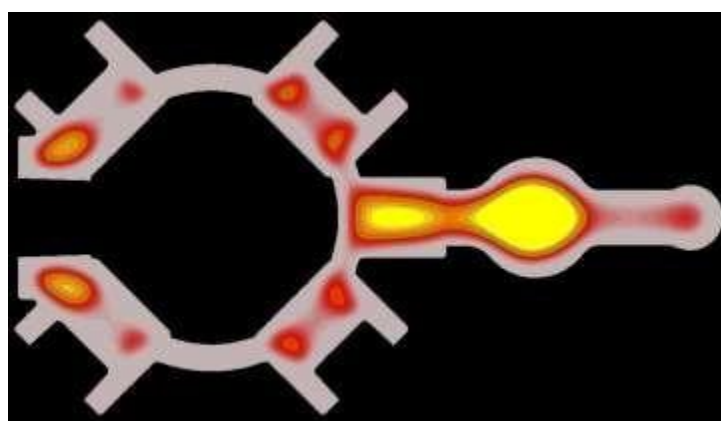
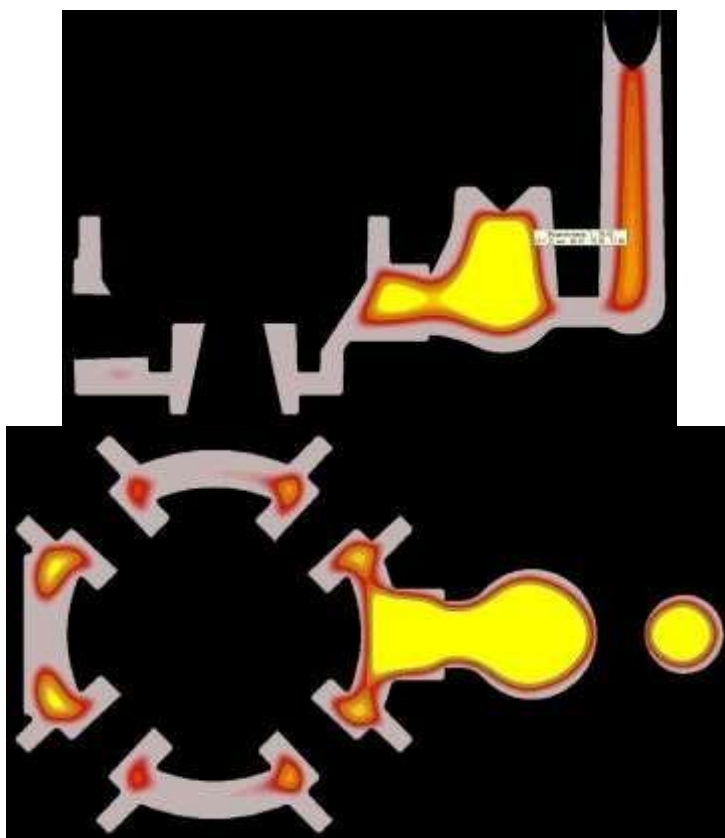


