

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології лиття в кокіль виливка
«Корпус» з підвищенням міцності виливка на
основі комп'ютерного аналізу його
напружено-деформованого стану»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го
курсу групи ПМ-24М-1
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Олександр ЮВІЦА

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Механіко-технологічний
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Ювіца Олександр Іванович

1. Тема роботи: «Розробка технології лиття в кокінь виливка «Корпус» з підвищенням міцності виливка на основі комп'ютерного аналізу його напружено-деформованого стану»
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 15.12.2025 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології лиття в кокінь виливка «Корпус» з підвищенням його міцності на основі аналізу напружено-деформованого стану. Вибрати ливарне обладнання для виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів методом лиття в кокінь. Розробити технологію лиття в кокінь виливка «Корпус». Виконати комп'ютерний аналіз напружено-деформованого стану виливка за умов його реальних навантажень. На основі виконаних досліджень розробити рекомендації щодо підвищення міцності та зменшення металоємності виливка.
5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельно-ливарних вказівок; 2) права половина кокіля; 3) ліва половина кокіля; 4) креслення стержня центрального; 5) креслення ливарної форми в зборі.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

| Розділ | Консультант | Підпис, дата | |
|---------------|---------------|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Оглядовий | Конончук С.В. | | |
| Технологічний | Конончук С.В. | | |
| Науковий | Конончук С.В. | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1 | Огляд літератури по темі роботи | 30.09.2025 | |
| 2 | Розрахунки по технологічній частині | 10.10.2025 | |
| 3 | Креслення по технологічній частині | 20.10.2025 | |
| 4 | Розрахунки і дослідження по науковій частині | 30.10.2025 | |
| 5 | Плакати по науковій частині | 10.11.2025 | |
| 6 | Оформлення пояснювальної записки | 20.11.2025 | |
| 7 | Перевірка на анти плагіат | 30.11.2025 | |
| 8 | Оформлення рецензії | 10.12.2025 | |
| 9 | Захист дипломного проекту | 20.12.2025 | |

Дата видачі завдання

«___»_____2025 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

«___»_____2025 р.

Підпис здобувача

_____ Ювіца О.І.

Анотація

ЮВІЦА Олександр. Розробка технології лиття в кокіль виливка «Корпус» з підвищенням міцності виливка на основі комп'ютерного аналізу його напружено-деформованого стану. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2025. 69 с.

Вибрано ливарне обладнання та описано роботу ливарного цеху. Розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Корпус». Виконано комп'ютерний аналіз напружено-деформованого стану виливка за умов його реальних навантажень. На основі виконаних досліджень розроблено рекомендації щодо підвищення міцності та зменшення металоємності виливка.

Актуальність роботи полягає у розробці технології лиття в кокіль виливка «Корпус» з використанням сучасного високопродуктивного ливарного обладнання. Досліджено напружено-деформований стан виливка при його реальних експлуатаційних навантаженнях.

Ключові слова: плавильна піч, кокільний верстат, алюміній, виливок, кокіль, ливникова система, підживлювач, міцність, комп'ютерне моделювання.

Summary

YUVITSA Oleksandr. Development of technology for casting the “Korpus” casting in a mold with increased casting strength based on computer analysis of its stress-strain state. Qualification work at the second (master's) level of higher education: CUNTU, 2025. 69 p.

Foundry equipment was selected and the work of the foundry was described. The technology of die casting of the “Korpus” casting was developed. A computer analysis of the stress-strain state of the casting under its real loads was performed. Based on the research, recommendations were developed to increase the strength and reduce the metal content of the casting.

The relevance of the work lies in the development of the technology of die casting of the “Korpus” casting using modern high-performance foundry equipment. The stress-strain state of the casting under its real operational loads was studied.

Keywords: melting furnace, die casting machine, aluminum, casting, die casting, sprue system, feeder, strength, computer modeling.

ЗМІСТ

| | стор. |
|--|-------|
| ВСТУП | 8 |
| 1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ | 10 |
| 1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху | 10 |
| 1.2. Плавильне відділення | 11 |
| 1.3. Відділення лиття в кокіль | 19 |
| 1.4. Відділення відрізки та обрубки ливників | 23 |
| 1.5. Відділення фінішної очистки виливків | 25 |
| 1.6. Допоміжні відділення | 27 |
| 1.7. Висновки по розділу | 29 |
| 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ ВИЛИВКА «КОРПУС» | 30 |
| 2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на вилівок | 30 |
| 2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка | 31 |
| 2.3. Розрахунок і конструювання підживлювача | 32 |
| 2.4. Розрахунок та конструювання ливникової системи | 33 |
| 2.5. Технологічний процес виготовлення виливка | 40 |
| 2.6. Процес проєктування ливарного оснащення | 40 |
| 2.7. Аналіз ливникової системи | 41 |
| 2.8. Висновки по розділу | 42 |
| 3. ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ВИЛИВКА НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ЙОГО НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ | 43 |
| 3.1. Методи підвищення міцності виливка та постановка задач дослідження | 43 |
| 3.2. Можливості модуля дослідження міцності SolidWorks Simulation | 44 |
| 3.3. Розрахунки на міцність 3D-моделі виливка «Корпус НШ32УК» в середовищі Solidworks Simulation | 46 |

| | |
|---|----|
| 3.4. Розробка нової конструкції вилівка «Корпус НШ32УК» та дослідження його міцності в середовищі Solidworks Simulation | 56 |
| 3.5. Висновки по розділу | 62 |
| ВИСНОВКИ | 64 |
| ЛІТЕРАТУРА | 66 |
| ДОДАТКИ | 69 |

ВСТУП

Актуальність роботи. Ливарне виробництво є однією з ключових заготівельних баз машинобудування, оскільки литі заготовки використовуються практично в усіх його галузях. Методом лиття можна отримувати деталі будь-якої складності з мінімальними припусками на механічну обробку та високими експлуатаційними властивостями.

Для ливарного виробництва характерна значна різноманітність способів лиття, технологічних процесів, обладнання, оснащення та матеріалів. Це зумовлено як складністю самого процесу формування виливків, так і широкою номенклатурою сучасних технічних деталей, особливостями їх виготовлення та умовами експлуатації. Розвиток виробництва спрямований на отримання більш легких, точних і складних за конфігурацією виливків шляхом застосування високоміцних, зокрема кольорових сплавів, а також високоефективних технологій і сучасної оснастки.

Основні напрями удосконалення ливарного виробництва пов'язані з розширенням застосування існуючих та впровадженням нових технологічних процесів, що забезпечують зниження матеріаломісткості та енерговитрат, скорочення трудових затрат, підвищення продуктивності та покращення умов праці. Впровадження таких рішень дозволяє мінімізувати шкідливий вплив на довкілля та в цілому підвищує ефективність виробництва.

Необхідність швидкого освоєння складної техніки зумовлює широке застосування комп'ютерних систем автоматизованого проектування. Важливою складовою цих систем є інструменти моделювання, зокрема для аналізу міцності. Виконання комп'ютерних досліджень на стадії проектування дає можливість виявити недоліки конструкції ще до виготовлення деталей, оперативно внести необхідні зміни та істотно скоротити витрати часу, матеріальних і енергетичних ресурсів.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в кокіль вилівка «Корпус» з підвищенням міцності вилівка на основі комп'ютерного аналізу його напружено-деформованого стану.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- опис роботи ливарного цеху та вибір обладнання для виготовлення виливків;
- розробка технології лиття в кокіль вилівка «Корпус»;
- дослідження в САЕ-Модулі системи Solidworks Simulation напружено-деформованого стану вилівка за умов його реальних навантажень;
- розробка рекомендацій щодо підвищення міцності та зменшення металоємності вилівка.

Об'єкт дослідження – технологічний процес лиття в кокіль алюмінієвих сплавів.

Предмет дослідження – взаємозв'язок між конструкцією вилівка та його міцністю.

Практичне значення – розроблені рекомендації дозволяють зменшити металоємність вилівка при забезпеченні необхідної міцності.

Особистий внесок – розроблено технологію лиття в кокіль вилівка «Корпус», досліджено вплив експлуатаційних навантажень на запас міцності вилівка, розроблено нову конструкцію вилівка, в якій найбільш навантажені місця зміцнено ребрами жорсткості, а найменш навантажені виконано тоншими.

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.

Розташування ливарного цеху є одним із ключових чинників, що визначають собівартість та конкурентоспроможність продукції. Вибір території для його будівництва залежить від низки параметрів, серед яких: обсяг та маса виливків, їх конструктивний тип, екологічні характеристики застосовуваних матеріалів, рівень технічного оснащення, можливості логістичного забезпечення виробництва, а також доступність енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів. З огляду на ці вимоги доцільним є розміщення ливарного цеху на околиці міста, у спеціалізованій промисловій зоні, що відокремлена від житлової забудови захисними лісосмугами. Такий підхід дає змогу мінімізувати негативний вплив виробництва на довкілля та забезпечити відповідність санітарно-гігієнічним нормам.

Організація екологічної безпеки є невід'ємною складовою проектування підприємства. Усі відходи ливарного виробництва повинні бути своєчасно уловлені, перероблені або утилізовані відповідно до нормативних вимог. Промислова зона, на якій планується розташування цеху, має забезпечувати стабільне підключення до електромережі, газопостачання, систем централізованого водопостачання та водовідведення. Для технічних потреб можливе використання води зі свердловин або попередньо очищеної води з місцевих водойм. Близькість житлових районів і навколишніх населених пунктів гарантує наявність необхідного кадрового потенціалу, а розташування поблизу основних автодорожніх вузлів та ліній Одеської залізниці спрощує транспортування матеріалів, обладнання та готової продукції. Опалення ливарного цеху передбачається здійснювати за допомогою автономної котельні з водяною системою тепlopостачання.

Спроектований ливарний цех спеціалізується на виготовленні алюмінієвих виливків для підприємств сільськогосподарського та автомобільного

машинобудування методом лиття в металеві форми (кокілі). У виробництві передбачається застосування механізованих, автоматизованих та роботизованих охолоджувальних машин одно- або багатопозиційного типу. Кокільна оснастка формується зі знімних секцій, оснащених механізмами фіксації, розкриття форми та видалення стрижнів. Номенклатура виливків включає заготовки для деталей гідравлічних машин та агрегатів: корпуси, кришки, втулки, обойми, розпірки та інші елементи для шестеренчастих насосів і гідромоторів.

Режим роботи цеху визначається серійністю виробництва, середньою масою виливків, видом металу, технічними характеристиками плавильного устаткування та особливостями технологічного процесу лиття. З урахуванням номенклатури продукції та рівня автоматизації виробництва оптимальним є двозмінний режим роботи. При цьому технічне обслуговування та ремонт обладнання доцільно проводити у третю зміну, що забезпечує безперервність виробництва та підвищує ефективність використання устаткування.

1.2.Плавильне відділення

1.2.1. Характеристика сплаву що виплавляється. Згідно з завданням на випуск кваліфікаційну роботу для виготовлення виливків використовується сплав АК5М2Ц4. Хімічний склад та механічні властивості сплавів наведені у таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву

| Сплав | Si | Mg | Cu | Mn | Ti | Zn | Fe | Al |
|---------|---------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------|--------|
| АК5М2Ц4 | 4,0–6,0 | 0,2– 0,8 | 1,5– 3,5 | 0,2– 0,8 | 0,05– 0,2 | 3,5– 8,0 | < 1,3 | Основа |

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву

| Сплав | Вид ТО | Границя міцності при розтягу, кгс/мм ² (Па) | Відносне видовження, % | Твердість, НВ | Лінійна усадка, % | Рідинотекучість (мм) по спіральній пробі |
|---------|--------|--|------------------------|---------------|-------------------|--|
| АК5М2Ц4 | Т1 | 22 (216) | 1,3 | 95–125 | 1,25 | 410 |

У процесі плавлення частина металу неминуче втрачається внаслідок утворення шлаку, формування оксидних плівок та угару. Ці втрати впливають на фактичний вихід металу і мають бути враховані під час розрахунку шихтових матеріалів. Узагальнені дані щодо втрат при плавленні алюмінієвих сплавів наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Втрати при плавці

| Марка сплаву | Види втрат, % | | | |
|--------------|---------------|----------------|-------|-----------------|
| | Шлак | Оксидні плівки | Угар | Загальні втрати |
| AK5M2Ц4 | 4,500 | | 1,610 | 6,110 |

Алюмінієві сплави належать до групи кольорових металевих сплавів, основою яких є алюміній. До їх складу вводять один або кілька легуючих елементів, що забезпечують підвищення механічних та технологічних властивостей. Легування дає змогу покращити твердість, міцність, пластичність, оброблюваність різанням, рідинотекучість та зварюваність сплавів, що значно розширює сферу їх застосування.

Залежно від основних легуючих елементів алюмінієві сплави поділяють на алюмінієво-мідні, алюмінієво-кремнієві, алюмінієво-магнієві та алюмінієво-марганцеві. Крім основних елементів, до їх складу можуть входити титан, олово, цинк та інші компоненти, які коригують структуру й властивості матеріалу. Прикладом є сплав AK5M2Ц4, що містить 5 % кремнію, 2 % міді, 0,5 % марганцю, до 8 % цинку та до 0,2 % титану. Натомість підвищений вміст заліза є небажаним, оскільки воно спричиняє крихкість та погіршує експлуатаційні характеристики сплаву.

Алюміній як основа сплавів має низку технологічних та експлуатаційних переваг, що визначають його промислове значення. До головних переваг належать:

- **доступність** — алюміній є одним із найпоширеніших елементів земної кори;

- **мала густина** — дозволяє отримувати легкі конструкції та знижувати масу виробів;
- **достатня міцність** — у поєднанні з малою густиною забезпечує високе співвідношення міцності до ваги;
- **можливість вторинної переробки** — алюміній майже повністю придатний до багаторазового переплавлення, що робить його екологічно вигідним матеріалом;
- **корозійна стійкість** — природна оксидна плівка захищає метал у різних агресивних середовищах;
- **добра оброблюваність різанням**;
- **високі ливарні властивості**, зокрема рідинотекучість та відносно мала усадка, що дає змогу виготовляти деталі складної конфігурації;
- **зварюваність**, що спрощує виготовлення та ремонт конструкцій.

Поєднання цих властивостей визначає широке застосування алюмінієвих сплавів у різних галузях промисловості як в Україні, так і за кордоном. Зокрема, вони використовуються в автомобільній, хімічній та авіаційній промисловості, у машинобудуванні, приладобудуванні та багатьох інших сферах, де потрібні легкі, міцні та корозійностійкі матеріали.

1.2.2. Вибір плавильного агрегату. Для плавлення алюмінієвих сплавів обрано індукційну тигельну піч ІАТ-2,5/1,15. Індукційні тигельні печі широко застосовуються в ливарному виробництві завдяки поєднанню високої продуктивності, економічності та сприятливих санітарно-гігієнічних умов. Втрати металу на угар, зливи та сплески при їх роботі є мінімальними, що позитивно впливає на вихід придатного металу.

Однією з ключових переваг індукційних печей є постійне перемішування розплаву, яке виникає під дією індукційних струмів. Це забезпечує рівномірний розподіл температури та хімічних елементів у всьому об'ємі розплавленого металу, підвищуючи якість сплаву та прискорюючи засвоєння легуючих елементів.

Принцип дії індукційної печі базується на явищі електромагнітної індукції. Струм промислової частоти, який подається на індуктор, створює змінне електромагнітне поле. Це поле індукує в розплавлюваному металі вихрові струми, що спричиняють його нагрівання до температури плавлення. Утворення вихрових потоків забезпечує перемішування розплаву та його гомогенність. Тепло виділяється безпосередньо в металі, що забезпечує високий ККД та стабільність процесу [1, 3].

Індукційні тигельні печі зарекомендували себе як надійне обладнання для плавлення широкої номенклатури сплавів. При роботі на промисловій частоті вони особливо ефективні для плавлення дрібнодисперсної шихти, включно зі стружкою. Рівномірність температурного поля та стабільність теплових потоків забезпечують отримання високоякісного розплаву.

Провідні ливарні підприємства багато років використовують печі фірми **ОТТО JUNKER** для плавлення та обробки легких та кольорових сплавів [2]. Безканальна тигельна піч має знімний керамічний тигель, у якому здійснюється плавлення й перегрів металу за допомогою водоохолоджуваного спірального індуктора.

Типове оснащення індукційної печі включає:

- магнітопровідні екрани;
- систему гідравлічного нахилу;
- автономну замкнену систему водяного охолодження;
- систему безперервного зважування для автоматизації шихтування;
- датчики та автоматизовану систему контролю технологічних параметрів;
- термопари для контролю температури розплаву.

Завдяки відпрацьованій конструкції та багаторічному досвіду виробництва піч ІАТ-2,5/1,15 відзначається високою надійністю, простотою монтажу та ефективністю експлуатації. Вона призначена для плавлення сталі, чавуну та кольорових сплавів. Алюмінієві сплави та інші кольорові метали плавляться у

графітових тиглях, тоді як чорні метали – у набивних. Технічні характеристики печі наведені у таблиці 1.4, а її загальний вигляд показано на рисунку 1.1.



Рис. 1.1. Індукційна тигельна піч 2,5/1,15

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика індукційної печі

IAT-2,5/1,15 OTTO JUNKER

| Технічний параметр | Показник | |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Плавка в гарячому тиглі | Плавка в холодному тиглі |
| Ємність печі, т: | | |
| по сталі | 2,5 | 2,5 |
| по міді | 2,8 | 2,8 |
| по алюмінію | 0,85 | 0,85 |
| Потужність, кВт : | | |
| живлючого перетворювача | 320 | 320 |
| споживаєма | 250 | 250 |
| Температура перегріву, °С : | | |
| сталі | 1600 | 1600 |
| міді | 1200 | 1200 |
| алюмінію | 760 | 760 |

| | | |
|---|------|---------|
| Питома втрата електроенергії на розплавлення та перегрів, кВт·год/т : | | |
| сталі | 665 | 750 |
| міді | 480 | 700 |
| алюмінію | 380 | 600 |
| Максимальна швидкість плавки, т/год : | | |
| сталі | 1,5 | 1,0 |
| міді | 2,25 | 1,6 |
| алюмінію | 1,15 | 0,85 |
| Час розплавлення та перегріву, год | | |
| сталі | 1,3 | 2,0–2,2 |
| міді | 1,0 | 1,4–1,8 |
| алюмінію | 0,6 | 0,8–1,0 |

1.2.3. Розрахунок балансу металу. Баланс металу розраховуємо на 1 т придатних виливків.

Загальна маса металевої завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатних виливків розраховується за формулою, т:

$$M = \frac{100 \cdot (П + Л + Б)}{100 - у - з}, \quad (1.1)$$

де П – маса придатного литва,

Л – маса ливників,

Б – маса браку,

у – відсоток угару при плавці, в зв'язку з тим що цей сплав дуже активний до окислення,

з – відсоток зливів, метал що залишається в ковші та іде на переплав.

