

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму
виливка «Важіль» з удосконаленням конструкції
виливка на основі комп'ютерного аналізу його
напружено-деформованого стану»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го

курсу групи ПМ-22М-1

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Станіслав ПАНКОВ

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

«_____» _____ 2024 р.

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

Панкова Станіслава Юрійовича

1. Тема роботи: «Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Важіль» з удосконаленням конструкції 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: 15.12.2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Важіль» з удосконаленням його конструкції. Виконати огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення сталевих виливків методом лиття в піщано-глинисту форму. Розробити технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Важіль». 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) креслення модельної плити низу; 3) креслення модельної плити верху; 4) креслення стержневого ящика; 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	30.09.2024	
2	Розрахунки по технологічній частині	10.10.2024	
3	Креслення по технологічній частині	20.10.2024	
4	Розрахунки і дослідження по науковій частині	30.10.2024	
5	Плакати по науковій частині	10.11.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2024	
7	Перевірка на анти плагіат	30.11.2024	
8	Оформлення рецензії	10.12.2024	
9	Захист дипломного проекту	20.12.2024	

Дата видачі завдання

«___»_____ 2024 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

«___»_____ 2024 р.

Підпис здобувача

_____ Панков С.Ю.

Анотація

ПАНКОВ Станіслав. Розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка «Важіль» з удосконаленням конструкції виливка на основі комп'ютерного аналізу його напружено-деформованого стану. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2024. 86 с.

Обґрунтовано місце побудови ливарного цеху. Вибрано та описано роботу обладнання для виготовлення виливків. Розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Важіль». 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: розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Важіль». Досліджено напружено-деформований стан виливка при його реальних експлуатаційних навантаженнях.

Практичне значення: розроблені рекомендації дозволяють зменшити металоємність виливка при збереженні його міцності за рахунок використання у його конструкції ребер жорсткості.

Ключові слова: плавка, виливок, ливарне обладнання, заливка, сплав, формувальна суміш, міцність, напружено-деформований стан, комп'ютерне моделювання, собівартість.

Summary

PANKOV Stanislav. Development of the technology of casting in a sand-clay mold of the “Lever” casting with improvement of the casting design based on computer analysis of its stress-strain state. Qualification work for the second (master's) level of higher education: CNTU, 2024. 86 p.

The location of the foundry construction is justified. The operation of the equipment for the manufacture of castings is selected and described. The technology of casting in a sand-clay mold of the “Lever” casting is developed. A computer analysis of the stress-strain state of the casting under the conditions of its real loads is performed. Based on the research performed, recommendations are developed for increasing the strength and reducing the metal content of the casting.

Relevance of the work: the technology of casting in a sand-clay mold of the “Lever” casting is developed. The stress-strain state of the casting under its real operational loads was investigated.

Practical significance: the developed recommendations allow reducing the metal content of the casting while maintaining its strength by using stiffeners in its design.

Keywords: melting, casting, foundry equipment, pouring, alloy, molding mixture, strength, stress-strain state, computer modeling, cost.

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. Формувально заливно вибивне відділення	20
1.4. Стержневе відділення	22
1.5. Сумішоприготувальне відділення	23
1.6. Очисне відділення	27
1.7. Відділення ґрунтування виливків	30
1.8. Склади і допоміжні відділення ливарного цеху	32
1.8. Висновки по розділу	33
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ	35
ВИЛИВКА «ВАЖІЛЬ»	
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок	35
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка	36
2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи	39
2.4. Описання технологічного процесу виготовлення виливка	44
2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки	46
2.6 Контроль якості виливка	48
2.7. Висновки по розділу	49
3. УДОСКОНАЛЕННЯМ КОНСТРУКЦІЇ ВИЛИВКА НА ОСНОВІ	50
КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ЙОГО НАПРУЖЕНО-	
ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ	
3.1. Шляхи удосконалення технологічного процесу лиття в піщано-	50
глинисту форму	
3.2. Можливості системи параметричного проектування SolidWors та	52
модулю досліджень міцності Solidworks Simulation	
3.3. Побудова 3D-моделі виливка «Важіль»	58