Рис. 3.34. Кристалізація в теплових вузлах

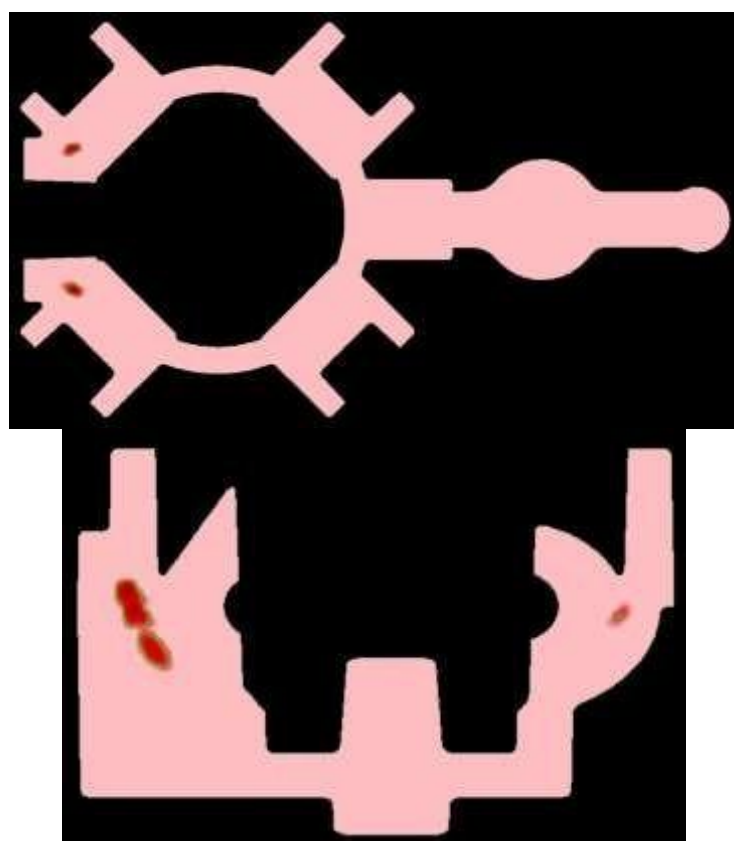
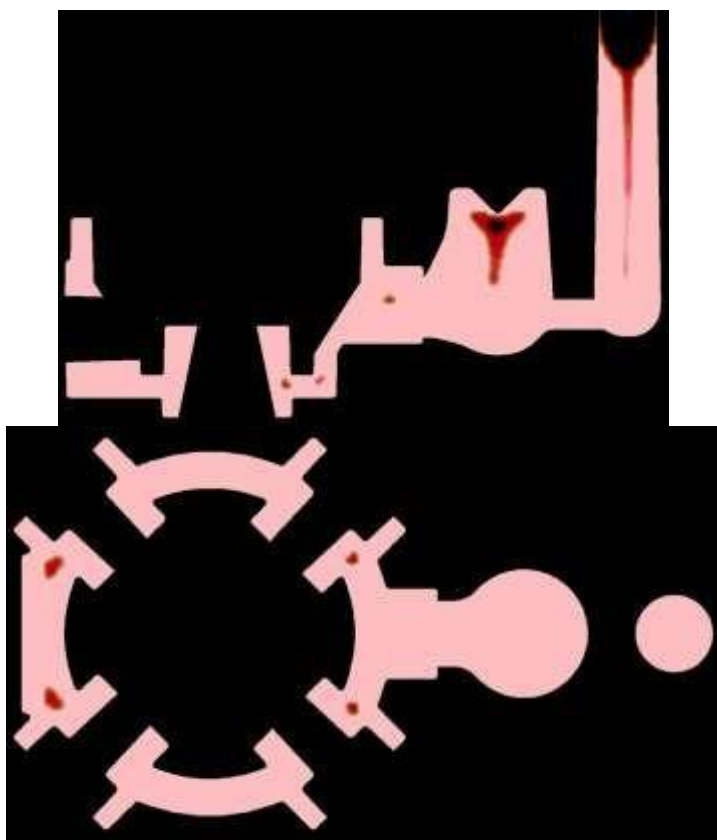


Рис. 3.35. Концентрація усадки в теплових вузлах

Оскільки було отримано задовільний результат, опишемо технологічні параметри і параметри моделювання, які були прийняті для цього моделювання в 6- му дослідженні.

1. Матеріал виливки: сплав SS1505_Stress (аналог Сталь 30Л)
2. Температура заливки: 1660 - 1680 °C
3. Час заповнення форми (розрахований LVMFlow): 1,5 с (потік 1,42 кг/с)
4. Час кристалізації (розрахований LVMFlow): 16 с
5. Матеріал форми - чавун
6. Початкова температура форми: 250 °C
7. Матеріал стрижня: Alfaset
8. Розмір розрахункової комірки: 1 мм (розрахункових вузлів виливки: 206521; усього вузлів: 405455)

Моделювання напружень виливки після затвердіння

У цьому розділі наведено опис і графічне дослідження механічних параметрів, які можна промодельовати в модулі "Напруження" після проведення досліджень з допомогою модулів "Заповнення" та "Кристалізація".