Для сплаву АК5М2Ц4:

$$M = \frac{100 \cdot (1,000 + 0,354 + 0,058)}{100 - 1,61 - 4,5} = 1,504 \text{ т}$$

Тобто, для отримання 1т придатних виливків із сплаву АК5М2Ц4 необхідно розплавити 1,504 т металу.

Визначаємо відносний вміст складових балансу:- придатного литва, ливників та браку:

$$\pi = \frac{\Pi}{M} \cdot 100\%; \quad \lambda = \frac{Л}{M} \cdot 100\%; \quad \beta = \frac{Б}{M} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

$$\pi = \frac{1,000}{1,504} \cdot 100\% = 66,48\%,$$

$$\lambda = \frac{0,354}{1,504} \cdot 100\% = 23,54\%,$$

$$\beta = \frac{0,058}{1,504} \cdot 100\% = 3,86\%$$

Визначаємо масу угару та зливів, т

$$У = \frac{1,61}{100\%} \cdot 1,504 = 0,024 \text{ т}$$

$$З = \frac{4,5}{100\%} \cdot 1,504 = 0,068 \text{ т}$$

Таблиця 1.5 – Відомість балансу металу сплаву АК5М2Ц4

| Складові балансу | т | % |
|------------------|-------|--------|
| Придатне литво | 1,000 | 66,48 |
| Ливники | 0,354 | 23,54 |
| Брак | 0,058 | 3,86 |
| Угар | 0,024 | 1,61 |
| Зливи | 0,068 | 4,52 |
| Всього | 1,504 | 100,00 |

Перед початком плавлення алюмінієвих сплавів шихтові матеріали проходять ретельну попередню підготовку. Вони підлягають подрібненню, очищенню від забруднень, мастильних матеріалів та сторонніх включень, а також сушінню й підігріву, що є особливо важливим для лігатур. Дотримання цих вимог забезпечує стабільність хімічного складу сплаву та запобігає утворенню газових включень у розплаві. Зберігати шихтові матеріали необхідно в сухому, вентилярованому та захищеному від атмосферних впливів приміщенні,

оскільки навіть незначна кількість вологи може викликати насичення розплаву воднем і погіршити якість готових виливок [4–6].

Шихта формується зі свіжого чушкового алюмінію, відходів власного виробництва та лігатур, які вводять для коригування хімічного складу. Під час складання шихти враховують вимоги до складу сплаву, установлені ГОСТами або технічними умовами, а також фактичний склад кожної групи шихтових матеріалів. Особливу увагу приділяють відходам, хімічний склад яких змінюється при багаторазовому плавленні. Наприклад, при циклічному переплавленні зменшується вміст цинку, що потребує додаткового введення лігатур цинковмісних елементів. Для отримання сплаву АК5М2Ц4 зазвичай застосовують 65 % свіжого чушкового алюмінію та 35 % відходів власного виробництва. Під час розрахунку шихти також враховують втрати металу через угар та утворення шлаку, оскільки їх ігнорування може призвести до відхилень у хімічному складі готового сплаву [5].

У процесі плавлення важливо забезпечити рівномірне перемішування розплаву, що дає змогу досягти однорідності температури та рівномірного розподілу легуючих елементів. Недоцільно допускати тривале відстоювання металу в тиглі, бо це може спричинити насичення металу залізом та зниження якості готових виливок [4].

Після завершення плавлення метал проходить рафінування та підготовку до заливки. Для забезпечення безперервності виробничого процесу на дільниці лиття в кокіль використовують дві роздаточні печі на кожне робоче місце. Одна піч застосовується для заливки форм, тоді як друга — для приймання розплаву з плавильного відділення, його рафінування, витримки та видалення шлаку. Для цих цілей обрано електричні печі опору НО-136, технічні характеристики яких наведені у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика печі НО–136

| Технічний параметр | Показник |
|---|------------|
| Загальна маса печі без фундаменту і тигля | 1365 кг |
| Продуктивність печі (у режимі плавки) | 70 кг/год |
| Напруга жиличої мережі | 380 В |
| Число фаз | 3 |
| Частота струму | 50 Гц |
| Максимальна робоча температура | 850° С |
| Число теплових зон | 1 |
| Час розігріву печі до робочої температури при потужності: | |
| 40 кВт | 3,5–4 год |
| 48 кВт | 2,5–3 год |
| 55 кВт | 1,5–2 год |
| Маса одноразового завантаження (по алюмінію) | 200–220 кг |
| Розміри робочого простору : | |
| діаметр | 500 мм |
| глибина | 604 мм |
| Габаритні розміри печі : | |
| діаметр | 1700 мм |
| довжина | 2300 мм |
| висота | 1770 мм |

1.3. Відділення лиття в кокіль

Відділення лиття в кокіль є одним із ключових підрозділів ливарного цеху, призначеним для виготовлення високоякісних виливок з алюмінієвих сплавів методом лиття у металеві форми. Основною його функцією є забезпечення формування виливок заданої конфігурації та геометричних розмірів із точним дотриманням хімічного складу сплаву. Перед заливкою розплав алюмінієвого сплаву надходить із плавильного відділення у роздаточні печі, де його рафінують, витримують до потрібної температури та видаляють шлак. Для забезпечення безперервності виробничого процесу зазвичай застосовують дві роздаточні печі на одне робоче місце, одна з яких використовується для заливки форм, а інша для приймання та підготовки металу.

Заливка форми здійснюється вручну або за допомогою механізованих і автоматизованих систем. Кокілі виготовляють із металу і зазвичай складають з двох або більше знімних частин, оснащених механізмами фіксації та розкриття форми після затвердіння металу. У процесі формування вилівка у формі можуть застосовуватися стрижні для створення внутрішніх порожнин. Після затвердіння металу стрижні видаляють, а поверхню вилівка очищають від залишків шлаку.

Виливки в кокілі охолоджуються до необхідної температури, що забезпечує правильну структуру сплаву та мінімізує внутрішні напруження. Після цього вилівок виймається з форми. Сучасні відділення лиття в кокіль широко використовують механізовані та роботизовані установки для переміщення кокілів, заливки металу, видалення виливків і очищення форм. Це дозволяє підвищити продуктивність, забезпечити точність дозування металу та покращити умови праці.

Важливим елементом технології є контроль температури розплаву, часу заливки та охолодження, а також дотримання хімічного складу сплаву. Регулярне перемішування металу та контроль складу шихти забезпечують отримання виливок високої якості. Кокілі можуть бути одно- або багатопозиційними, з можливістю заміни окремих частин, що дозволяє виготовляти деталі складної конфігурації з високою точністю розмірів і мінімальною усадкою.

Відділення лиття в кокіль виготовляє деталі для різних галузей машинобудування, зокрема корпуси та кришки гідромашин, втулки, обойми, розпірки для шестеренчастих насосів і гідромоторів, а також інші виливки складної конфігурації. Режим роботи відділення визначається серійністю виробництва, складністю виливок, продуктивністю роздаточних печей і рівнем автоматизації процесу. Зазвичай застосовується двозмінний режим роботи, а при необхідності технічне обслуговування та ремонт обладнання проводять у третю зміну для забезпечення безперервності виробництва. Вогнетривке покриття запобігає термічному угару поверхні форми, що покращує якість вилівка.

Застосовуються покриття наступного складу (табл. 1.7):

Таблиця 1.7 – Склад вогнетривких покриттів для кокілів та плавильного інструмента

| Складова покриття | Номер покриття | | | |
|-------------------|----------------|-------|-------|-------|
| | П1 | П2 | П3 | П4 |
| Окис цинка | 50 г | 250 г | 450 г | – |
| Вода технічна | 1 л | 1 л | 1 л | 1 л |
| Рідке скло | – | 100 г | – | – |
| Gillolin A1223 | – | – | – | 250 г |

Для виготовлення виливків методом лиття в кокіль використовуємо однопозиційні універсальні кокільні машини моделі 82A403 з гідравлічним приводом.

Однопозиційні універсальні кокільні машини призначені для лиття алюмінієвих та інших кольорових сплавів у металеві форми (кокілі) з високою точністю геометричних розмірів та повторюваністю виробів. Вони широко застосовуються на ливарних ділянках середніх і малих серій виробництва, де необхідна гнучкість і можливість швидкої переналагоджуваності під різні типи виливок.

Конструктивно такі машини складаються з рами, столу для установки кокілів, механізмів фіксації та розкриття форми, а також системи подачі розплаву металу. Однопозиційні машини отримали свою назву через те, що в процесі лиття використовується одна робоча позиція форми. Після заливки і охолодження вилівка форма відкривається, готовий виріб витягується, після чого форму встановлюють для наступного циклу лиття.

Універсальність цих машин полягає в можливості роботи з кокілями різних розмірів і конфігурацій, що дозволяє виготовляти широкий спектр деталей без необхідності використання спеціалізованого обладнання для кожного типу виробу. Машини оснащуються механізмами вертикального або горизонтального закривання форми, а також системами переміщення розплаву, що забезпечує рівномірне заповнення форми та мінімізацію дефектів литва.

Однією з переваг однопозиційних універсальних кокільних машин є можливість регулювання режиму заливки, що дозволяє оптимізувати процес залежно від типу сплаву, розміру виливка та складності його конфігурації. Такі машини забезпечують достатньо високу продуктивність для невеликих і середніх серій, при цьому гарантують високу якість поверхні та точність розмірів виливок.

Однопозиційні універсальні кокільні машини застосовуються для виготовлення деталей різної складності, включаючи корпуси та кришки гідромашин, втулки, обойми, розпірки для насосів і гідромоторів, а також інші вироби середньої маси. Завдяки простоті конструкції, надійності та зручності обслуговування ці машини залишаються популярними на багатьох ливарних підприємствах, особливо там, де потрібна оперативна зміна типів виливок або застосування різних сплавів.

Технічна характеристика машини моделі 82А403 представлена в табл. 1.9:

Таблиця 1.9 – Технічна характеристика однопозиційної кокільної машини мод. 82А403

| Параметр, од. вим. | Значення |
|-------------------------------|--------------|
| Продуктивність, відл./год | 25 |
| Зусилля запирання форми, т | 25 |
| Розміри підкокільних плит, мм | 200x800 |
| Хід піддона, мм | 530 |
| Розміри кокіля, мм | 200x1000x800 |
| Габаритні розміри машини, мм: | |
| довжина | 2860 |
| ширина | 1650 |
| висота | 1550 |
| Маса машини, т | 5 |

На рис. 1.4 представлена однопозиційна універсальна кокільна машина моделі 82А403 з гідравлічним приводом. Машина має дві рухомі підкокільні

плити, рухомий піддон, плити для кріплення нижнього, бокових і верхнього стержнів, а також з'ємник виливків з форми. Дана машина призначена для виробництва виливків складної конфігурації з алюмінієвих сплавів широкої номенклатури.

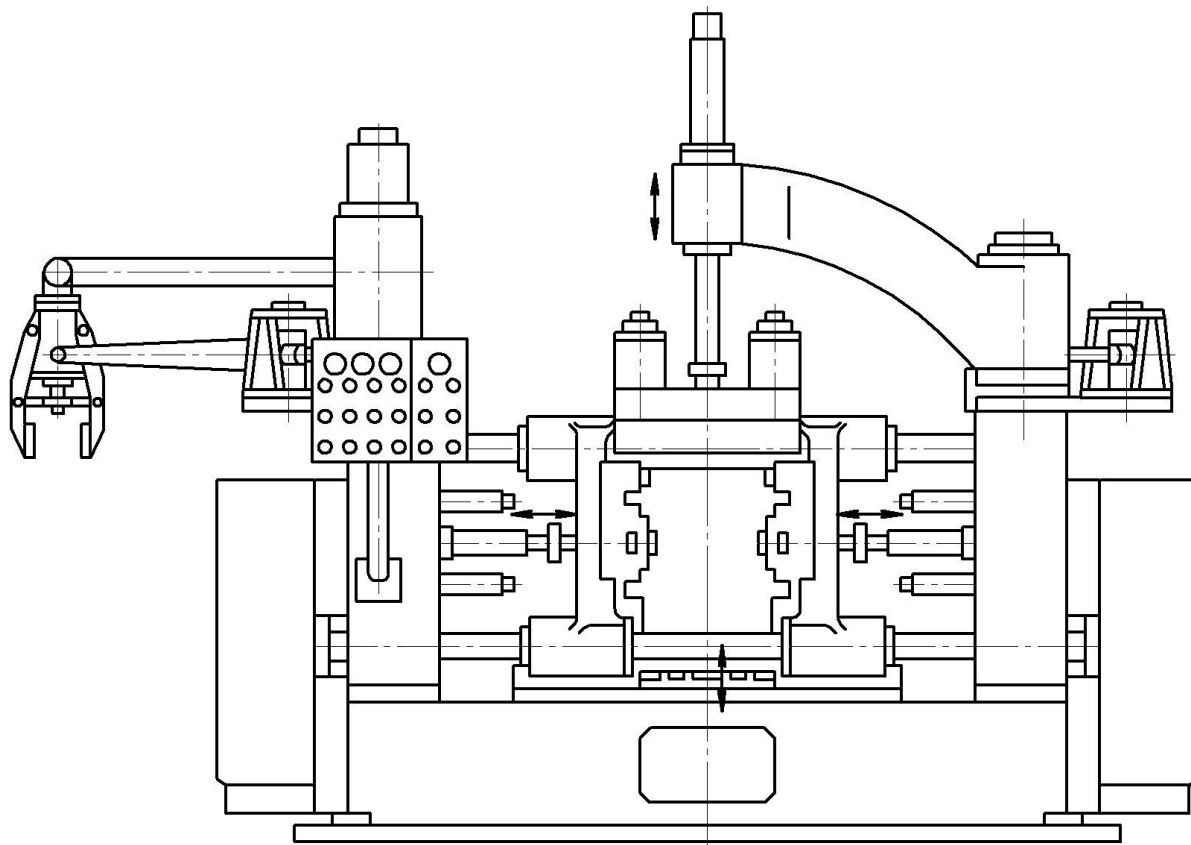


Рисунок 1.4 – Загальний вид однопозиційної універсальної кокільної машини мод. 82А403

1.4. Відділення відрізки та обробки ливників

Для відрізання ливників системи та підживлювачів використовуємо стрічкопильні верстати моделі JET HVBS-812 R, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 1.5, а технічна характеристика вказана у табл. 1.12.

Стрічкові відрізні верстати є спеціалізованим обладнанням ливарних цехів, призначеним для відділення ливників, підживлювачів та зайвих частин литих алюмінієвих виробів. Вони забезпечують чисте і точне відрізання без пошкодження основної деталі, що є важливим для подальшої механічної обробки та забезпечення необхідної якості готових виливків.

Принцип роботи стрічкового відрізного верстата базується на рухомій пиловій стрічці з зубчастим полотном, що переміщується по направляючих роликах. Рух стрічки забезпечує безперервне різання, а зусилля подачі регулюється залежно від товщини та властивостей металу. Завдяки цьому досягається мінімальна деформація вилівка та чистий зріз поверхні, що значно зменшує обсяг подальшої обробки.

Використання таких верстатів дозволяє підвищити продуктивність ділянки обробки литих деталей, оскільки одночасно скорочується ручна праця та знижується ймовірність отримання травм при ручному відсіченні ливників. Багато сучасних стрічкових відрізних верстатів оснащуються механізмами регулювання швидкості руху стрічки та положення столу, що забезпечує універсальність роботи з деталями різного розміру та конфігурації.

Верстати можуть бути стаціонарними або напівавтоматичними, що дозволяє організувати їх інтеграцію в автоматизовані лінії обробки литих виробів. Основними технічними параметрами є довжина та ширина стрічки, швидкість різання, потужність електродвигуна та маса оброблюваного виробу.

Стрічкові відрізні верстати широко застосовуються для обробки виливок з алюмінієвих сплавів, таких як корпуси гідромашин, кришки, втулки та інші вироби середньої та великої маси. Використання цього обладнання забезпечує високу точність обробки, зниження відходів металу та підвищує загальну ефективність ливарного виробництва.



Рис. 1.5. Стрічкопилний верстат JET HVBS-812 R

Таблиця 1.10 – Технічна характеристика
стрічкопильного верстата JET HVBS-812 R

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| Зона обробки при 90° | Діаметр 200 мм |
| | 180x305 мм |
| Зона обробки при 45° | Діаметр 127 мм |
| | 120x125 мм |
| Розміри полотна пили | 19x0,9x2362 мм |
| Регулювання лещат | 0 - 45° |
| Діаметр шківів пили | 290 мм |
| Швидкості пластин | 25, 40, 60, 80 мм/хв |
| Потужність мотору | 600 Вт/с |
| Ємність для охолоджувальної рідини | 8 літрів |
| Продуктивність | 0,2 т/год |
| Габаритні розміри верстата | 1780x790x1120 мм |
| Маса | 120 кг |

1.5. Відділення фінішної очистки виливків

Для фінішної очистки виливків від залишків ливникової системи, заусенців і облою використовуємо обдирно-шліфувальні верстати (рис. 1.6, табл. 1.12).

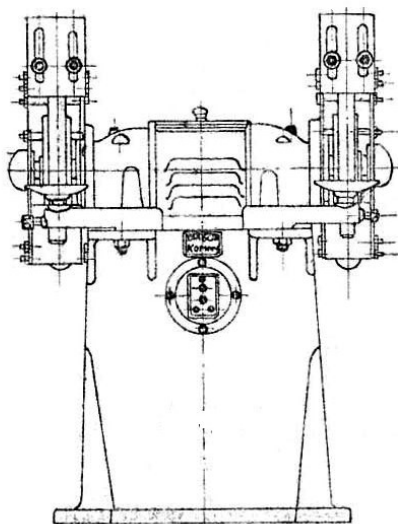


Рис. 1.6. Обдирно-шліфувальний верстат 3М634

Обдирно-шліфувальний верстат 3М634 є спеціалізованим обладнанням ливарних цехів, призначеним для механічної обробки алюмінієвих та інших кольорових виливок після лиття. Основне призначення верстата полягає у видаленні облоя, залишків ливниково-живильної системи, надлишків металу, шлаку та інших дефектів, що залишаються на поверхні вилівка після заливки та охолодження.

Принцип роботи верстата базується на обертанні шліфувального або абразивного круга, який взаємодіє з поверхнею вилівка. В процесі обробки верстат дозволяє досягти рівномірного видалення зайвого металу без пошкодження основної форми деталі. Для підвищення ефективності та точності зачистки верстат оснащений механізмами регулювання швидкості обертання круга, подачі вилівка та його положення відносно шліфувальної поверхні.