	7
3.4. Розрахунки на міцність 3D-моделі вилівка «Важіль» в середовищі Solidworks Simulation	62
3.5. Розробка нової конструкції вилівка «Важіль» та дослідження його міцності в середовищі Solidworks Simulation	71
3.6. Висновки по розділу	80
ВИСНОВКИ	81
ЛІТЕРАТУРА	83
ДОДАТКИ	86

ВСТУП

Актуальність роботи. Ливарне виробництво є основною заготівельною базою машинобудування.

Литі заготовки по розмірам та конфігурації в найбільшій мірі наближаються до готової деталі.

Основним напрямком удосконалення та розвитку ливарного виробництва є розширене використання відомих і створення нових технологічних процесів, які дозволяють зменшити витрати матеріалу та енергії, знизити трудомісткість, збільшити продуктивність, покращити умови праці і усунути шкідливий вплив на оточуюче середовище та нарешті підвищити якість і ефективність виробництва.

Необхідність впровадження у виробництво найскладнішої техніки в короткий термін приводить до створення систем комп'ютерного автоматизованого проектування. Важливу роль у цих системах відіграють засоби моделювання досліджень, зокрема на міцність. Проведення комп'ютерних досліджень на міцність дозволяє виявити на стадії проектування, до виготовлення виробу, недоробки в конструкції деталей, швидко й ефективно ввести зміни в конструкцію, з найменшими витратами часу, матеріальних і енергетичних ресурсів.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в піщано-глинисту форму вилівка «Важіль» зі зменшенням металоємності вилівка при збереженні його міцності на основі комп'ютерного аналізу його напружено-деформованого стану.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- проведено огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення виливків із сталі методом лиття в піщано-глинисту форму;
- розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму вилівка «Важіль» ;

– виконано комп'ютерний аналіз в CAE-Модулі системи Solidworks Simulation напружено-деформованого стану виливка за умов його реальних навантажень.

– розроблено рекомендації щодо підвищення міцності та зменшення металоємності виливка за рахунок використання у його конструкції ребер жорсткості;

Об'єкт дослідження – технологічний процес лиття сталевих виливків в піщано-глинисту форму.

Предмет дослідження – дослідження впливу конструкції виливка на його міцність.

Практичне значення – розроблені рекомендації дозволили зменшити металоємність виливка при забезпеченні необхідної міцності.

Особистий внесок – розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Важіль». Досліджено вплив експлуатаційних навантажень на запас міцності виливка. Розроблено нову конструкцію виливка, в якій найбільш навантажені місця зміцнено ребрами жорсткості, а найменш навантажені виконано тоншими. При цьому п'ятикратний запас міцності виливка зріс від 1,44 до 1,56, а масу вдалось зменшити на 242 грами, або 11,5 %.

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.

Вибір місця для ливарного цеху вимагає комплексного підходу, враховуючи доступ до інфраструктури, транспортні шляхи, наявність ресурсів та екологічні фактори.

Північно-західна околиця міста пропонує оптимальне рішення. Цей район знаходиться достатньо далеко від житлових районів, має розвинену транспортну інфраструктуру (автомобільні та залізничні шляхи), а також забезпечений водою, електроенергією та газом.

Забезпечення ресурсами. Шихтові матеріали планується постачати як залізницею (Одеська залізниця), так і автомобільним транспортом (Криворізький басейн). Формувальні матеріали будуть надходити залізницею з Дніпровського, Черкаського, Миколаївського та інших кар'єрів. Технічна вода буде братися з водоочисних споруд, що використовують воду з місцевих річок. Питна вода може надходити водогоном Дніпро-Кропивницький або бути отримана зі свердловини.