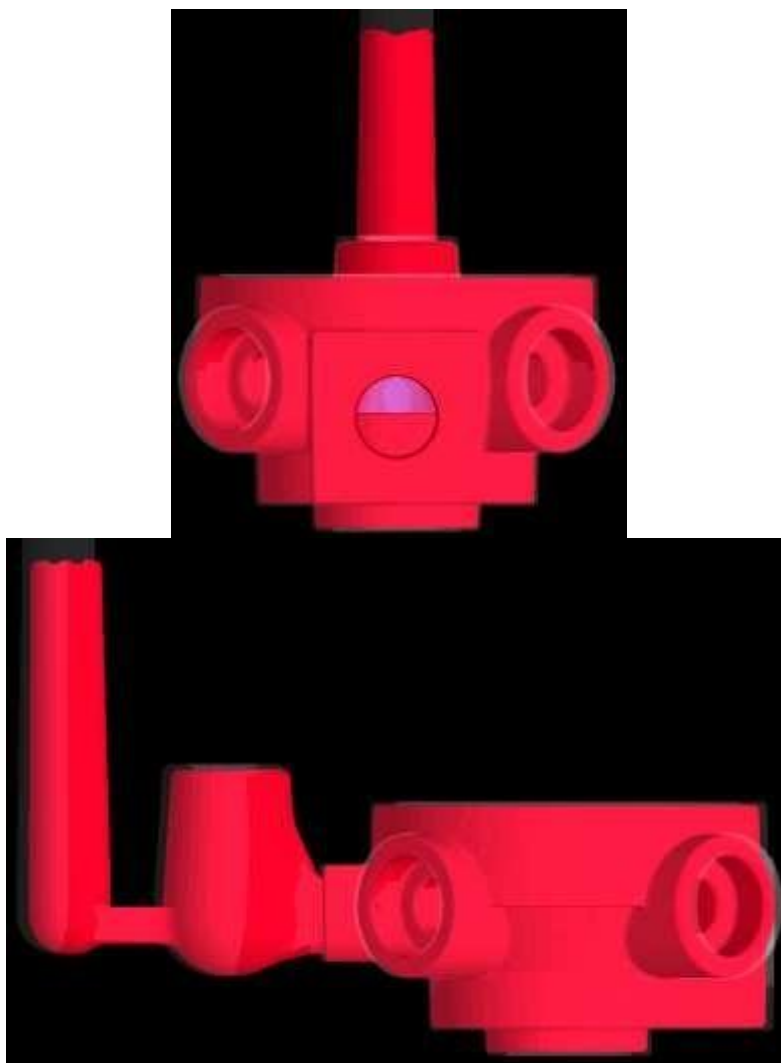
Зміщення (усадка). Усадкою називається зменшення об'єму та лінійних розмірів виливки в процесі її формування під час охолодження з температури заливки до температури навколишнього середовища. Усадка є однією з найважливіших ливарних властивостей сплавів.

Для оцінки усадки використовують поняття: відносна усадка і коефіцієнт усадки в інтервалі температур. Залежно від агрегатного стану сплаву розрізняють усадку в рідкому, твердо-рідкому і твердому станах. Повна усадка є сумою цих трьох доданків.

Основу усадки становить термічне стиснення, яке збільшується або

зменшується в результаті фазових перетворень і зміни розчинності газів. У низки сплавів поблизу від температури ліквідуса спостерігається збільшення об'єму, що називається передусадочним розширенням.

Під час затвердіння рідка фаза металу переходить у тверду, відповідно при цьому відбувається зменшення об'єму виливки при фазовому переході. Програма дає можливість спрогнозувати, як і в який бік зміститься поверхня виливки за цього явища. На рис. 3.36 проглядаються силуетний контур початкового положення виливки і зафарбований, який відповідає положенню після затвердіння. Ці зміщення становлять близько 0,5 - 1,8 мм.



На рис. 3.37 це можна побачити, порівнявши колір контуру зі шкалою. Середні показання зміщень - 1,5 мм.