Таблиця 1.12 – Технічна характеристика обдирно-шліфувального верстату

| Характеристика | Величина | Одиниці |
|---------------------------------|--------------|---------|
| Кількість шліфувальних кругів | 2 | шт |
| Діаметр круга | 400 | мм |
| Максимальна ширина круга | 40 | мм |
| Посадковий діаметр круга | 203 | мм |
| Висота центру круга від підлоги | 850 | мм |
| Відстань між кругами | 700 | мм |
| Частота обертання шпинделя | 1398 | об/хв |
| Маса виливків | 20 | кг |
| Живлячий струм | 380 | В |
| Потужність двигуна | 2,8 | кВт |
| Годинна продуктивність | 0,3...0,5 | т/год |
| Габарити верстата | 900x600x1200 | мм |
| Маса | 450 | кг |

Обдирно-шліфувальний верстат 3М634 широко застосовується для підготовки виливок до подальшої обробки, забезпечуючи чисту поверхню для контролю якості та механічної обробки. Він дозволяє обробляти виливки різних розмірів і конфігурацій, що робить його універсальним інструментом для ділянок фінішної обробки. Використання цього обладнання підвищує продуктивність праці, зменшує витрати ручної праці та забезпечує стабільну якість поверхні.

Верстат 3М634 відзначається надійністю конструкції, відносно простою експлуатацією та можливістю обробки великої кількості деталей за зміну. Його застосування дозволяє значно скоротити час на підготовку виливків до монтажу або подальшої механічної обробки, а також мінімізує ймовірність пошкодження готових деталей.

1.6. Допоміжні відділення

1.6.1. Дільниця ремонту і футеровки ковшів. Дільниця ремонту і футеровки ковшів є важливою частиною ливарного цеху і розташовується безпосередньо біля плавильного відділення, що забезпечує оперативне обслуговування ковшів для безперервної роботи виробництва. На цій дільниці зберігаються різноманітні матеріали для ремонту та футеровки роздавальних барабанних ковшів, зокрема шамотна цегла прямокутної та фасонної форми, шамот мелений, пісок, зв'язуючі матеріали, а також вогнетривкі обмазки і покриття. Для виконання робіт дільниця оснащена газовим пальником, який використовується для сушіння та прокалки ковшів після їх ремонту та нанесення футеровки.

Після завершення робіт ковші спочатку висуюються на атмосферному повітрі цеху протягом приблизно 24 годин, що дозволяє видалити надлишкову вологу з матеріалів футеровки. Потім ковші поступово прогрівають газовим пальником протягом 4–6 годин, забезпечуючи повне видалення залишкової вологи та запобігаючи утворенню тріщин під час експлуатації. Завершальний етап роботи дільниці полягає в прокалці ковшів до температури близько 800 °С

протягом 1–2 годин. Цей комплексний процес є критично важливим для забезпечення довговічності, надійності та безпечної експлуатації ковшів у ливарному виробництві, оскільки від якості футеровки та правильного термічного оброблення залежить ефективність і безпека плавильного процесу.

1.6.2 Склад модельного оснащення. Склад модельного оснащення є важливою частиною процесу лиття в кокіль і розташовується безпосередньо біля відділення лиття, що забезпечує зручний та оперативний доступ до кокілів. Кокілі зберігаються на стелажах у зібраному вигляді, що дозволяє легко їх ідентифікувати та швидко використовувати за призначенням. Кожен кокіль розміщується навпроти робочого місця, де він буде встановлюватися, що оптимізує робочий процес і скорочує час підготовки до заливки.

Безпосередньо біля складу розташована модельно-ремонтна майстерня, де проводяться ремонти кокілів, що є критично важливим для підтримки їхньої ефективності та довговічності. У майстерні використовуються різноманітні металообробні верстати та інструменти, включаючи шліфувальний, токарний, фрезерний та свердлильний верстати, а також ручний металообробний та слюсарний інструмент. Застосування цих засобів дозволяє виконувати широкий спектр робіт, включаючи обробку, ремонт, налагодження та підгонку кокілів, що забезпечує їхню високу якість, точність і надійність у процесі лиття.

1.6.3. Лабораторії, службові та побутові приміщення. Лабораторія спектрального аналізу та відділ технічного контролю є важливими складовими ливарного цеху, що забезпечують контроль якості матеріалів і готової продукції. Лабораторія спектрального аналізу розташована безпосередньо біля плавильного відділення і призначена для проведення аналізу матеріалів, що підлягають плавленню. Це дозволяє контролювати хімічний склад сплавів і своєчасно коригувати технологічний процес для забезпечення високої якості металу.

Відділ технічного контролю знаходиться біля складу готової продукції та оснащений обладнанням для дослідження механічних властивостей матеріалів, вимірювальними приладами та засобами контролю параметрів технологічних

процесів, такими як термопари, секундоміри та аналітичні ваги. Основним завданням відділу є контроль якості готової продукції та перевірка дотримання технологічних режимів у процесі виробництва.

Адміністративні приміщення, розташовані в одній будівлі з ливарним цехом, включають кабінети начальника цеху, головного металурга, технолога, енергетика, кімнату майстрів та технологічне бюро, що забезпечує оперативне управління виробничими процесами. Побутові приміщення рівномірно розподілені по периметру цеху, створюючи комфортні умови для працівників. Така організація простору дозволяє підвищити ефективність роботи ливарного цеху, підтримувати високий рівень контролю якості продукції та забезпечувати зручні умови праці для персоналу..

1.7. Висновки по розділу

1. У роботі обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху з урахуванням обсягів виробництва, типу виливків, ресурсів та екологічних вимог. Описано організацію роботи основних і допоміжних підрозділів, зокрема плавильного відділення, відділень лиття в кокіль, дільниці відрізки ливників, фінішних операцій, ремонту і футеровки ковшів, складу модельного оснащення, відділу технічного контролю.
2. Для плавки алюмінієвих сплавів застосовують індукційні тигельні печі ІАТ-2,5/1,15 ємністю 850 кг, які забезпечують мінімальні втрати металу, однорідність розплаву та автоматизований контроль процесу. Розливання металу у форми здійснюється за допомогою роздавальних печей НО-136 ємністю 220 кг.
3. Для лиття використовують однопозиційну універсальну кокільну машину 82А403. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики машини, а також підготовку кокілів і технологію лиття.
4. Відрізання ливників та підживлювачів виконують на стрічковому верстаті JET HVBS-812RKT, а обдирку та зачистку виливків — на обдирно-шліфувальних верстатах 3М634, що забезпечує підготовку деталей до механічної обробки та контролю якості.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ

ВИЛИВКА «КОРПУС»

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на виливок

Деталь корпусу НШ32УК-3-00-02 виготовляється методом лиття в кокіль з алюмінієвого сплаву марки АК5М2Ц4. Хімічний склад та механічні властивості сплаву наведені в таблицях 1.1 і 1.2 розділу 1. Габаритні розміри деталі становлять 116×101,5×149 мм (див. креслення МР-131.25.82.02.01.00).

Згідно з конструкцією насоса, корпус призначений для розміщення валів із зубчастих шестерень, які забезпечують переміщення масла по гідросистемі. Корпус має два отвори діаметром 51 мм, а з боку розрізу розташовані два платика розміром 50 мм, що формуються за допомогою плоских вставок і металевих стержнів. Внутрішня поверхня виливка має складну конфігурацію. Максимальна товщина стінки складає 24 мм, мінімальна — 12 мм. Два отвори діаметром 19,5 мм формуються за допомогою металевих стержнів.

Технічні вимоги допускають на необроблених поверхнях одиничні раковини, шлакові включення та інші дефекти у кількості не більше п'яти штук на деталь, діаметром до 2 мм та глибиною до 1,5 мм. Базові поверхні А і Б повинні бути чистими, без ужимин та одутостей. Загальна пористість не повинна перевищувати еталон №2 за шкалою пористості ДСТУ 3015-95, а зональна пористість — бал 3 за шкалою ДСТУ 2839-94.

З метою вирівнювання товщини стінки, що дозволяє зменшити термічні вузли та концентрацію ливарних напруг, технологія передбачає отримання виливка методом лиття в кокіль. Лиття алюмінієвих сплавів у кокіль забезпечує високу точність і повторюваність розмірів виливків, а також гладку поверхню, що зменшує обсяг подальшої механічної обробки. Завдяки швидкому та рівномірному охолодженню виливки мають високу щільність і низьку пористість, що підвищує їх міцність і довговічність. Метод дозволяє отримувати деталі складної форми з внутрішніми порожнинами та виступами, економно використовує матеріал і є ефективним для серійного виробництва. Зовнішня

поверхня виливка формується внутрішньою поверхнею кокілю, а внутрішня — блоком стержнів і вставок.

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

Розробка технологічного процесу виготовлення виливка включає визначення положення деталі в формі, розташування підживлювача та місця підводу металу. Положення виливка в кокілі обирають так, щоб забезпечити точні розміри, уникнути браку через газові та усадочні раковини і забезпечити рівномірне охолодження. Для забезпечення спрямованого затвердіння, раціонального розміщення підживлювача та спрощення конструкції лінії роз'єму виливок встановлюється торцем, поздовжня вісь паралельна вертикальній лінії роз'єму, підживлювач розташовується в нижній частині циліндричної поверхні, а стержні та вставки монтуються відповідно до конфігурації деталі.

Таке розташування забезпечує легке видалення виливка з кокілю, зменшує кількість стержнів, спрощує виготовлення внутрішньої поверхні, дозволяє застосовувати ливарні ухили 3° на внутрішніх і зовнішніх поверхнях, підвищує стійкість кокілю та точність розмірів, а також спрощує механічну обробку деталей зі складною внутрішньою поверхнею та різною товщиною стінок.

2.2.1. Вибір припусків на механічну обробку. Величина припуску залежить від сплаву, розмірів виливка, його конфігурації та положення в кокілі. Для виливка з алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 припуски прийнято: зовнішні та нижні бокові поверхні — 2 мм, внутрішні бокові поверхні — 2 мм, верхні поверхні — 3 мм. Допуски на розміри стержнів залежать від їх довжини: до 40 мм $\pm 0,5$ мм; 41–100 мм $\pm 0,5$ мм; 101–250 мм $\pm 0,7$ мм. Ухили стержнів для вільного видалення становлять 3° .

2.2.2. Припуски на усадку. Припуск на усадку враховує збільшення лінійних розмірів кокілю на величину усадки металу. Для алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 усадку приймають 1,8–1,9 %.

2.3. Розрахунок і конструювання підживлювача

Підживлювач забезпечує живлення виливка рідким металом і компенсує усадку при затвердінні. Найбільш оптимальна форма горизонтального перерізу підживлювача — коло. Розрахунок підживлювача враховує, що час його твердіння повинен перевищувати час твердіння підживлюваного вузла, об'єм підживлювача має бути достатнім для компенсації усадки, а усадочна раковина не повинна виходити за межі підживлювача і досягати його шийки.

Об'єм усадочної раковини визначають за формулою:

$$V_P = \beta \cdot (V_{\text{вiдл}} + V_n), \quad (2.1)$$

де $V_{\text{вiдл}}$ - об'єм виливка, см^3 ;

V_n - об'єм підживлювача, см^3 .

$$V_{\text{вiдл}} = \pi \cdot r^2 \cdot h, \quad (2.2)$$

де r – радіус виливка, $r = 14,9$ см;

h – висота виливка, $h = 11,5$ см.

$$V_{\text{вiдл}} = 3,14 \cdot 14,9^2 \cdot 11,5 = 8016,8 \text{ см}^3.$$

Визначаємо об'єм підживлювача:

$$V_n = \frac{\beta}{k} \cdot V_{\text{вiдл}}, \quad (2.3)$$

де $\beta = 0,035 \dots 0,08$ - коефіцієнт;

$k = 0,25$

$$V_n = \frac{0,065}{0,25} \cdot 8016,8 = 2084,4 \text{ см}^3$$

$$V_p = 0,065 \cdot (8016,8 + 2084,4) = 656,5 \text{ см}^3$$

Приймаємо підживлювач прямокутної форми за специфіки конструкції виливка.

Приймаємо $a=10,0$ см, $b=7,5$ см [3], тоді висота підживлювача:

$$h = \frac{V_p}{a \cdot b}, \quad (2.4)$$

де a - довжина підживлювача, см;

b - ширина підживлювача, см.

$$h = \frac{656,5}{10 \cdot 7,5} = 8 \text{ см.}$$

Приймаємо висоту підживлювача 80 мм.

2.4. Розрахунок і конструювання ливникової системи

Приймаємо підведення металу знизу сифоном, оскільки нижня ливникова система рекомендована для виливків подібної форми і забезпечує спокійне заповнення форми, запобігаючи спінюванню, розбризкуванню та окисленню розплаву. Така система ефективно затримує неметалеві включення, які можуть потрапити у форму, сприяє послідовному витискуванню повітря та газів з порожнини форми і забезпечує задовільну заповнюваність виливка.

Нижня ливникова система легко відділяється при обрубці, а витрата металу на її виготовлення менша порівняно з вертикальною щільвою системою. Залежно від розмірів виливка та умов лиття, вона повністю або частково виконує три

основні функції: забезпечує заповнюваність форми, ламінарність потоку металу та шлакозатримку. Ця система найбільшою мірою відповідає вимогам до ливникових систем і широко застосовується при литті виливків із легких сплавів.

Визначаємо вихідні данні:

Виходячи з маси вилівка 2,780 кг та висоти 10,15 см орієнтовно задаємо співвідношення:

$$F_c : F_k : F_{ж} \quad (2.5)$$

де F_c - площа перерізу стояка, см²;

F_k - площа поперечного перерізу колектора, см²;

$F_{ж}$ - площа поперечного перерізу живильника, см².

Визначаємо висоту стояка:

$$h_c = h_{відл} + h_{нід}, \quad (2.6)$$

де $h_{відл}$ - висота вилівка, см;

$h_{нід}$ - висота підживлювача, см.

$$h_c = 10,15 + 8 = 18,15 \text{ см.}$$

Виходячи із залежності між висотами стояка і чаші, приведений на стор.113 [3] для $h=200$ мм приймаємо висоту чаші $H_q = 60$ мм.

Розраховуємо початковий гідростатичний напір по формулі:

$$H_o = h_q + h_c, \quad (2.7)$$

де h_q - рівень розплаву в чаші, мм; приймаємо $h_q = 55$ мм;

h_c - висота стояка, мм.

$$H_o = 245 + 55 = 300 \text{ мм.}$$

По кресленню вилівка знаходимо площу перерізу А-А на рівні підводу розплаву.

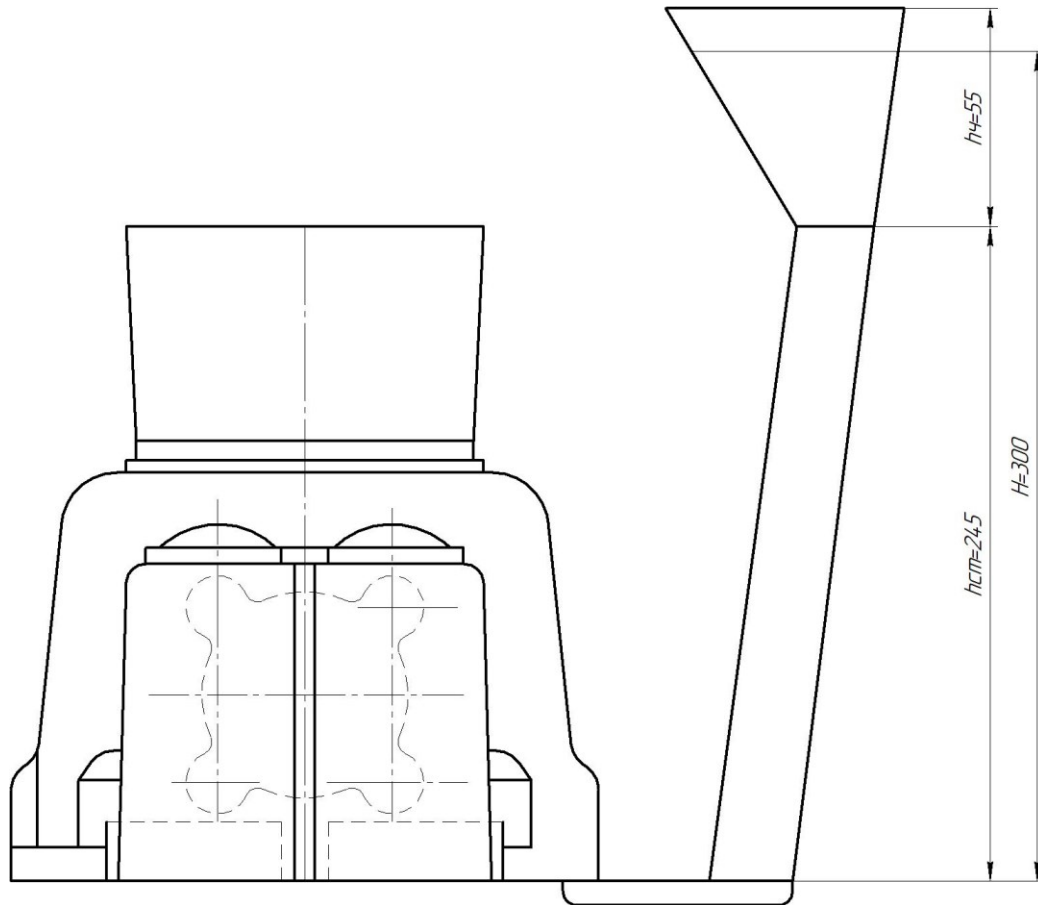


Рис. 2.1. Схема до розрахунку ливникової системи.

$$F_{\phi} = \pi \cdot r^2 - 2 \cdot \pi \cdot r_1^2, \quad (2.8)$$

де r - радіус вилівки, см;

r_1 - радіус отвору, см.

$$F_{\phi} = 3,14 \cdot 7,6^2 - 2 \cdot 3,14 \cdot 5^2 = 24,36 \text{ см.}$$

Знаходимо середній розрахунковий напір по формулі:

$$H_p = H_0 - \frac{h_{\text{відл}}}{2}, \quad (2.9)$$

де H_0 - розрахунковий гідростатичний напір, см;

$h_{\text{відл}}$ - висота виливка, см.

$$H_p = 30,0 - \frac{10,15}{2} = 24,95 \text{ см.}$$

Визначення розрахункової швидкості руху розплаву по стояку.

По номограмі рис.69 [3] для бокової ливникової системи (тип Л-2А):

$d_{\text{ст}} = 0,016$ м - діаметр стояка в нижньому перерізі;

$H_0 = 0,384$ м - початковий гідростатичний напір;

$L_k = 0,140$ м - довжина колектора;

$n=1$ - кількість живильників.

Для $F_c: F_k: F_{\text{жс.}} = 1 : 2 : 3$, швидкість руху розплаву $V_c = 1,3$ м/с.

Максимально допустима швидкість руху розплаву визначається по таблиці 24 [3] $V_{\text{стmax}} = 1,86$ м/с.