Опалення забезпечуватиметься системою теплопостачання від котельної.

Режим роботи ливарного цеху залежить від типу литва, обсягу виробництва та технологічних особливостей.

Виробництво. Цех спеціалізується на виготовленні дрібних та середніх виливків із сталі методом лиття в піщано-глинисту форму. Виробництво буде використовувати автоматичні формувальні лінії.

Продукція. Виливки будуть використовуватись в якості заготовок для деталей машин та механізмів різноманітної сільськогосподарської техніки (кришки, втулки, муфти, ступиці, важелі, корпуси тощо).

Виробнича програма. Виробнича програма цеху включає річну кількість виливків для основної продукції заводу, запасних частин та внутрішніх потреб (ремонтне литво).

Режим роботи. Враховуючи всі фактори, було обрано паралельний трьохзмінний режим роботи цеху. Перша зміна: плавка металу, виготовлення форм, заливка форм. Друга зміна: продовження плавки, виготовлення форм, заливка, вибивка. Третя зміна: вибивка, ремонт плавильних печей, підготовка до наступних плавок, вибивка форм, обрубка та фінішна обробка виливків, регенерація формувальних матеріалів.

Такий режим роботи дозволяє ефективно використовувати обладнання та забезпечувати безперервний виробничий процес.

1.2. Плавильне відділення.

1.2.1. Характеристика сплаву що виплавляється.

Згідно з завданням на випуск кваліфікаційну роботу розглянемо сталь марки 35Л ДСТУ 8781:2018. Ливарна сталь – це залізовуглецевий сплав із містом вуглецю до 2,14 %, який розплавляють в плавильній печі і заливають в рідкому стані у ливарні форми при виробництві виливків. Ливарна сталь відрізняється процесом розплавлення на відміну від інших способів отримання сталі, наприклад, у твердому стані на вуглецюванням сиродутного, кричного, пудлінгового заліза, або виготовленим спіканням металічних порошків. Ливарна сталь випускається марок 20Л, 30Л, тощо - не легована; 45ГЛ, 40ХН2Л, 50ХГЛ – низьколегована; 20ХГМФЛ, 14Х18Н4Г4Л, 12Х25Н5ТМФЛ – високолегована сталь. Ливарна сталь має високі механічні властивості, добрі експлуатаційні властивості (жароміцність, вогнетривкість, корозійну стійкість, тощо), добре обробляється механічно, має високу зносостійкість, витримує циклічні навантаження, добре загартовується, але має дещо гірші ливарні властивості у порівнянні із чавунами - гіршу рідинотекучість, більшу усадку, вищу температуру плавлення і заливки.

Хімічний склад, механічні та ливарні властивості сплаву приведено у табл. 1.1, 1.2, 1.3.

Таблиця 1.1

Хімічні властивості сплаву Сталь 35Л

Марка сплаву	Вміст хімічних компонентів у сплаві, %				
	C	Si	Mn	S	P
Сталь 35Л	0,32 - 0,4	0,2 – 0,52	0,45 – 0,9	□ 0,045	□ 0,04

Таблиця 1.2

Механічні властивості сплаву сталь 35Л [5]

Вид термо- обробки	Межа текучості σ_T , МПа	Тимчасовий опір при розтягненні σ_B , МПа	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість КСУ, кДж/м ²	Твердість, НВ
Нормалізація	275	491	15	25	343	143...196
Гартування	343	540	16	20	294	155...205

Таблиця 1.3

Ливарні властивості сплаву сталь 35Л [6]

Температура плавлення t, °C	Показник тріщино- стійкості $K_{T,y}$	Схильність до утворення усадкових раковин $K_{y,p}$	Рідинотеку чістсть $K_{p,t}$	Ливарна усадка, %	Схильність до утворення усадкової пористості $K_{y,p}$
1480 – 1495	0,8	1,2	1,0	2,2 – 2,3	1,0

У сталі 35Л весь вуглець перебуває у розчиненому стані. Металева основа сталі складається із фериту та перліту [7]. Структура перлітно-феритної сталі містить – П + Ф. Злам сталі має сріблясто-сірий колір. Сталь 35Л використовується для виготовлення відливків типу станин прокатних станів, зубчастих коліс, тяг, діафрагм, катків, валів, кронштейнів, тощо, які працюють під дією середніх статичних та динамічних навантажень. Механічні властивості сталі залежать головним чином від вмісту вуглецю та кремнію, також впливають марганець сірка і фосфор.