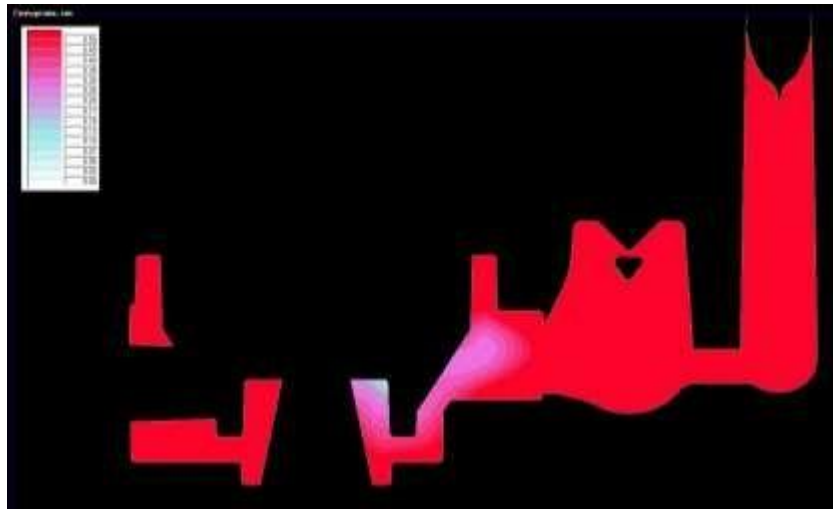


Рис. 3.37. Аналіз "Зміщення"

Гарячі тріщини. Гарячими тріщинами називають добре видиме порушення суцільності виливки. Поверхня тріщини груба, окислена зі слідами дендритів. Характерною ознакою гарячих тріщин є їх нерівні (рвані) краї та значна ширина.

Зазвичай руйнування виливків (виникнення гарячих тріщин) відбувається під впливом розтягувальних напружень. При цьому залежно від схеми навантаження вузла виливки причиною її руйнування може бути недостатня міцність сплаву або недостатня здатність до деформування. Це означає, що сплав, який має достатню міцність за високих температур і хорошу стійкість проти утворення тріщин під час виготовлення одних виливків, не завжди придатний для інших виливків.

Є можливість прогнозування гарячих тріщин. Як видно з рис. 3.38, у перерізах виливки коефіцієнт прогнозування гарячих тріщин не переходить у червону зону, відносна різниця між максимальним значенням отриманих результатів (2,6) і максимальним значенням за шкалою (10) не перевищує 3,5 разів.

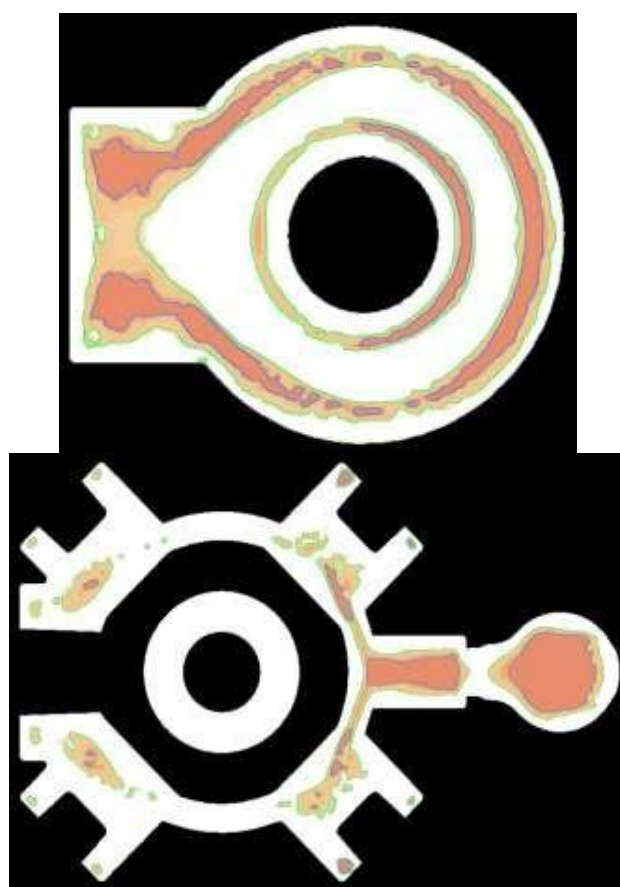
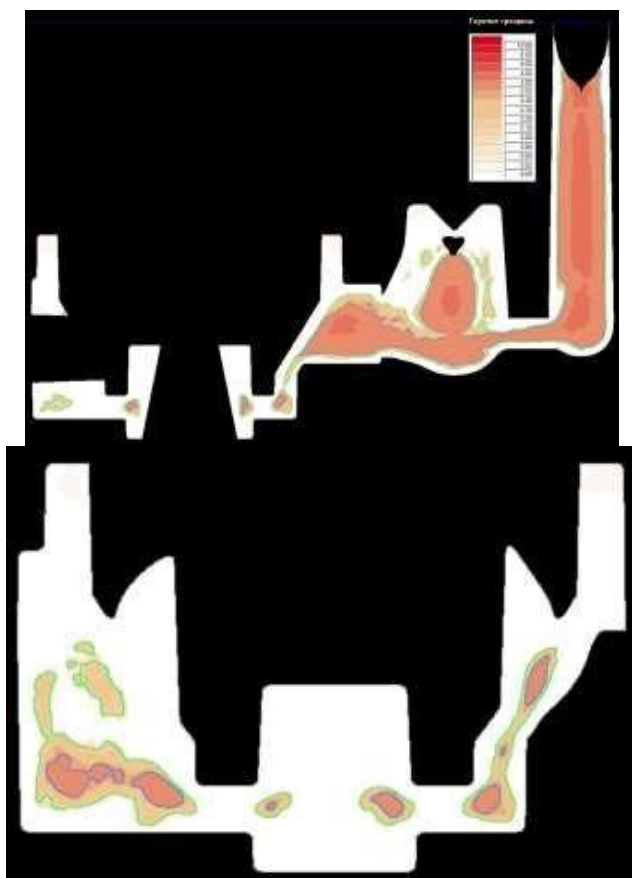