Виливок по конфігурації відноситься до категорії простих, тому витрату розплаву визначаємо за формулою:

$$Q_\phi = R \cdot P_\phi, \quad (2.10)$$

де $R = 2 \dots 6$ - коефіцієнт заповнюваності. Приймаємо $R = 2$;

P_ϕ - периметр перерізу форми в місці підводу розплаву:

$$P_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r + 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1, \quad (2.11)$$

$$P_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 7,6 + 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5,0 = 110,52 \text{ см,}$$

$$Q_\phi = 2 \cdot 110,52 = 221,056 \text{ см}^3/\text{с.}$$

Визначаємо середню швидкість підйому розплаву у формі, за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{F_{\phi}}, \quad (2.12)$$

де Q_{ϕ} - витрата розплаву, $\text{см}^3/\text{с}$;

F_{ϕ} - площа перерізу виливка, см^2 .

$$V_{\phi} = \frac{221,056}{24,36} = 9,07 \text{ см/с}$$

По табл. 7 [3] для виливка товщиною $\sigma_{\text{vid}} = 21 \text{ мм}$ і висотою $h_{\text{vid}} = 101,5 \text{ мм}$ знаходимо мінімальну швидкість підйому розплаву $V_{\phi \text{ min}} = 0,45 \text{ см/с}$.

Оскільки $V_{\phi} > V_{\phi \text{ min}}$, то заповнюваність форми буде забезпечено.

Визначаємо площу перерізу стояка за формулою:

$$F_c = \frac{Q_{\phi}}{V_c}, \quad (2.13)$$

де Q_{ϕ} - витрата розплаву, $\text{см}^3/\text{с}$;

V_c - розрахункова швидкість руху розплаву в стояку, см/с .

$$F_c = \frac{221,056}{130} = 1,9 \text{ см}^2.$$

Визначаємо діаметр стояка:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F_c}{\pi}}, \quad (2.14)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,9}{3,14}} = 1,56 \text{ см},$$

Приймаємо $D_c = 16 \text{ мм}$.

При вільному падінні розплаву у стояку швидкість потоку збільшується, тому поперечний переріз вертикального каналу повинен зменшуватися зверху вниз, надаючи стояку конусність. Це дозволяє уникнути підсмоктування повітря через лінію роз'єму форми, що є основною причиною утворення газових пор і дефектів у виливку. Верхній переріз стояка є найбільш критичним, оскільки саме там швидкість потоку максимальна і ймовірність підсмоктування повітря найбільша. Конусна форма стояка забезпечує ламінарний рух металу, сприяє рівномірному заповненню форми та зменшує ризик виникнення усадочних і газових дефектів.

Для каналу круглого перерізу:

$$d_{cv} \geq d_{ch} \sqrt[4]{\frac{\mu_c^2 \cdot H}{\mu_r^2 \cdot h_r}}, \quad (2.15)$$

де d_{cv} , d_{ch} - відповідно, діаметри верхнього і нижнього перерізу стояка, мм;

$\mu_c = 0,25 - 0,95$ - коефіцієнт витрати системи в нижньому перерізі стояка;

H - гідростатичний напір, см;

$\mu_r = 0,98$ - коефіцієнт витрати системи в ливниковій чаші.

$$H = h_c + h_r, \quad (2.16)$$

де h_c - висота стояка, см;

h_r - висота рівня металу в чаші, см.

$$H = 18,3 + 5,2 = 23,5 \text{ см};$$

$$d_{cv} \geq 14 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,6^2 \cdot 23,5}{0,98^2 \cdot 5,2}} = 15,9 \text{ мм}.$$

Виходячи з раніше прийнятого співвідношення $F_c: F_k: F_{ж}$, по табл 25 [71] для $F_c = 1,9 \text{ см}^2$ (ближнє значення $F_c = 2,0$) знаходимо сумарну площу перерізу колектора рівну $F_k = 3,08$ і його розміри, довжину $a = 18,5$ мм; ширину $b = 17,5$ мм; висоту $h = 18,5$ мм.

Визначаємо фактичну швидкість потоку в колекторі за формулою:

$$V_k = V_c \cdot \frac{F_c}{F_k}, \quad (2.17)$$

де V_c - розрахункова швидкість руху розплаву в стояку, см/с;

F_c - площа перерізу виливка, см²;

F_k - площа перерізу колектора, см².

$$V_k = 130 \cdot \frac{1,7}{4} = 55,25 \text{ см/с.}$$

Максимально допустима швидкість визначається за формулою:

$$V_{k \text{ max}} = \frac{42}{R_k}, \quad (2.18)$$

де R_k - площа поперечного перерізу колектора, см².

$$V_{k \text{ max}} = \frac{42}{0,4} = 105 \text{ см/с.}$$

Оскільки $V_k < V_{k \text{ max}}$, то умова спокійного протікання розплаву в колекторі буде забезпечена.

Враховуючи, що $F_{жс} = 3F_c$, приймаємо $F_{жс} = 3 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ см}^2$.

Товщину живильника приймаємо рівною $\delta_{ж} = 7$ мм

Знаходимо висоту живильника:

$$c = \frac{F_{жс}}{\delta_{жс}}, \quad (2.19)$$

де $F_{жс}$ - площа перерізу живильника, см²;

$\delta_{жс}$ - товщина живильника, см.

$$c = \frac{6}{0,7} = 8,6 \text{ см.}$$

2.5. Технологічний процес виготовлення виливка

Виготовлення виливка в кокіль включає операції: збирання та підготовка кокілю, заливка металу, охолодження, видалення виливка, очищення та контроль якості. Виливок корпусу НШ32УК-3-00-02 виготовляється в одно позиційній гідравлічній машині моделі 82А505, де кокіль встановлюється на штоки бокових гідроциліндрів і направляючі, а також оснащується стержнями. Перед заливкою кокіль розігрівають до 250–300 °С, після чого наносять протипригарне покриття GILLOLIN AL223 у вигляді двошарового шару товщиною 0,2 мм.

Розплав алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 з температурою 720 °С заливається ковшем ємністю 10 кг. Після охолодження та затвердіння видаляються стержні, відкривається кокіль, і виливки транспортуються на очисну дільницю. На дільниці відділяють підживлювачі (залишок до 3 мм), проводять очистку та контроль параметрів: твердість 100–125 НВ, візуальний огляд дефектів і замір базових розмірів. Корпус перевіряють на герметичність на спеціальних гідравлічних стендах.

2.6. Процес проектування ливарного оснащення

Кокіль виготовляється литтям із сірого чавуну марки СЧ20 з легуючими елементами Cu – 1 %, V – 0,5 %, Ti – 0,1 %, Sn – 0,2 %, Al – 3 %. Після виготовлення проводиться механічна обробка формоутворюючих поверхонь.

Підживлююча частина виготовляється окремо і кріпиться болтами. Кокіль оснащений ребрами жорсткості для зменшення маси та металоемкості. Стержні виготовляються із сталі 45 ГОСТ 1050-74 і піддаються поліруванню та азотуванню товщиною 0,05 мм (HRC 30–35).

2.7. Аналіз ливникової системи

Основними дефектами при литті корпусу є газові раковини, газова пористість у підживлювачі та неметалеві включення. Виникнення дефектів залежить від режимів заповнення форми, конструкції ливникової системи, якості шихтових матеріалів і протипригарного покриття. Неправильно спроектована система призводить до турбулентного руху розплаву, каскадного скидання та підсмоктування повітря, що формує газову пористість та включення.

Для забезпечення якісного лиття використовується нижня ливникова система, яка гарантує плавне заповнення форми, ламінарність потоку, шлакозатримку та достатнє живлення підживлювачем. Розміри елементів системи визначені таким чином, щоб швидкість заповнення форми не перевищувала критичних значень ($V_{\phi} \geq V_{\phi \min}$), що забезпечує мінімізацію газових та усадочних дефектів:

$$V_{\phi} > V_{\phi \min}, \quad (2.20)$$

де V_{ϕ} - середня швидкість підйому розплаву у формі, м/с;

$V_{\phi \min}$ - мінімально допустима швидкість підйому розплаву у формі, м/с. Тобто $9,07 \text{ м/с} > 0,52 \text{ м/с}$. Ламінарність потоку забезпечується розмірами ливникової системи і її конструкцією.

2.8. Висновки по розділу

1. Проведено аналіз конструкції деталі та технічних вимог до виливка.
2. Розроблено модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок.
3. Сконструйовано та перевірено ефективність ливниково-живильної системи.
4. Описано процес проектування ливарного оснащення та технологічний процес виготовлення виливка.
5. Розроблено технологічні креслення: деталі з модельно-ливарними вказівками, правої та лівої напівформ, центрального стержня і форми в зборі.

3. ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ВИЛИВКА НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ЙОГО НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

3.1. Методи підвищення міцності вилівка та постановка задач дослідження

Алюмінієві сплави завдяки поєднанню малої густини, достатньої міцності та корозійної стійкості широко застосовуються в ливарному виробництві. У зв'язку з цим актуальними є дослідження, спрямовані на зниження собівартості литва при забезпеченні заданих показників якості.

Типовий технологічний процес лиття алюмінієвих сплавів у кокіл включає підготовку шихтових матеріалів, підготовку обладнання та оснащення, плавку, рафінування, заливку, обрубку, відрізання підживлювачів, зачистку та транспортування виливків. Удосконалення технології можливе за рахунок оптимізації параметрів, що впливають на енерговитрати, матеріалоємність, продуктивність та якість готових виробів.

На етапі проектування деталі шляхом аналізу її конструкції та формування технічних вимог до вилівка доцільно передбачати раціональну систему ребер жорсткості, яка забезпечує максимальну міцність при мінімальній витраті металу. Застосування комп'ютерного моделювання процесів заливки та кристалізації дозволяє розробити оптимальну ливниково-живильну систему з мінімальною металоємністю та зменшити ймовірність виникнення усадкових дефектів [21]. Використання теплоізоляційних і екзотермічних вставок у підживлювачах, а також керамічних перемичок сприяє зменшенню їхніх розмірів і спрощенню подальшої обробки вилівка.

Вивчення впливу хімічного складу сплаву та режимів термічної обробки на його механічні властивості дає змогу підібрати раціональні параметри, що забезпечують необхідну міцність при мінімальних енергетичних і матеріальних витратах. Дослідження термодинаміки фізико-хімічних процесів під час плавки

та рафінування дозволяє керувати перебігом реакцій, інтенсифікуючи корисні та пригнічуючи шкідливі процеси [22].

Оптимізація організації виробництва на основі хронометражу роботи обладнання і персоналу забезпечує синхронізацію плавильного та заливного відділень, зменшення простоїв і підвищення продуктивності. Для безперервного забезпечення дільниці лиття рідким металом доцільно використовувати дві плавильні печі, що працюють паралельно. При цьому необхідно уникати тривалої витримки розплаву в печі, оскільки це призводить до вигорання легуючих елементів та насичення металу газами і шкідливими домішками.

Таким чином, підвищення міцності та зниження собівартості виливків з алюмінієвих сплавів можливе лише за умови комплексного підходу, що охоплює конструктивні, технологічні та організаційні чинники.

Складність сучасних конструкцій і умови їх експлуатації значно ускладнюють проведення натурних експериментів, особливо при визначенні граничних навантажень. У зв'язку з цим ефективно проектування неможливе без використання систем автоматизованого проектування та комп'ютерного моделювання.

Метою даної наукової роботи є дослідження міцності виливка «Корпус НШ32УК» на основі твердотільного моделювання та розробка рекомендацій щодо підвищення його міцності й зменшення металоємності. Побудова 3D-моделі здійснюється в CAD-модулі системи SolidWorks, а розрахунки на міцність — у модулі SolidWorks Simulation, який базується на методі кінцевих елементів і дозволяє виконувати інженерні розрахунки з мінімальними витратами часу та ресурсів.

3.2. Можливості модуля дослідження міцності SolidWorks Simulation

У сучасному машинобудуванні простежується стійка тенденція інтеграції засобів геометричного моделювання та інженерних розрахунків у єдині програмні комплекси. Більшість сучасних розрахункових програм функціонують

як модулі або додатки до CAD-систем, зокрема AutoCAD, T-FLEX, КОМПАС та SolidWorks.

Система параметричного проектування SolidWorks побудована за модульним принципом і забезпечує створення 3D-моделей деталей і складальних одиниць, оформлення конструкторської документації, а також проведення інженерного аналізу та моделювання процесів міцності, стійкості й деформації. Базовий модуль системи містить інструменти для твердотільного та поверхневого моделювання, створення креслень і обміну даними з іншими CAD-системами.

SolidWorks є системою твердотільного параметричного моделювання з розвиненими засобами створення конфігурацій, що дозволяє досліджувати різні варіанти конструктивних рішень. Ця особливість повністю підтримується модулем SolidWorks Simulation, який дає змогу виконувати серію розрахунків для різних конфігурацій та здійснювати параметричну оптимізацію конструкцій.

SolidWorks Simulation є інтегрованим модулем для розв'язання задач механіки деформівного твердого тіла методом кінцевих елементів. Програма призначена для виконання статичних і нелінійних розрахунків на міцність і стійкість, аналізу власних частот, втомної міцності, термопружних задач, а також оптимізації форми деталей і складань.

Формування розрахункової моделі здійснюється безпосередньо на основі геометрії SolidWorks, що значно спрощує задання граничних умов і інтерпретацію результатів. У програмі використовуються об'ємні тетраедричні, оболонкові та балкові кінцеві елементи, можливе застосування h- та p-адаптивних методів побудови сітки. Передбачена робота з ортотропними матеріалами, а також аналіз складальних одиниць з урахуванням контактної взаємодії.

SolidWorks Simulation підтримує широкий спектр видів аналізу, включаючи статичний, модальний, тепловий, термопружний, втрату стійкості, оптимізацію та втомні розрахунки. Усі ці види аналізу можуть виконуватися для

однієї й тієї ж геометричної моделі, що забезпечує комплексний підхід до оцінки міцності та працездатності конструкції.

Алгоритм роботи з модулем відповідає класичній послідовності методу кінцевих елементів і включає створення аналізу, задання матеріалів і граничних умов, побудову сітки, виконання розрахунків та обробку отриманих результатів. Процедури оптимізації базуються на результатах лінійних розрахунків і дозволяють ефективно підвищувати міцність конструкції при одночасному зменшенні її маси.

3.3. Розрахунки на міцність 3D-моделі вилівка «Корпус НШ32УК» в середовищі Solidworks Simulation

3.3.1. Побудова 3D-моделі вилівка «Корпус НШ32УК». Вихідними даними для побудови твердотільної 3D-моделі вилівка «Корпус НШ32УК» є його робоче креслення, розроблене в технологічній частині магістерської роботи [МР-131.25.82.02.01.00]. Побудову початкового ескізу виконано на верхній стандартній площині з розміщенням вилівка в центрі системи координат, що забезпечує коректне задання граничних умов і подальший інженерний аналіз.

Ескізи елементів створювалися із застосуванням стандартних засобів параметричного моделювання САД-системи SolidWorks. Геометрія ескізів визначалася розмірами та взаємозв'язками між елементами відповідно до вимог креслення вилівка. Ескізи будувалися на стандартних, допоміжних або на площинах, сформованих попередньо створеними поверхнями моделі, що дозволило забезпечити логічну та послідовну структуру побудови.

Формування твердотільної моделі здійснювалося на основі підготовлених ескізів з використанням базових і спеціалізованих інструментів вкладки «Елементи». При цьому застосовувалися операції витягування, обертання, побудови по траєкторії та перерізах, створення вирізів, отворів, ребер жорсткості, уклонів і оболонок, а також операції дзеркального відображення й

масивів. Геометричні параметри елементів і їх взаємне розташування задавалися відповідно до розмірів і конструктивних вимог креслення.

На рис. 3.2 наведено приклад побудови основи виливка шляхом витягування ескізу за допомогою операції «Бобишка/основа витягнути» на відстань 8,5 мм у заданому напрямку. Застосування параметричного підходу до моделювання забезпечує можливість подальшої модифікації геометрії виливка та використання створеної 3D-моделі для розрахунків на міцність у модулі SolidWorks Simulation.