Рис. 3.38. Аналіз "Гарячих тріщин"

Параметри "Зсуви" та "Гарячі тріщини" є основними та суттєво впливають на якість лиття. До решти параметрів, які наявні в цьому модулі, належать: робота пластичної деформації, максимальне головне напруження, напруження стиснення, інтенсивність пластичної деформації (рис. 3.39).

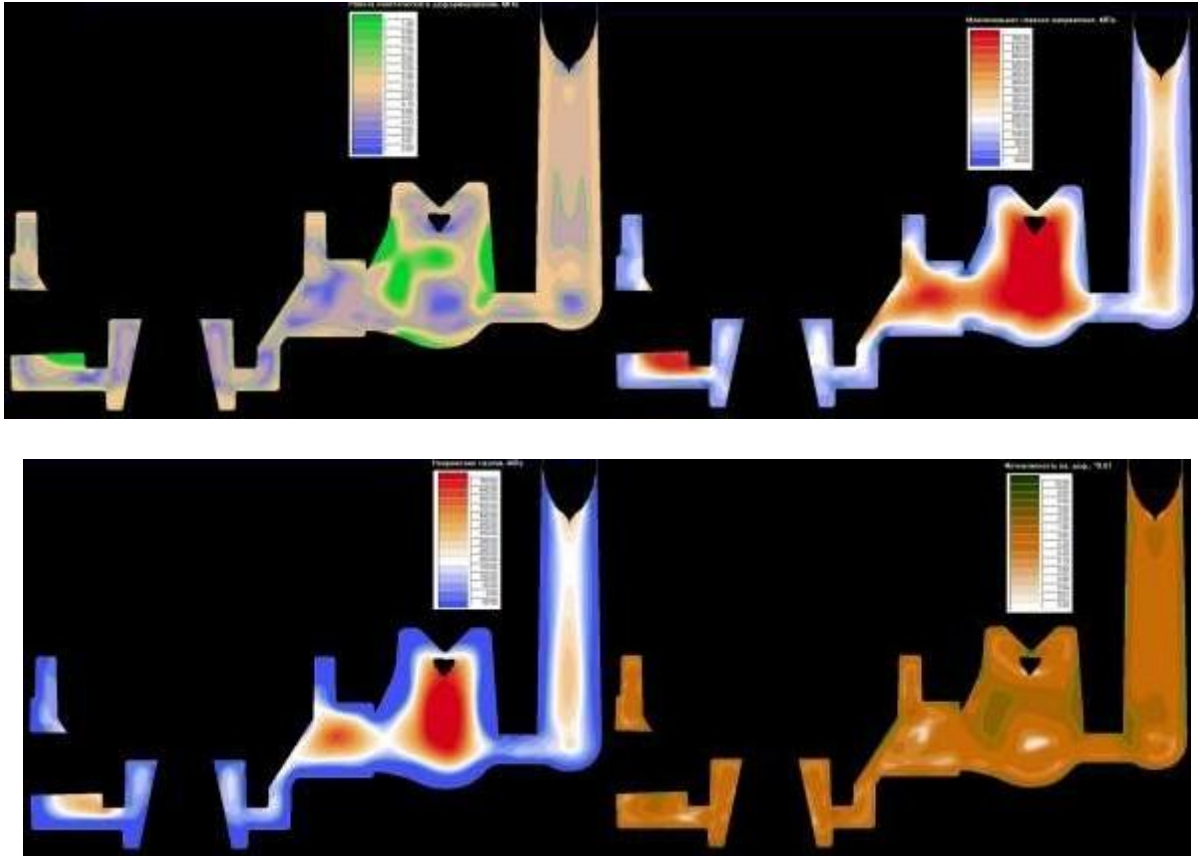


Рис. 3.39. Решта результатів модуля "Напруження"

Спостереження за розвитком процесів і чітке хронометрування утворення дефектів дає змогу зрозуміти, коли і в якій ділянці можуть виникнути дефекти, відкриває можливості для швидкого реагування та внесення змін у конструкцію або технології лиття.

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА СТАНУ УМОВ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

В магістерській роботі досліджувалися технології кокільного лиття та розроблено кокільне оснащення.

Лиття в кокіль є прогресивним способом отримання виливків, який полягає у багаторазовому використанні металевої форми – кокілю.

При впровадженні лиття в металеві форми скорочуються процеси переробки та транспортування формувальних матеріалів, виготовлення та висушування форм у порівнянні з литтям в одноразові піщані форми. Це дозволяє вивільнити виробничі площі цеху, суттєво покращити санітарно-гігієнічні умови праці та знизити трудомісткість виготовлення виливків.

Залежно від кількості деталей, розмірів і конфігурації виливків розрізняють ручні і механізовані кокілі. За ступенем механізації бувають ручні кокілі, механізовані кокільні верстати, однопозиційні та багатопозиційні кокільні машини та конвеєри.

З точки зору охорони праці доцільно застосовувати кокілі з максимальним ступенем механізації. При цьому значно скорочується трудомісткість операцій та покращуються умови праці.

При проектуванні та виготовленні кокілів повинна бути передбачена така їх конструкція, яка б виключила можливість витікання розплавленого металу через щілини або зазори при його заливанні. Необхідно забезпечити щільне прилягання напівформ кокілю один до одного.

Запірні пристрої повинні забезпечувати надійне з'єднання під час заливки кокілю. Кокілі, що заливаються на верстатах або карусельних пристосуваннях, повинні мати штовхачі для виймання виливків, що виключають введення рук робітника в небезпечну зону. Рукоятки важелів і штовхачів повинні мати таку конструкцію та розташування, які б попереджали можливість защемлення пальців робітника в процесі роботи.

Кокільні верстати карусельного типу з періодичним обертанням повинні

мати фіксацію столу на кожній позиції, а верстати з нахилом мати обмежувачі повороту. Послідовність технологічних операцій у машинах кокільного лиття повинна забезпечуватися блокуванням, яке не допускає заливання металу в незакриту форму-кокіль, а також змикання окремих частин кокілю під час операцій очищення, нанесення фарби, встановлення стрижнів.

Для попереднього нагрівання кокілів використовують переносні електричні нагрівачі напругою до 42В або газові пальники. Кокіль має бути заземлений. Роботи, не пов'язані з отриманням виливків, повинні проводитися за відключеної напруги.

При великих розмірах кокілів механізують процеси установки металевих стрижнів, відкривання і закривання половин кокілю і виймання виливків. При використанні гідравлічних механізмів слід звертати увагу на те, щоб не було контакту розплавленого металу з мастилом та водою.

Для фарбування кокілів застосовують спеціальні водяні кокільні фарби, які наносять на стінки кокілю за допомогою пульверизатора. Кокілі перед заливкою слід просушувати та підігрівати до температури, встановленої у технологічній документації для конкретного сплаву.