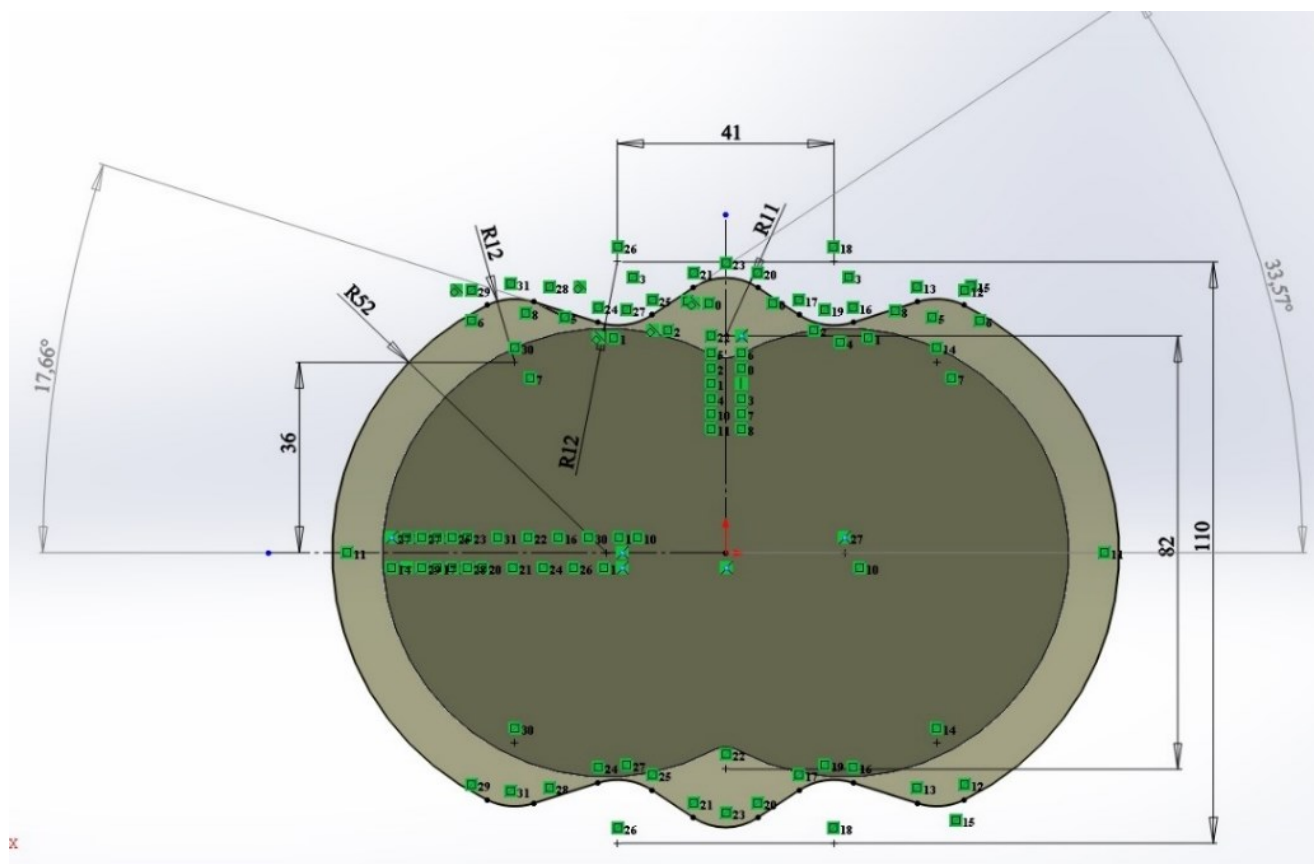


Рисунок 3.1 – Побудова ескізу нижньої частини виливка

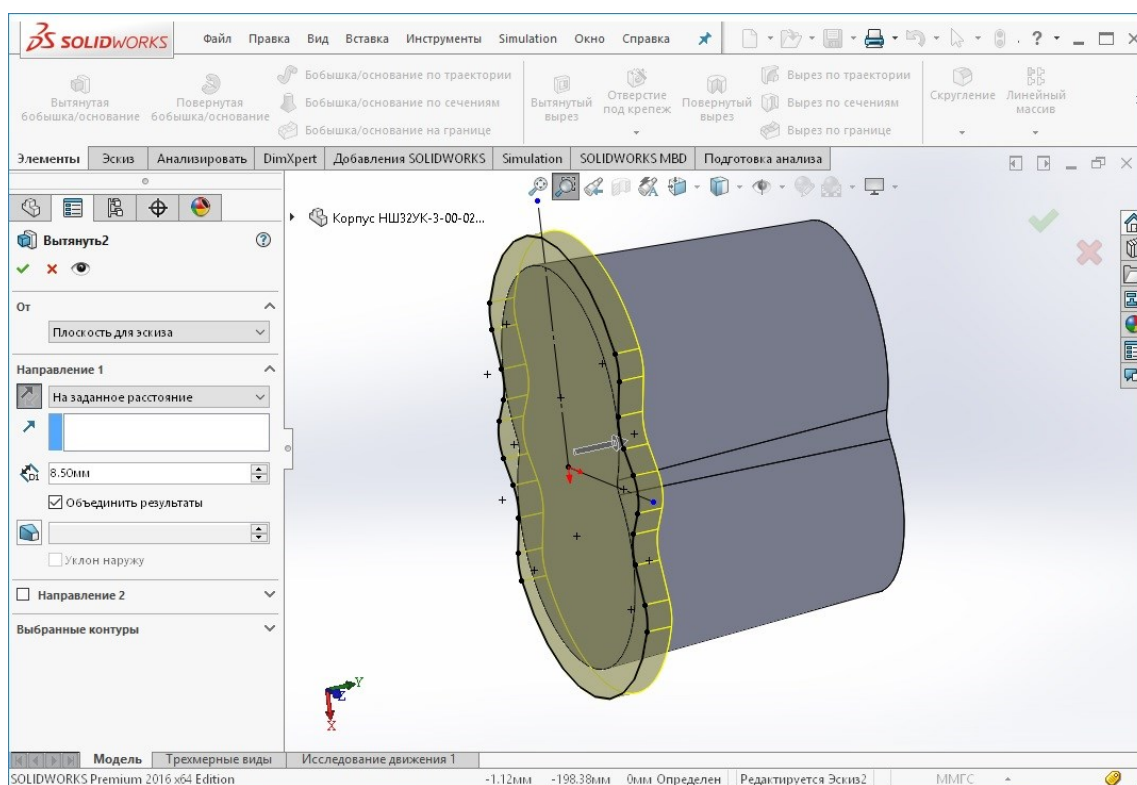


Рисунок 3.2 – Приклад побудови 3D-моделі основи виливка за допомогою інструменту «Бобишка/основа витягнути»

Після побудови всіх необхідних елементів отримуємо 3D-моделі виливка «Корпус НШЗ2УК» (рис. 3.3)

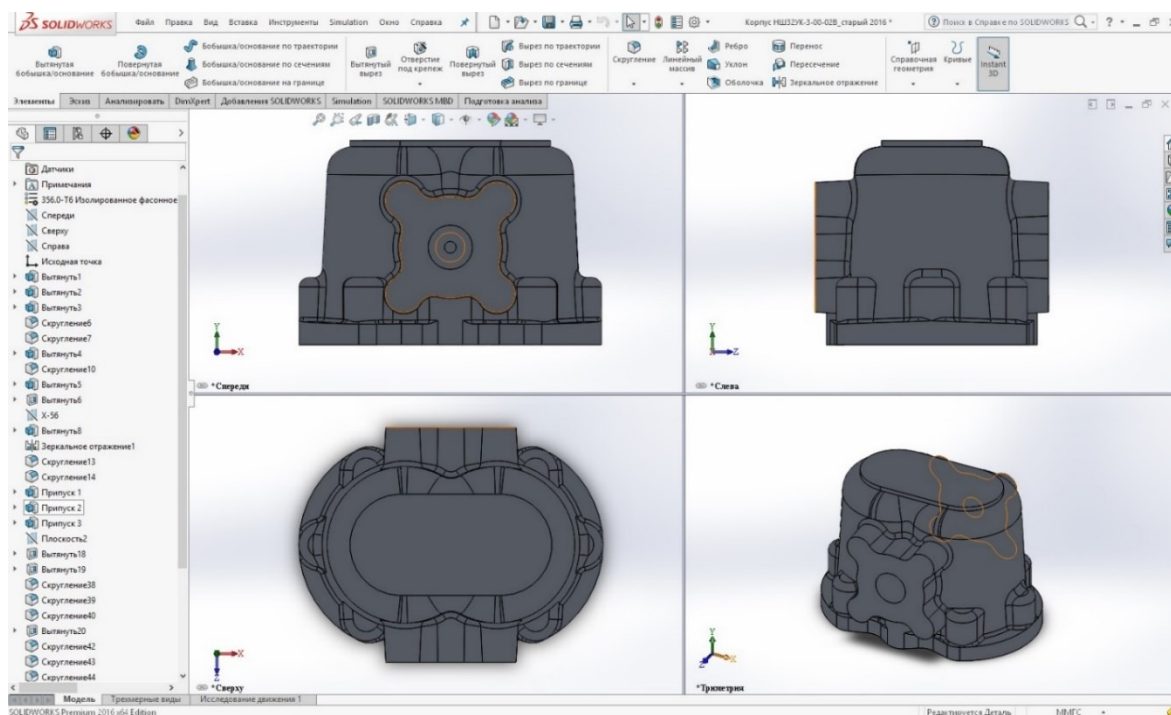


Рисунок 3.3 - 3D-модель виливка «Корпус НШЗ2УК»

За допомогою інструмента «Масові характеристики» визначаються основні геометрично-масові параметри вилівка, зокрема маса, об'єм, площа поверхні, положення центра мас та моменти інерції (рис. 3.4). Для коректного визначення зазначених характеристик 3D-моделі необхідно попередньо призначити матеріал вилівка з бази даних SolidWorks.

Згідно з результатами розрахунку масових характеристик (рис. 3.4), маса вилівка «Корпус НШ32УК», побудованого за кресленням, розробленим у технологічній частині магістерської роботи [MP-131.25.82.02.01.00], становить 1,991 кг.

З метою підвищення міцності вилівка та зменшення його металоємності доцільним є застосування ребер жорсткості на зовнішніх поверхнях. Обґрунтування їх розташування, геометрії, а також можливості зменшення товщини стінок потребує проведення досліджень міцності при статичних навантаженнях у модулі SolidWorks Simulation. При цьому особливу увагу слід приділити аналізу розподілу напружень у перерізах стінок вилівка, що дозволяє виявити слабко навантажені ділянки конструкції, товщину яких можна зменшити без зниження загальної міцності та жорсткості вилівка.

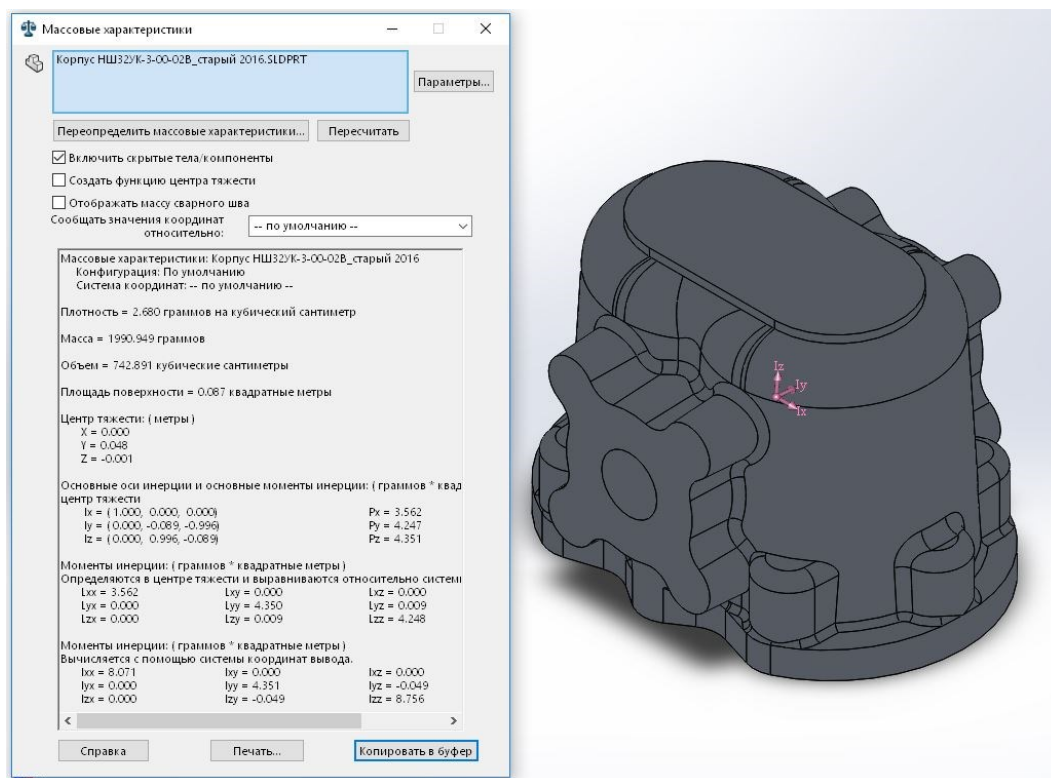


Рисунок 3.3 – Масові характеристики вилівка «Корпус НШ32УК»

3.3.2. Дослідження міцності побудованої 3D-моделі вилівка.

Твердотільна 3D-модель вилівка «Корпус НШ32УК» після завершення побудови є готовою до проведення розрахунків на міцність. На її основі в середовищі SolidWorks Simulation створено нове дослідження зі статичною постановкою задачі, що відповідає умовам експлуатаційного навантаження корпусу насоса.

Матеріал деталі призначено з бібліотеки SolidWorks Materials. Для розрахунків обрано алюмінієвий ливарний сплав типу силумін, механічні характеристики якого використовуються програмою при формуванні розрахункової моделі.

Згідно з умовами роботи насоса, у моделі задано відповідні граничні умови та навантаження. Як обмеження від переміщень прийнято повну фіксацію нижньої торцевої поверхні корпусу, що відповідає його закріпленню в складі виробу. Навантаження задано у вигляді рівномірно розподіленого тиску, прикладеного по нормалі до внутрішніх циліндричних поверхонь корпусу. Величина тиску становить 25 МПа, що відповідає максимальному короткочасному навантаженню при гідрударі. Модель із прикладеними граничними умовами наведено на рис. 3.5.

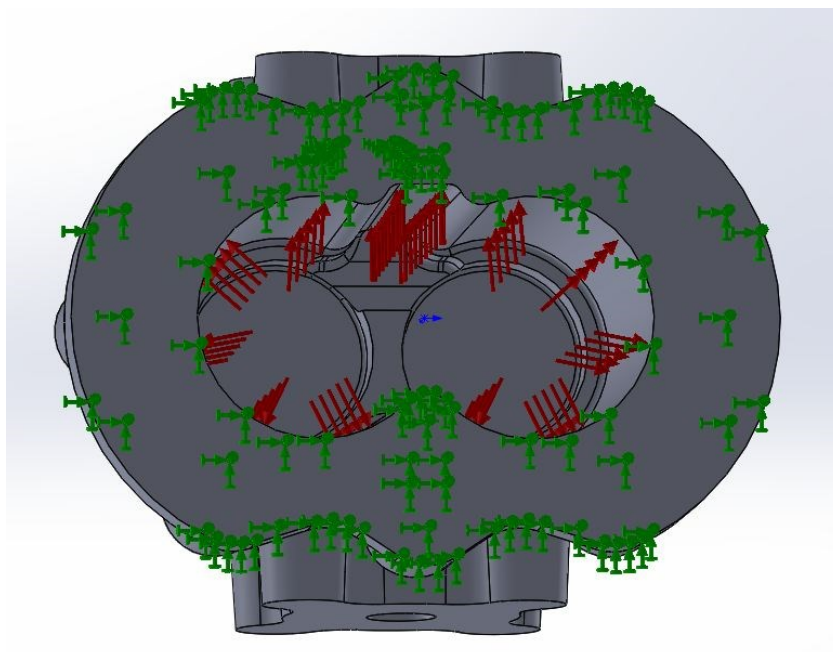


Рисунок 3.5 – Модель із граничними умовами

Таким чином, розрахункова схема повністю визначена і відповідає реальним умовам експлуатації виливка.

Для виконання розрахунків сформовано кінцево-елементну сітку з використанням стандартних параметрів генерації, прийнятих за замовчуванням у SolidWorks Simulation. Основні параметри сітки наведено на рис. 3.6, а загальний вигляд кінцево-елементної апроксимації моделі показано на рис. 3.7.

| Сетка Детализация | |
|--|---------------------------------------|
| Имя исследования | Статический анализ 1 (-По умолчанию-) |
| Тип сетки | Сетка на твердом теле |
| Используемое разбиение | Сетка на основе кривизны |
| Точки Якобиана | 4 точек |
| Макс. размер элемента | 17.2692 mm |
| Мин. размер элемента | 3.45384 mm |
| Качество сетки | Высокая |
| Всего узлов | 127080 |
| Всего элементов | 85109 |
| Максимальное соотношение сторон | 101.22 |
| Процент элементов с соотношением сторон < 3 | 92.9 |
| Процент элементов с соотношением сторон > 10 | 0.22 |
| % искаженных элементов (якобиан) | 0 |
| Время для завершения сетки (hh:mm:ss) | 00:00:09 |
| Имя компьютера | MLV-5 |

Грубое Высокое

Сброс

Параметры сетки

Стандартная сетка

Сетка на основе кривизны

mm

17.26920743mm

3.45384149mm

8

1.6

Дополнительно

Точки Якобиана 4 точек

Сетка черного качества

Рисунок 3.6 – Параметры кінцево-елементної сітки

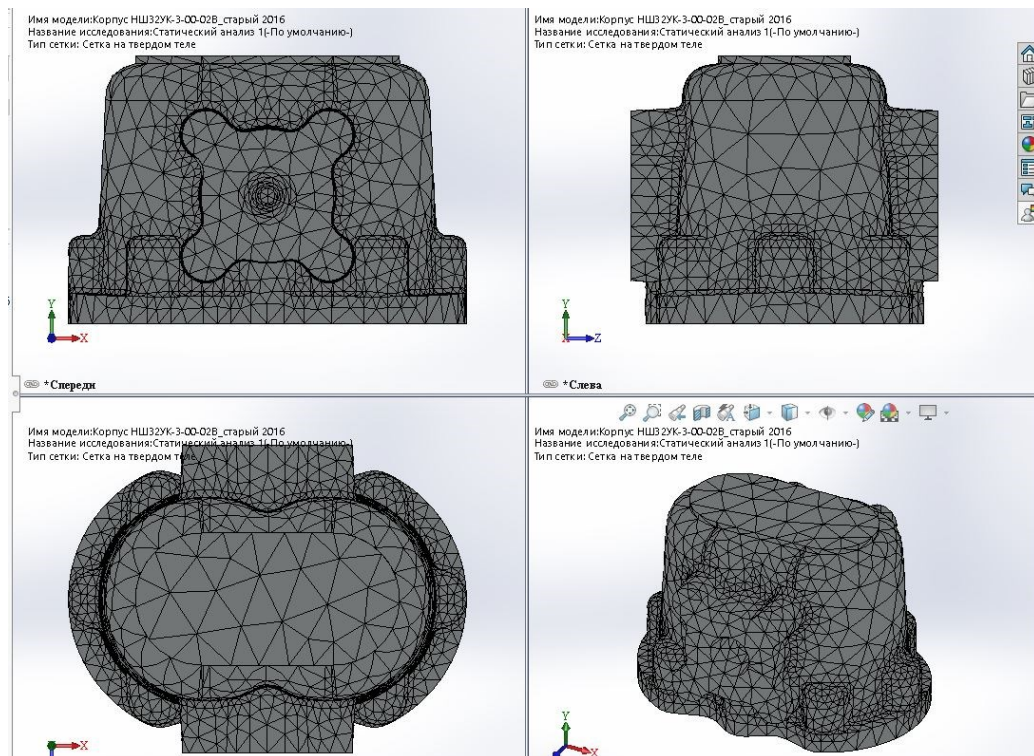


Рисунок 3.7 – Кінцево-елементна сітка

Після побудови сітки виконано розрахунок статичного напружено-деформованого стану виливка.

Результати розрахунків відображено у вигляді стандартних діаграм, що включають розподіл еквівалентних напружень за Мізесом, сумарних переміщень та еквівалентних деформацій. Для підвищення наочності аналізу виконано налаштування параметрів відображення діаграм із зазначенням мінімальних і максимальних значень, відповідних одиниць вимірювання та деформованої форми моделі.

Діаграму напруги представлено на рис. 3.8.