Для обдування кокілів застосовують стиснене повітря, яке попередньо висушують. Необхідно стежити за тим, щоб повітря не було вологим, особливо після тривалих перерв у роботі.

Вимоги безпеки, яких треба дотримуватись при експлуатації плавильних печей, що обслуговують кокільні верстати, аналогічні вимогам безпеки при литті в разові форми.

Кокілі розташовують зазвичай на майданчиках перед роздавальними печами. На кокільній ділянці повинні бути передбачені місця для охолодження виливків, які зазвичай розміщуються біля кокільного столу, машини, верстата. Зважаючи на близькість кокільної ділянки до плавильних печей і велику кількість теплоти, що виділяється остигаючими виливками, температура навколишнього повітря значно підвищується, особливо в теплу пору року.

При заливанні виробів виділяється сірчистий газ, а при охолодженні виливків із піщаними (оболонковими) стрижнями можливе виділення акролеїну та інших газів. Тому одним із основних завдань покращення умов та безпеки праці є видалення надлишкової теплоти та шкідливих газів, а також організація вентиляції.

Вентиляційні системи ділянки кокільного лиття повинні включати загально обмінну вентиляцію, місцеві відсмоктувачі від плавильних та роздавальних печей, а також місцеву вентиляцію від місць охолодження виливків.

На кокільній ділянці не слід допускати великого скупчення виливків, що остигають, так як це захаращує проходи і погіршує умови праці.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

При встановленні економічної вигоди ливарного виробництва від удосконалення технології виготовлення виливків важливо усвідомлювати факт того, що металеві форми достатньо дорогі, але мають тривалий термін служби (від сотень до десятків тисяч циклів). Тому вартість продукції значно падає під час масового виробництва або як мінімум при багатосерійному.

Економічна оцінка зазвичай проводиться шляхом порівняння витрат та вигод від впровадження або використання певної технології. Основними критеріями в цьому випадку є

- собівартість виготовлення виливків. Ця величина складається зі змінних витрат та постійних. До змінних ($B_{зм}$) відносимо витрати на сплав, енергію, додаткові матеріали (мастила, покриття) та витрати на оплату праці. До постійних витрат ($B_{пост}$) вартість виготовлення металевої форми, її амортизацію та витрати на обслуговування обладнання;
- продуктивність процесу виробництва. Так як лиття в металеві форми зазвичай забезпечує достатньо коротку тривалість циклу шляхом швидкого охолодження металу, меншу потребу в ручній праці та менший відсоток дефектів – продуктивність зростає, а собівартість одиниці продукції зменшується;
- рівень дефектів та стабільність якості виливків. При використанні кокілю можна отримати хорошу якість поверхні, низьку пористість та малий припуск на обробку. Це позитивно впливає (зменшує) на витрати металу, наступну механічну обробку литої деталі та на відсоток можливого доведення деталі до необхідних геометричних розмірів.

З урахуванням цього економічна ефективність може бути визначена методом порівняння собівартості кокільного виготовлення виливків з іншими альтернативними варіантами технології. Собівартість же визначатимемо користуючись формулою

$$C = B_{\text{пост}}/Q + B_{\text{зм}} \quad (5.1)$$

де $B_{\text{пост}}$ – постійні витрати, що включають вартість виробництва металевої форми та підготовку виробництва;

Q – обсяг виготовлення лиття на період, наприклад рік;

$B_{\text{зм}}$ – змінні витрати на одиницю продукції.

А економічний ефект від виготовлення одиниці продукції визначається як

$$E = C_{\text{баз}} - C_{\text{мет форма}} \quad (5.2)$$

або за обраний період

$$E_{\text{річн}} = (C_{\text{баз}} - C_{\text{метформа}}) \times Q \quad (5.3)$$

де $C_{\text{баз}}$ та $C_{\text{мет форма}}$ – порівнювані рівні собівартості виготовлення виливків за базовою технологією (з використанням піщаної форми) та за технологією з використанням металевої форми.

На основі попередніх досліджень визначили, що лиття у металеві форми є більш ефективним при середніх та великих обсягах виробництва, коли потрібна висока точність та чистота поверхні для мінімізації механічної обробки та головне щоб матеріал сплаву підходить для кокільного лиття.