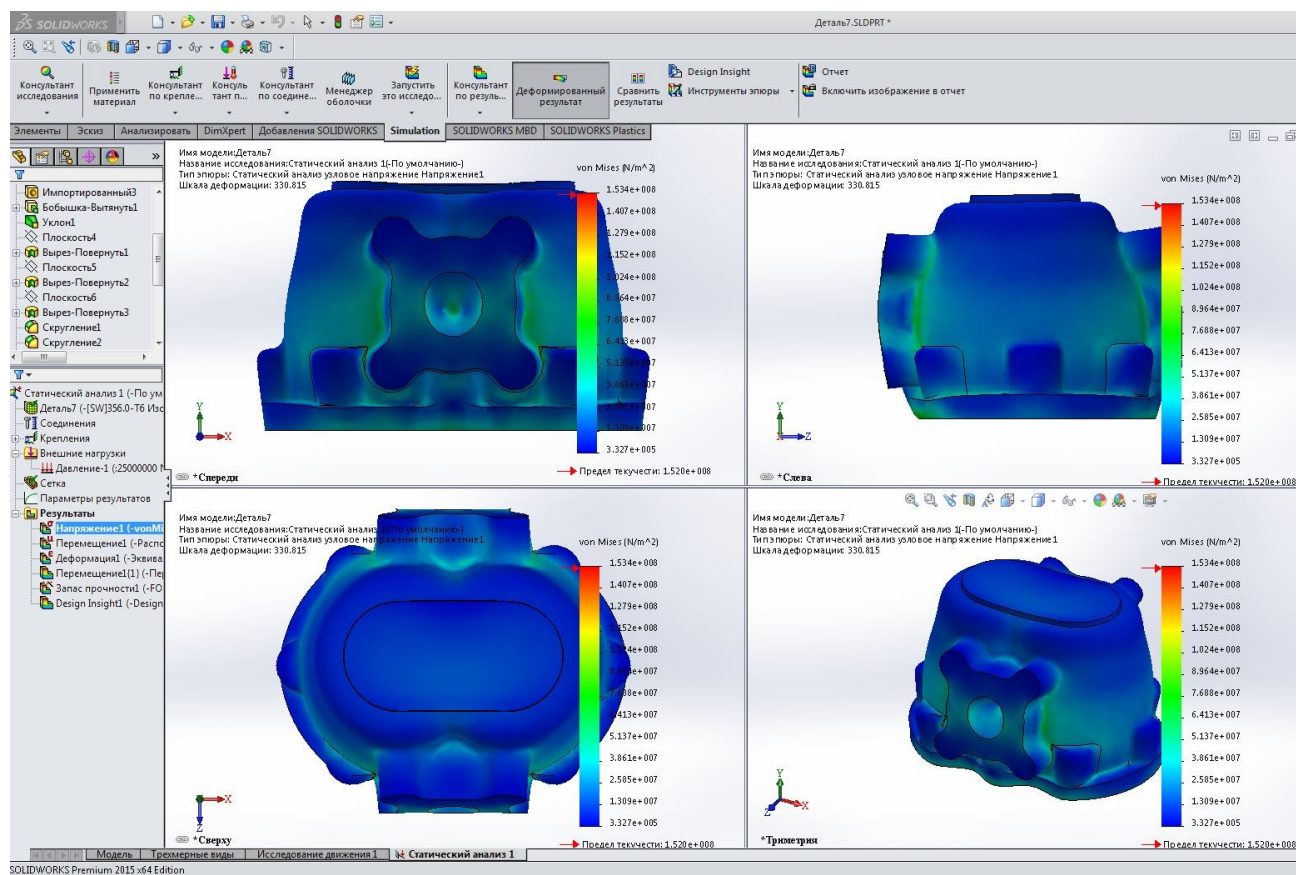


Рисунок 3.8 – Діаграма напруги

Аналіз результатів показує, що максимальні напруження в конструкції перебувають у межах 50–65 МПа, тоді як границя текучості обраного матеріалу становить 153 МПа. При цьому переважна частина об'єму виливка працює в області напружень, що не перевищують 10–15 МПа, що свідчить про наявність значного запасу міцності.

На рис. 3.9 наведено діаграму сумарних переміщень. Максимальне результуюче переміщення становить 0,047 мм, що є допустимим значенням і не впливає на працездатність виробу.

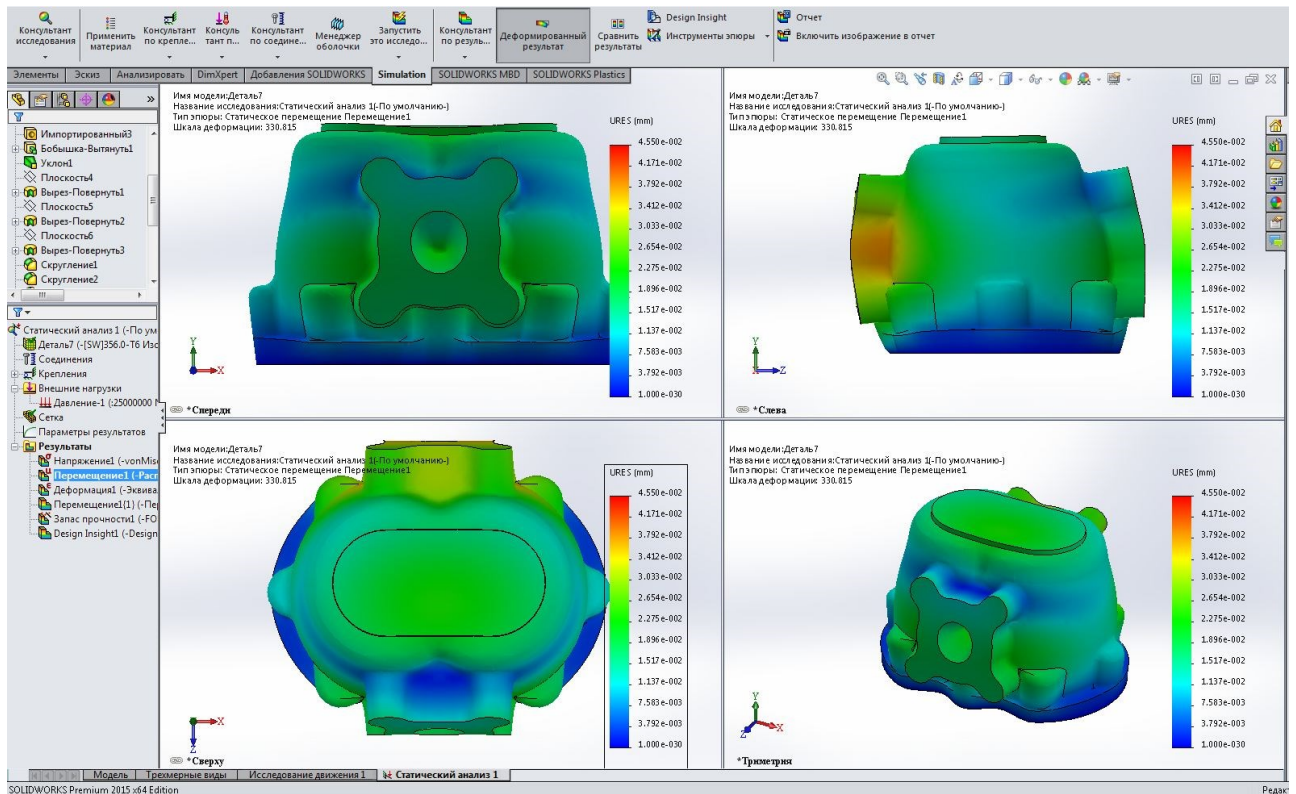


Рисунок 3.9– Діаграма сумарних переміщень

Аналогічним чином виведемо діаграму еквівалентних деформацій. У налаштуваннях епюри деформацій у додаткових параметрах виберемо опцію «Значення у вузлах» і відобразимо деформовану форму в режимі авто, а в налаштуваннях параметрів графіка виберемо відображення мінімального й максимального значень.

Діаграма еквівалентних деформацій, представлена на рис. 3.10, показує, що максимальне значення деформацій не перевищує 0,0008, що підтверджує роботу матеріалу в пружній області.

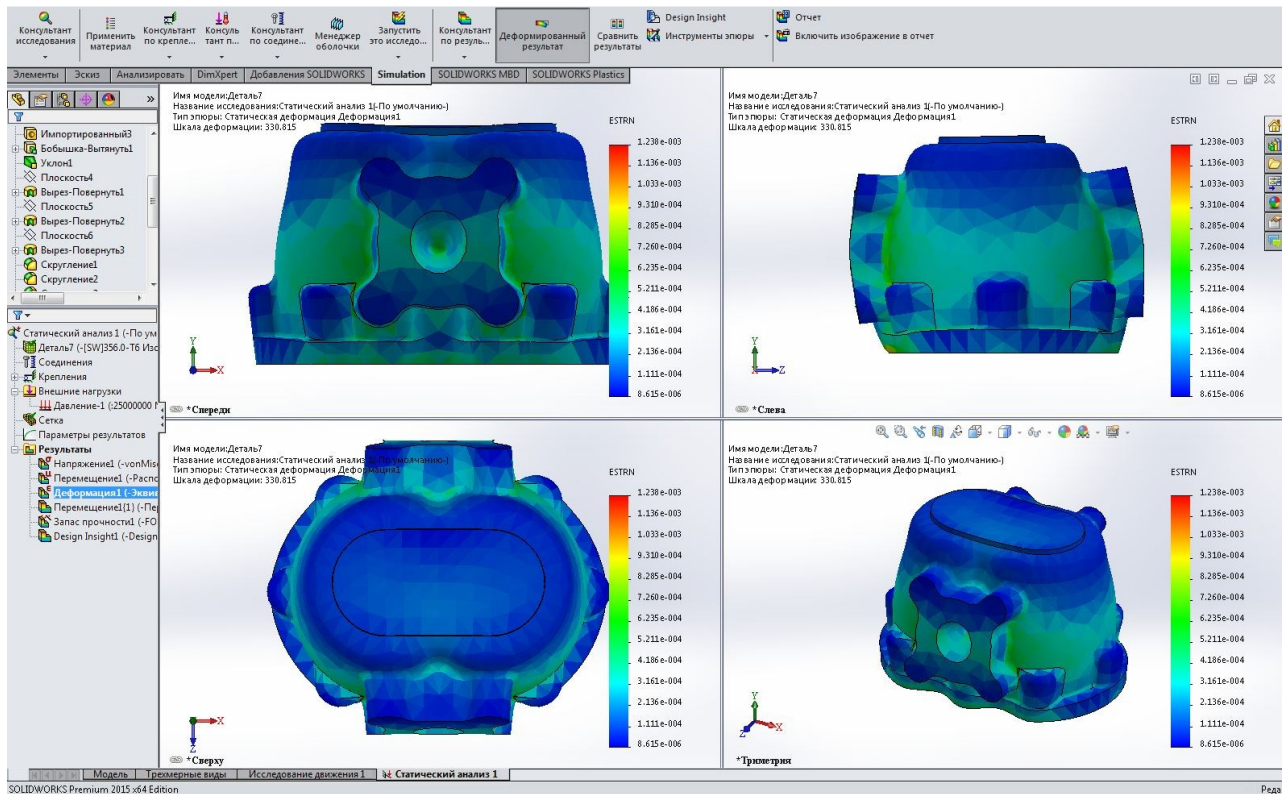


Рисунок 3.10 – Діаграма еквівалентних деформацій

Для кількісної оцінки надійності конструкції побудовано діаграму коефіцієнта запасу міцності з використанням критерію максимальних еквівалентних напружень за Мізесом та границі текучості матеріалу. Розподіл коефіцієнта запасу міцності наведено на рис. 3.11. Аналіз показує, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності для виливка становить близько 5, тобто конструкція має п'ятикратний запас відносно максимальних експлуатаційних навантажень.

Отримані результати свідчать про можливість подальшого зменшення товщини стінок виливка з метою зниження його металоємності. Водночас у найбільш напружених зонах доцільно передбачити локальне зміцнення конструкції.

Для визначення таких зон проведено аналіз розподілу навантаження в об'ємі деталі, результати якого наведено на рис. 3.12. Встановлено, що максимальні навантаження зосереджені в центральній частині виливка поблизу внутрішніх циліндричних поверхонь. Саме ці ділянки доцільно зміцнювати ребрами жорсткості із зовнішнього боку корпуса. Області, які практично не

сприймають навантаження, можуть бути додатково оптимізовані шляхом зменшення товщини, що дозволить знизити масу виливка без погіршення його міцнісних характеристик.

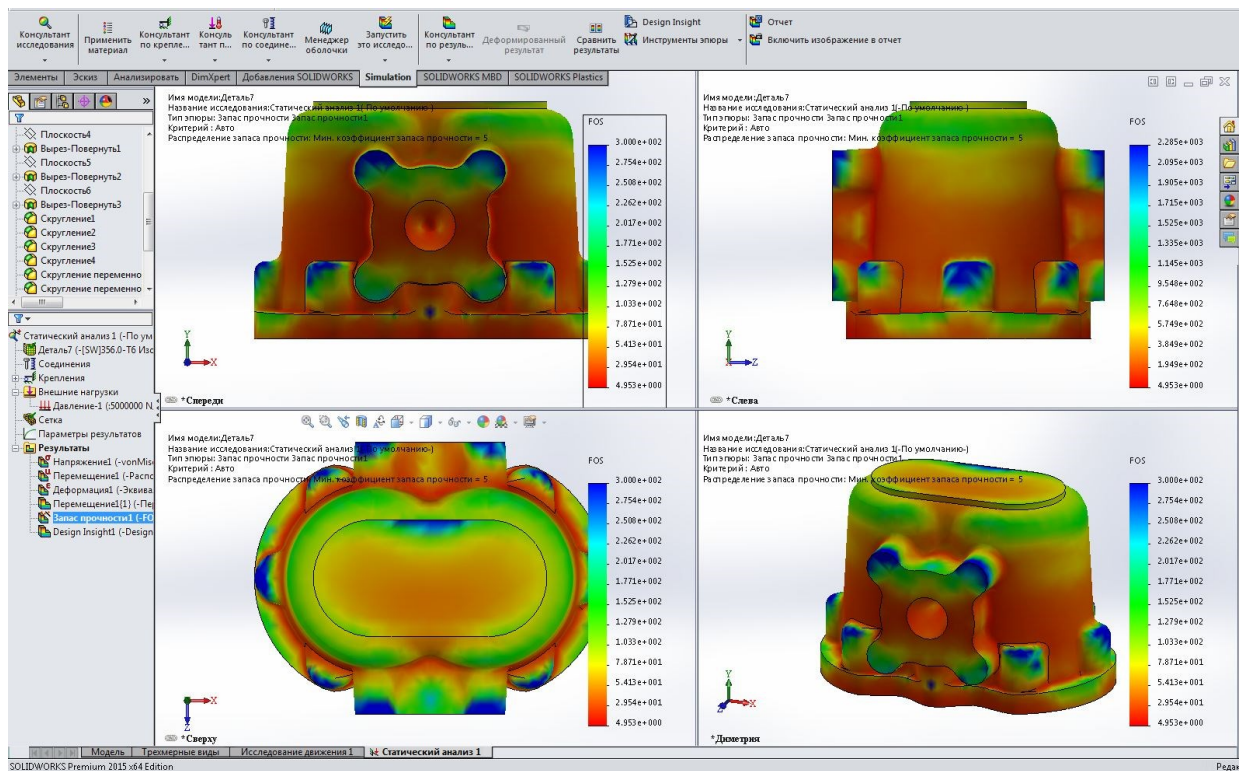


Рисунок 3.11 – Діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності

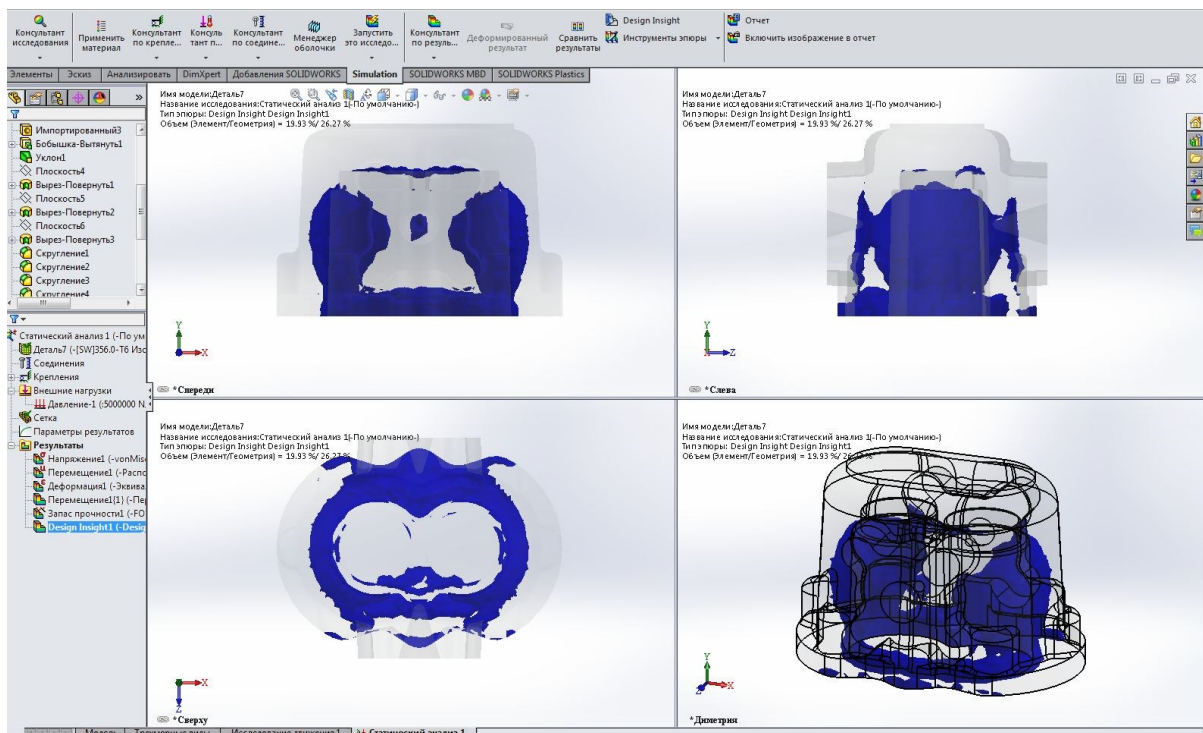


Рисунок 3.12 – Розподіл навантаження в об'ємі виливка

3.4. Розробка нової конструкції виливка «Корпус НШ32УК» та дослідження його міцності в середовищі Solidworks Simulation

Відповідно до алгоритму, описаного вище, розроблено модернізовану конструкцію виливка «Корпус НШ32УК». З урахуванням результатів попереднього міцнісного аналізу виконано зменшення товщини стінок виливка в бічних і верхній частинах, які характеризуються низьким рівнем напружень. Формування зазначених змін здійснювалося з використанням операцій параметричного моделювання, що реалізують видалення матеріалу.

У центральній частині виливка на зовнішніх бічних поверхнях передбачено ребра жорсткості, призначені для підвищення загальної жорсткості та міцності конструкції в найбільш навантажених зонах. Побудова ребер виконувалася з використанням базових операцій додавання матеріалу на основі підготовлених ескізів і просторових траєкторій.

Після завершення формування всіх конструктивних елементів отримано твердотільну 3D-модель виливка «Корпус НШ32УК» модернізованої конструкції, загальний вигляд якої наведено на рис. 3.13.

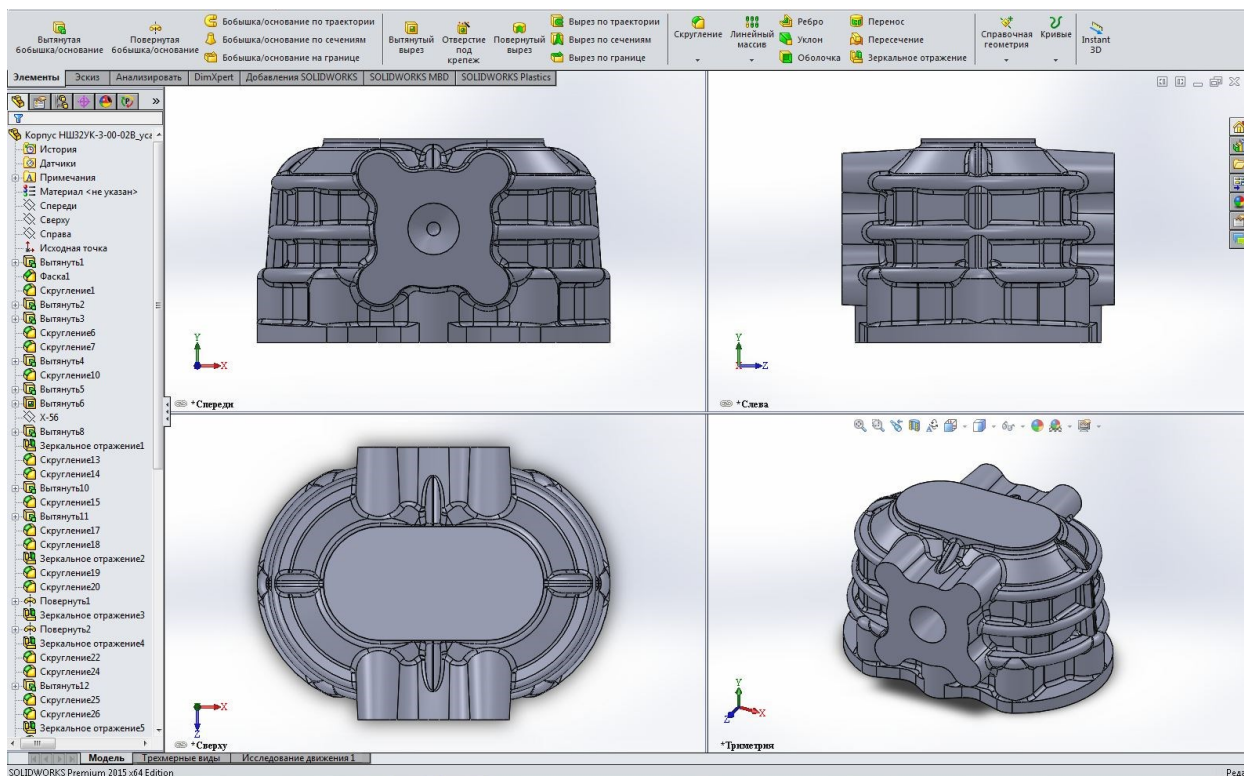


Рисунок 3.13 - 3D-модель виливка «Корпус НШ32УК»

За допомогою інструмента «Масові характеристики» визначено основні геометрично-масові параметри модернізованого виливка, зокрема масу, об'єм, площу поверхні, положення центра мас та моменти інерції (рис. 3.14).

Згідно з результатами розрахунку масових характеристик (рис. 3.14), маса виливка «Корпус НШ32УК» нової конструкції становить 1,724 кг. Порівняно з базовим варіантом маса виливка зменшилася на 0,267 кг, що відповідає економії матеріалу близько 13 %.

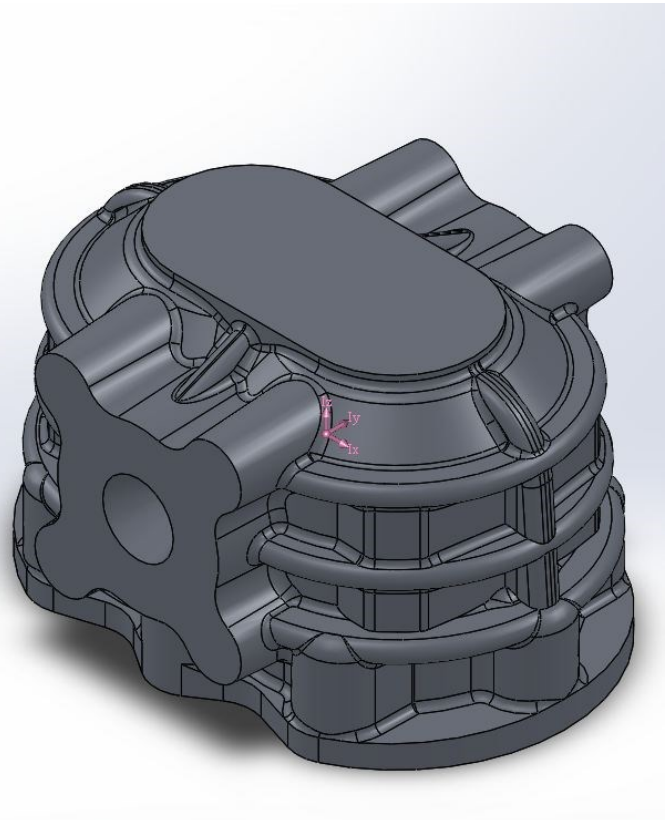
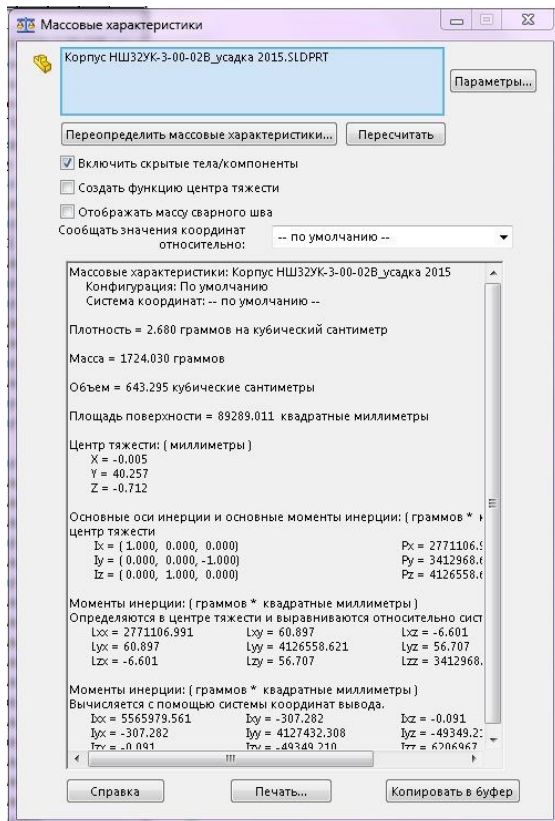


Рисунок 3.14 – Масові характеристики виливка «Корпус НШ32УК»

Твердотільна 3D-модель виливка «Корпус НШ32УК» модернізованої конструкції підготовлена до проведення розрахунку на міцність. У файлі моделі створено нове дослідження та задано тип аналізу – статичний. Основні параметри моделі прийнято аналогічними до параметрів попереднього розрахункового дослідження.

Граничні умови та навантаження прикладено відповідно до раніше розглянутої розрахункової схеми, що забезпечує коректність порівняння результатів для базової та модернізованої конструкцій.

Модель із прикладеними граничними умовами наведено на рис. 3.15.

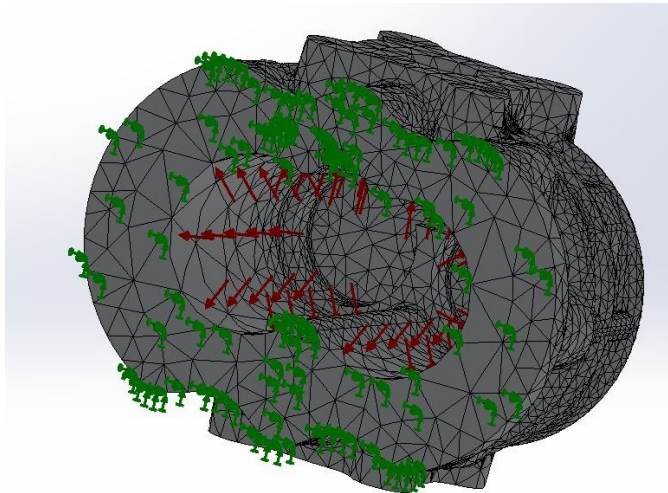


Рисунок 3.15 – Модель із граничними умовами

Кінцево-елементну сітку формуємо аналогічно попередньому дослідженню.

Параметри кінцево-елементної сітки наведено на рис.3.16.

| Сетка Детализация | |
|--|---------------------------------------|
| Имя исследования | Статический анализ 1 (-По умолчанию-) |
| Тип сетки | Сетка на твердом теле |
| Используемое разбиение | Сетка на основе кривизны |
| Точки Якобиана | 4 точек |
| Макс. размер элемента | 17.2692 mm |
| Мин. размер элемента | 3.45384 mm |
| Качество сетки | Высокая |
| Всего узлов | 127080 |
| Всего элементов | 85109 |
| Максимальное соотношение сторон | 101.22 |
| Процент элементов с соотношением сторон < 3 | 92.9 |
| Процент элементов с соотношением сторон > 10 | 0.22 |
| ‰ искаженных элементов (якобиан) | 0 |
| Время для завершения сетки (hh:mm:ss) | 00:00:09 |
| Имя компьютера | MLV-5 |

Сетка

Плотность сетки: Грубое — Высокое

Сброс

Параметры сетки

Стандартная сетка
 Сетка на основе кривизны

mm

17.26920743mm

3.45384149mm

8

1.6

Дополнительно

Точки Якобиана: 4 точек

Сетка черного качества

Рисунок 3.16 – Параметры кінцево-елементної сітки

Кінцево-елементна сітка представлена на рис. 3.17.

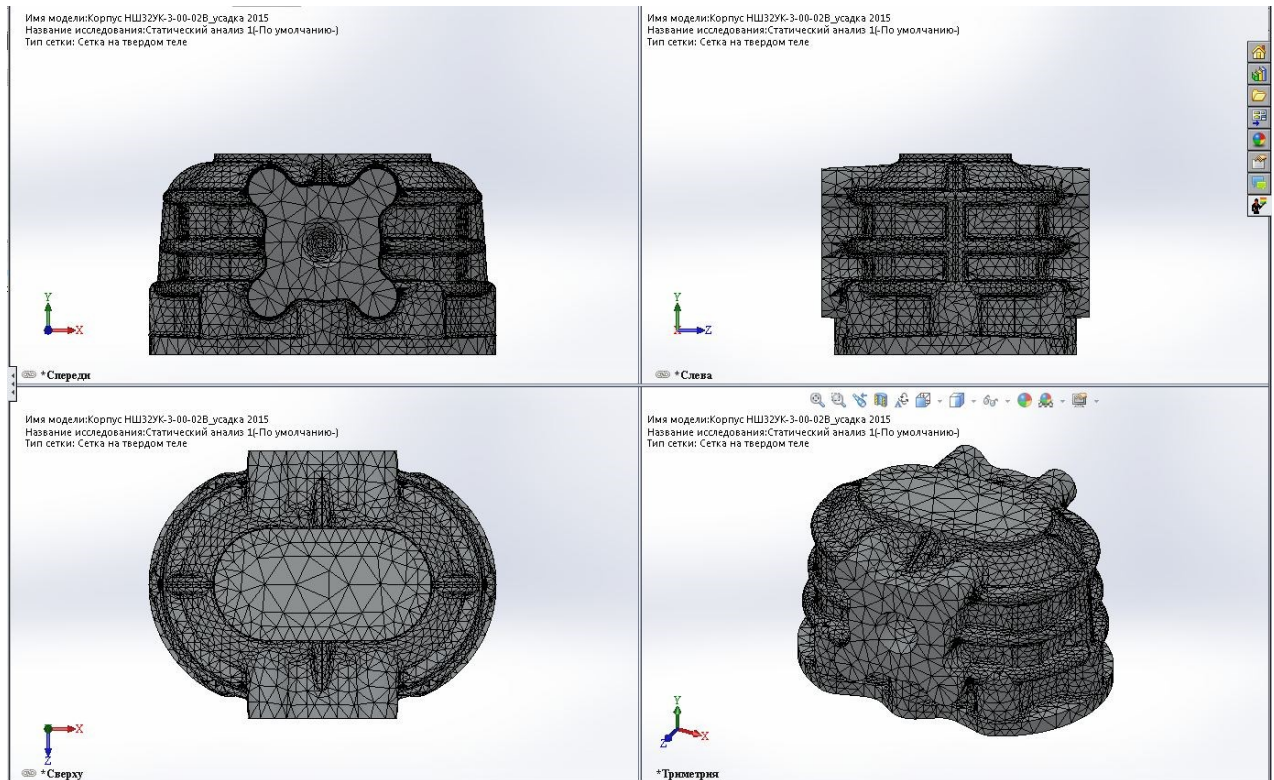


Рисунок 3.17 – Кінцево-елементна сітка

Далі запускаємо розрахунки в програмі. Діаграму напруги представлено на рис. 3.18.

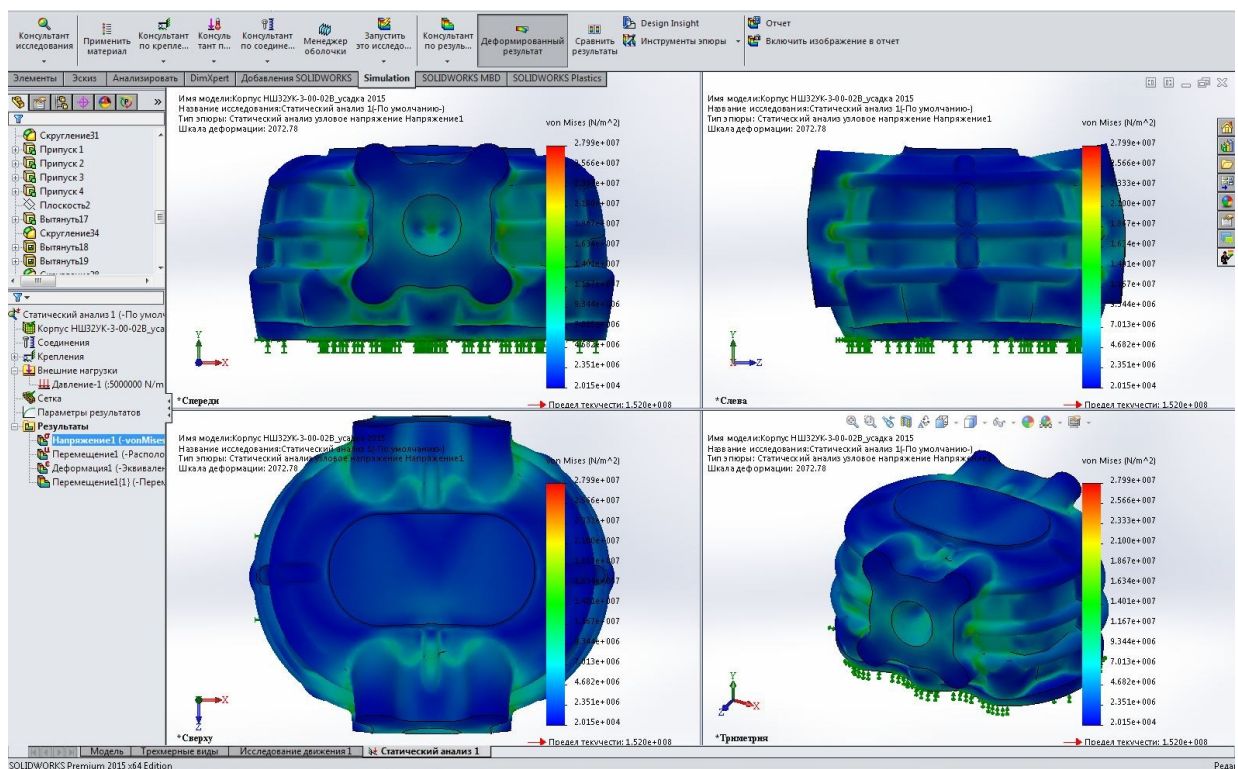


Рисунок 3.18 – Діаграма напруги

Аналіз діаграми напружень показує, що максимальні значення еквівалентних напружень становлять 11–16 МПа, що є значно меншим за границю текучості матеріалу, яка дорівнює 153 МПа. При цьому переважна частина об'єму деталі характеризується рівнем напружень у межах 2–5 МПа, що відповідає синій зоні діаграми. Отримані результати свідчать про збільшення запасу міцності вилівка порівняно з базовою конструкцією після внесення конструктивних змін.

Аналогічно будуємо діаграму сумарних переміщень, яку представлено на рис. 3.19.

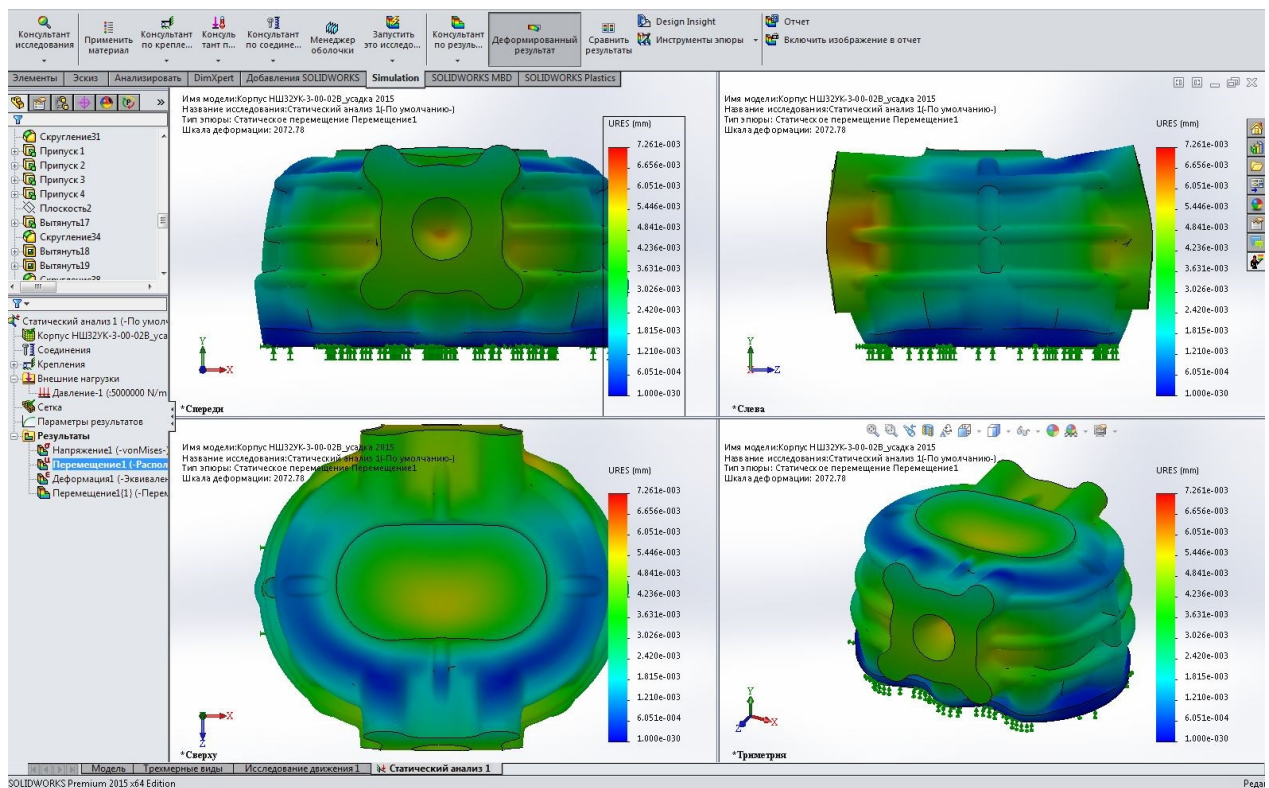


Рисунок 3.19– Діаграма сумарних переміщень

Максимальне результуюче переміщення становить 0,0007 мм (відповідає помаранчевому кольору).