Для розрахунку собівартості виготовлення виливка, наприклад з алюмінієвого сплаву вагою 2,5 кг, необхідно врахувати інформацію приведену в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристика порівнюваних технологій (для виробництва виливка вагою 2,5 кг)

Показник	Технології з використанням	
	Піщаної форми	Металевої форми
Вартість металу, грн.	262,5	
Енергія та витратні матеріали на литу деталь	21,0	
Оплата праці	при вартості праці 336 грн./год.	
нормо-год	0,6	0,3
грн.	201,6	100,8
Вартість механічної обробки, грн.	210,0	126,0
Вартість форми, грн./литу деталь	Разова 63,0	10 тис. циклів використання 25,2
Витрати, грн./од	758,1	535,5
Брак, %	8	2
Коефіцієнт придатного	0,92	0,98
Собівартість з урахуванням браку, грн./од	824,0	546,4

Ефективність використання лиття в кокіл (за формулою 5.2) становить

$$E = 824,0 - 546,4 = 277,6 \text{ грн./литу деталь}$$

Якщо річна виробнича програма складатиме 5000 деталей, річна економія (за формулою 5.3):

$$E_{\text{річн}} = 277,6 \times 5000 = 1388 \text{ тис. грн.}$$

При вартості виготовлення 1-ї металевої форми зі сталі в 252 тис. грн., окупність її дорівнюватиме

$$T_{\text{ок}} = 252 / 1388 = 0,18 \text{ року}$$

або

$$T_{\text{ок}} = 252000 / 277,6 = 908 \text{ деталей}$$

Тобто, після виготовлення ~908 деталей інвестиції у металеву форму окупляться, що підтверджує доцільність наших пропозицій.

ВИСНОВКИ

Для розроблення технології виготовлення ливарної форми для відливання деталі "Щит підшипниковий" найпридатнішою САПР є LVMFlow, оскільки цей комплекс широким спектром можливостей і процесів моделювання лиття, які є невід'ємною частиною в реальній роботі.

У даній роботі застосовується сплав SS1505 з бази даних програми, який належить до шведського стандарту ливарних сплавів і є аналогом сталі 30Л.

Під час проєктування ливникової системи було враховано лінійну усадку сталі 30Л (2,2 - 2,3%), припуски на механічну обробку (0,5 - 1,5 мм), теплове розширення порожнини форми. Через складну конфігурацію деталі "щит підшипниковий" виливок у ливарній формі повинен розташовуватися базовою поверхнею "догори", щоб форма цілком заповнилася рідким металом за нормального технологічного режиму. У виливка немає різких переходів від товстих стінок до тонких, великої кількості виступаючих частин, заглиблень і гострих внутрішніх кутів. Зовнішній контур утворюється за рахунок внутрішньої поверхні напівформ кокіля, внутрішній за допомогою піщано-глинистих стрижнів. Виливок має живильні елементи (надливи).

Перш ніж отримати задовільний результат, провели 6 досліджень. Було визначено такі параметри: температура заливки, час заповнення форми, час кристалізації, матеріал форми, початкова температура форми, матеріал стрижня. Показання середніх зсувів під час затвердіння становить 1,5 мм, коефіцієнт прогнозування гарячих тріщин - 2,6, що не перевищують допустиму норму. Таким чином, усі перераховані вище параметри, характеристики і конфігурації вірні.

Спостереження за розвитком процесів і чітке хронометрування утворення дефектів у програмі LVMFlow дає змогу зрозуміти, коли і в якій ділянці дефекти можуть виникнути, що відкриває можливість для швидкого реагування та внесення змін у конструкцію.

Завершальним етапом цієї роботи є розробка ливарної форми для виготовлення виливка. Як ливарну форму було обрано кокіль, оскільки він має безсумнівні переваги перед литтям у піщані форми. Матеріалом для напівформ кокіля був обраний антифрикційний чавун АЧВ-2.

Конструкція спроектованого кокіля задовольняє необхідним вимогам:

- рівномірне надходження металу у форму без утворення бризок;
- точне з'єднання частин форми;
- забезпечення вільної усадки і вибивання виливки.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. LVMFlow 2.92r12. Тексти довідки. - ЗАТ НВО МКМ. - 2005.