Аналогічним чином виведемо діаграму еквівалентних деформацій. Діаграму еквівалентних деформацій представлено на рис. 3.20.

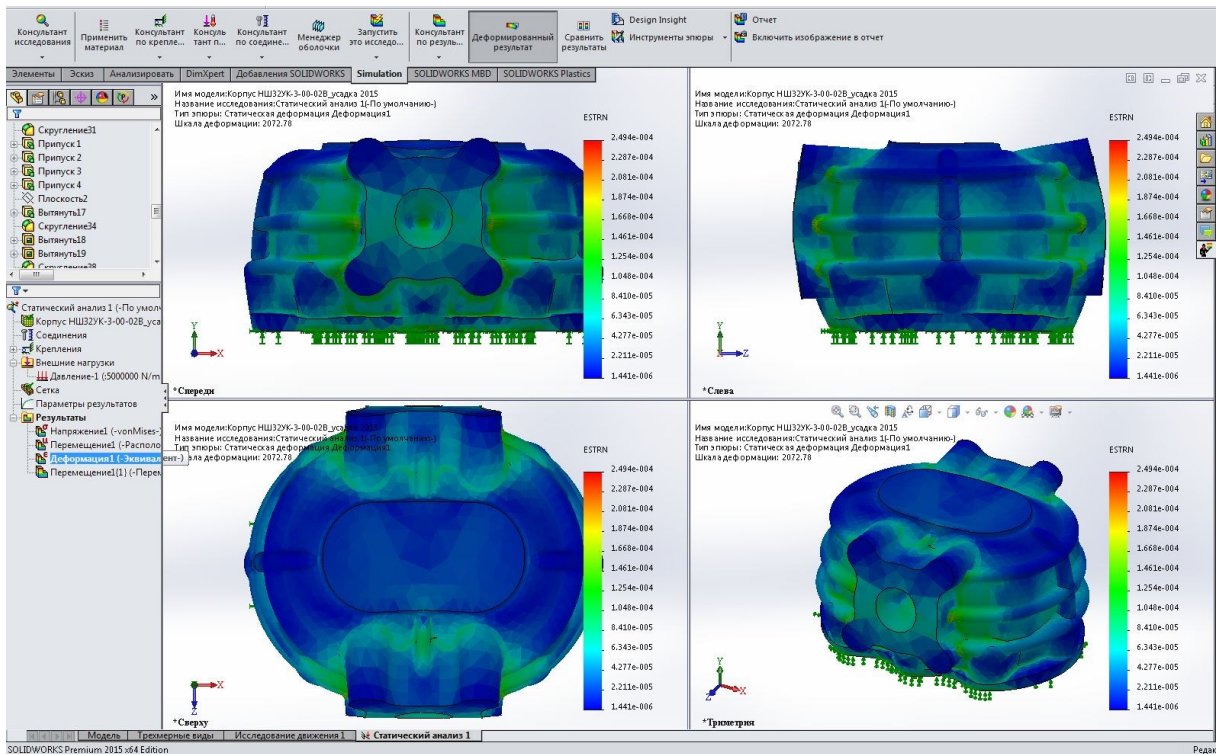


Рисунок 3.20 – Діаграма еквівалентних деформацій

Максимальна величина деформацій становить 0,0002.

Тепер побудуємо діаграму коефіцієнта запасу міцності. Діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності представлено на рис. 3.21.

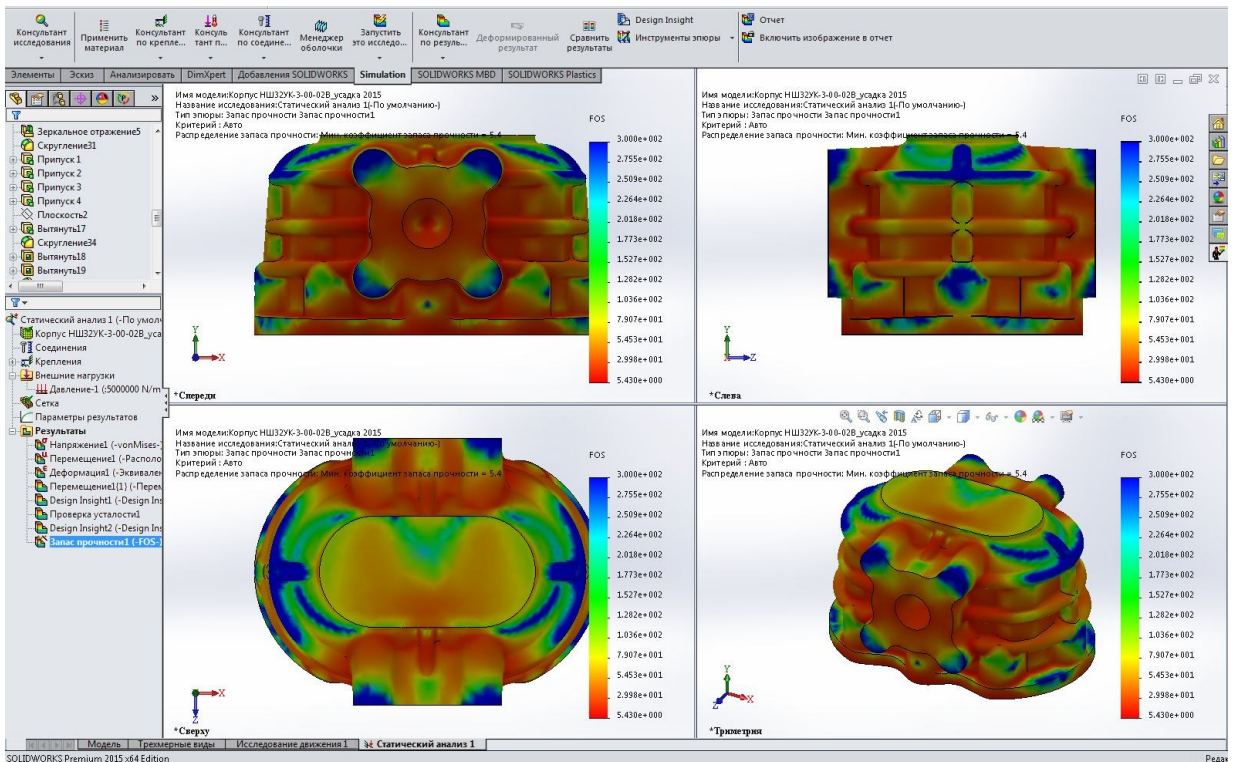


Рисунок 3.21 – Діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності

Аналіз результатів показує, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності виливка становить 5,4 (червоні області), тобто запас міцності перевищує максимальні навантаження більш ніж у 5 разів. Це свідчить про наявність резерву для подальшого зменшення товщини стінок виливка, проте для прийняття таких рішень необхідно провести додаткові дослідження.

Для визначення найбільш навантажених зон виливка виконано аналіз розподілу навантаження в об'ємі деталі (рис. 3.22).

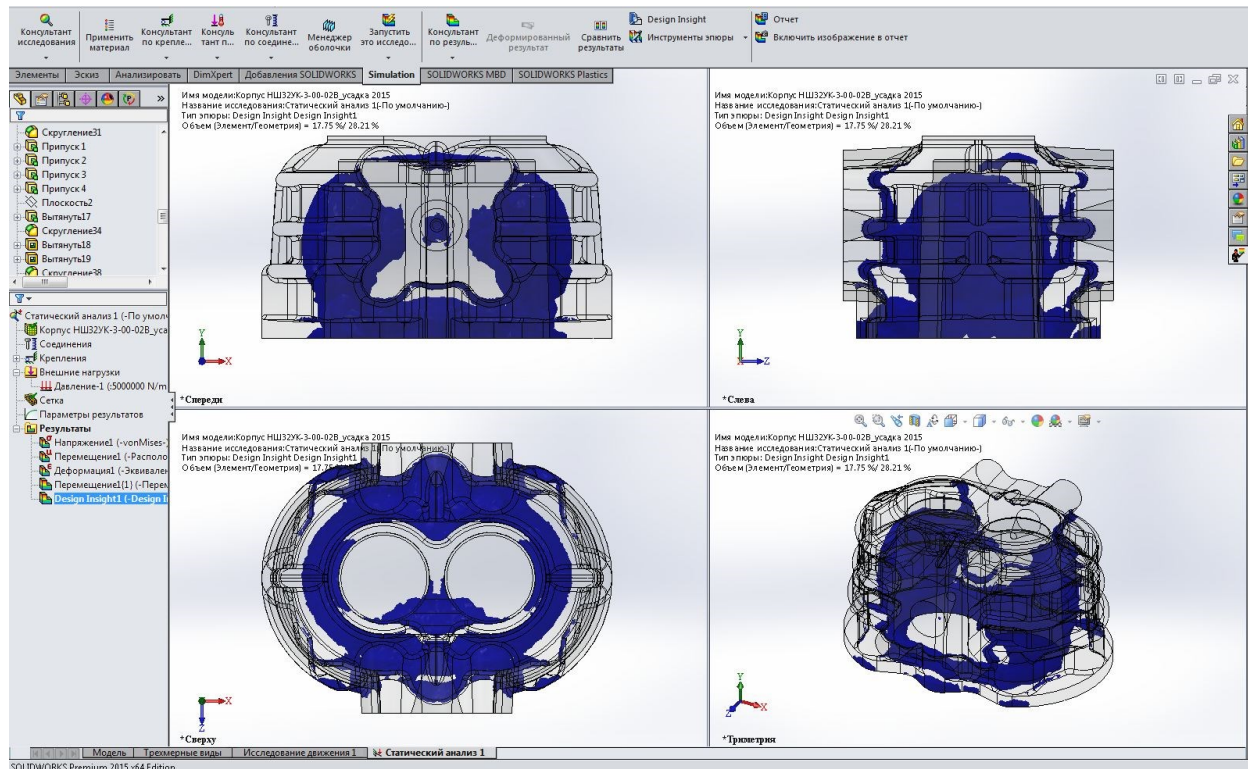


Рисунок 3.22 – Розподіл навантаження в об'ємі виливка

Аналіз результатів показує, що максимальні напруження зосереджені в центральній частині виливка навколо внутрішніх циліндричних поверхонь (сині області). Незабарвлені ділянки, розташовані у верхній та бічних частинах виливка, характеризуються мінімальним рівнем напружень, оскільки не сприймають значних навантажень.

3.5. Висновки по розділу

1. У науковій частині магістерської роботи розглянуто основні можливості системи автоматизованого проектування Solidworks як інтегрованого

середовища для моделювання та інженерного аналізу, зокрема особливості підготовки моделей до розрахунків і ключові аспекти проведення аналізу в Сae-модулі Solidworks Simulation.

2. На базі твердо тільної 3D-моделі вилівка «Корпус НШЗ2УК», створеної в Cad-модулі Solidworks, проведено аналіз напружено-деформованого стану з використанням Solidworks Simulation. Результати дослідження дозволили розробити модернізовану конструкцію корпусу, в якій товщину вилівка зменшено в найменш навантажених ділянках, а найбільш напружені зони зміцнено ребрами жорсткості. Внаслідок цього запас міцності вилівка зріс із 5 до 5,4, а масу виробу вдалося зменшити на 0,276 кг (13 %).

3. Проведення розрахунків на міцність у середовищі Solidworks Simulation дає змогу на етапі проектування виявити конструктивні недоліки деталей, оперативно внести зміни в конструкцію та оптимізувати виріб із мінімальними витратами часу, матеріальних і енергетичних ресурсів.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе науково-технічне завдання розробки технології лиття в кокіль виливка «Корпус» з підвищенням міцності виливка на основі комп'ютерного аналізу його напружено-деформованого стану.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- вибрано обладнання для виготовлення виливків та описано роботу ливарного цеху;
- розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Корпус»;
- досліджено в САЕ-Модулі системи Solidworks Simulation міцність виливка за умов його реальних навантажень;
 - розроблено рекомендації щодо підвищення міцності та зменшення металоемності виливка.

В оглядовій частині магістерської роботи обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху, а також наведено характеристику основних і допоміжних відділень. Описано роботу плавильного відділення, відділення лиття в кокіль, дільниць відрізки та обрубки ливників, фінішної обробки, а також допоміжних підрозділів: дільниці ремонту і футеровки ковшів, складу модельного оснащення, відділу технічного контролю, лабораторії, побутових і адміністративних приміщень. Для плавки металу обрано індукційні тигельні печі ІАТ-2,5/1,15 місткістю 850 кг, наведено їх будову та технічні характеристики. Для розливання сплаву у форми використано роздавальні печі НО-136 місткістю 220 кг. Описано процес рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення виливків зі сплаву АК5М2Ц4 обрано однопозиційну універсальну кокільну машину 82А403, наведено технологію підготовки кокілів і процес лиття. Відрізання ливників і підживлювачів здійснюється на стрічкопильному верстаті JET HVBS-812RKT, а обдирка та зачистка виливків — на обдирно-шліфувальних верстатах моделі 3М634.

У технологічній частині виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, визначено послідовність розробки технологічного процесу його виготовлення. Розроблено модельно-ливарні вказівки та технічні умови, спроектовано ливниково-живильну систему і проведено перевірку її ефективності. Описано процес проєктування ливарного оснащення та технологію виготовлення виливка. Розроблено комплект технологічних креслень, зокрема креслення деталі, правої і лівої напівформ, центрального стержня та форми в зборі.

У третьому розділі проаналізовано функціональні можливості програмного комплексу SolidWorks як універсального інструменту для тривимірного проєктування й інженерних розрахунків. На основі просторової моделі виливка «Корпус НШ32УК», сформованої в CAD-середовищі SolidWorks, виконано чисельне моделювання напружено-деформованого стану з використанням модуля SolidWorks Simulation. Отримані результати стали підґрунтям для вдосконалення конструкції виробу: у зонах із низьким рівнем навантажень зменшено товщину стінок, тоді як критичні ділянки підсилено додатковими елементами жорсткості. Це забезпечило підвищення коефіцієнта запасу міцності з 5 до 5,4 та зменшення маси деталі на 0,276 кг, що становить 13 %. Використання засобів комп'ютерного аналізу на стадії проєктування дозволяє своєчасно виявляти слабкі місця конструкції, підвищувати ефективність виробу та скорочувати витрати ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування машинобудівних заводів та цехів / За ред. В.М. Шестопада. - М.: Машинобудування, 1974. - 294 с.
2. Логінов І.З. Проектування ливарних цехів.-Мінськ: Вища шк., 1975. - 230 с.
3. Рибальченко Н.А. Проектування ливарних цехів. - Вид-во Харк. ун-ту, 1965. - 306 с.
4. Проектування ливарних цехів: Навч. посібник/Б.Ф. Туманський. К.: НМК, 1992. -188 с.
5. Аксьонов П.М. Обладнання ливарних цехів. - М.: Машинобудування, 1997. - 510с.
6. Основи проектування ливарних цехів та заводів/Л. І. Фанталів, Б.В. Кнорре, С. І. Четвертухін: Під. ред. Б.В. Кнорре. - М.: Машинобудування, 1979. - 375 с.
7. Сафронов В.Я. Довідник з ливарного обладнання. - М.: Машинобудування, 1985. - 319 с.
8. Тітов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва: Підручник для машинобудівних технікумів. 2-ге вид. Перероб. - М.: Машинобудування, 1978. - 432 с.
9. Степанов Ю.А., Баландін Г.Ф., Рибкін В.А. Технологія ливарного виробництва. - М.: Машинобудування, 1983. - 287 с.
10. Засоби та системи автоматизації ливарного виробництва / К.С. Богдан, В.М. Горбенко, В.М. Денисенко, Ю. П. Каширін. - М.: Машинобудування, 1981. - 287 с.
11. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. - К.: ІСДО, 1993. - 552 с.
12. Ливниково-живильні системи. Конструювання та розрахунок літникових систем. Навчальний посібник/Л.А. Большаков. - Маріуполь: ПДТУ, 2007. - 125 с.

13. Москальов І.Н. Ліварні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1993. - 368 с.
14. Рубцов М.М. Спеціальні види лиття. - М.: Машгіз, 1955. - 331 с.
15. Галдін М.М. Ливникові системи для виливків із легких сплавів. - М.: Машинобудування, 1978. - 195 с.
16. Лиття в кокіль / За ред. А.І. Вейника. - М.: Машинобудув., 1980. - 415 с.
17. Дубінін М.П. Беліков О.А та ін. Кокільне литво - Довідковий посібник. М.: Машинобудування, 1967. - 456с.
18. Баландін Г.Ф. Теорія формування виливка. М. Видавництво МДТУ ім. Н.Е. Баумана, 1998 рік. 359 с.
19. Белов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві метали. Промислові деформовані, спечені та ливарні алюмінієві сплави. Довідник М.: Металургія.1972.С. 552.
20. Фрідляндер І.М. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1983.С.560.
21. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник/ С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, Ю.В. Клак – Луцьк: Вежа, 2018. – 172 с.
22. Веселовська Г.В. Комп'ютерна графіка / Веселовська Г.В., Ходаков В.Є, Веселовський В.М. - Херсон.: ОЛДІ - плюс, 2008. – 584 с.
23. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: конспект лекцій / Ю. В. Холодняк. – Мелітополь: Люкс, 2021. – 140 с.
24. Козяр М. М. Комп'ютерна графіка: SolidWorks : навч. посіб. / М. М. Козяр, Ю. В. Фещук, О. В. Парфенюк. – Херсон : Олді-плюс, 2018. – 252 с.
25. Комп'ютерне проектування промислових виробів: навчально-методичний посібник з виконання практичних робіт / Ю. В. Холодняк; ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 152 с.
26. Paul J. Schilling, Randy H. Shih. Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2022 // 2022, 610 p.

27. James D. Bethune. Engineering Design and Graphics with SolidWorks 2016 // 2016, 829 p.
28. Zeid I. Mastering SolidWorks: the design approach // 2014, 552 p.
29. Solidworks у завданнях 3Д моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
30. Конончук С.В. Комп'ютерне проектування оснащення ливарного виробництва: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів-ливарників спеціальності 131 "Прикладна механіка" / С.В. Конончук, О. В. Скрипник, В.В. Пукалов. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – 99 с.

ДОДАТКИ