Вуглець сприяє утворенню перліту, і у поєднанні з різними режимами термообробки в найбільшій мірі впливає на механічні властивості сталі.

Кремній, у тих межах, що він знаходиться у сталі весь розчиняється у рідкому та твердому металі не створює нових фаз.

Сірка сприяє утворенню гарячих тріщин, знижує механічні і ливарні властивості. Також сірка подрібнює евтектичне зерно, збільшує переохолодження сплаву.

Фосфор знижує ударну в'язкість та холодостійкість.

1.2.2. Розрахунок балансу металу

Оскільки дані щодо річної продуктивності цеху відсутні, розраховуємо загальну масу металевої завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатних виливків, т:

$$M = \frac{100 \cdot (\Pi + Л + Б)}{100 - c - y}, \quad (1.1)$$

де $\Pi, Л, Б$ – відповідно придатне литво, ливники та брак, т;

c – зливи та сплески, %;

y – угар та безповоротні втрати, %.

$$M = \frac{100 \cdot (1 + 0,53 + 0,05)}{100 - 3 - 6} = 1,73 \text{ т}$$

Таким чином, для отримання 1 т придатних виливків необхідно 1,73 т металозавалки.

Відносний вміст придатного литва в металозавалці визначаємо за формулою:

$$n = \frac{\Pi}{M} \cdot 100 \quad (1.2)$$

$$n = \frac{1}{1,73} \cdot 100 = 57,78 \%$$

Відносний вміст ливників в металозавалці визначаємо за формулою:

$$л = \frac{Л}{M} \cdot 100 \quad (1.3)$$

$$л = \frac{0,55}{1,73} \cdot 100 = 30,33 \%$$

Відносний вміст браку в металозавалці визначаємо за формулою:

$$б = \frac{Б}{M} \cdot 100 \quad (1.4)$$

$$б = \frac{0,05}{1,73} \cdot 100 = 2,89 \%$$

Угар, безповоротні втрати та зливи і сплески для сталі 35Л розраховуємо за формулами, т:

$$У = \frac{у}{100} \cdot M; \quad (1.5)$$

$$C = \frac{с}{100} \cdot M. \quad (1.6)$$

$$У = \frac{6}{100} \cdot 1,73 = 0,1 \text{ т}$$

$$C = \frac{3}{100} \cdot 1,73 = 0,05 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу, т:

$$Q_p = M - У; \quad (1.7)$$

$$Q_p = 1,73 - 0,10 = 1,63 \text{ т}$$

Баланс металу сплаву Сталь 35Л зводимо до табл. 1.4.

Баланс металу сплаву Сталь 35Л

№ п/п	Компоненти	ВЧ 450-10	
		%	т
1	Придатне литво	57,78	1,00
2	Ливники	30,33	0,53
3	Брак	2,89	0,05
4	Угар та безповоротні втрати	6,00	0,10
5	Зливи та сплески	3,00	0,05
Всього		100	1,73

1.2.3. Вибір плавильного обладнання

Для плавки сталі 35Л призначеної для отримання фасонних відливків в якості плавильного агрегату використовуються дугові плавильні електропечі з афективними системами очищення відхідних газів [4]. Стиль 35Л відноситься до середньо вуглецевих нелегованих сталей звичайних марок. Тому, з економічних міркувань доцільніше використовувати кислу футерівку. Використовувана при цьому шихта за сіркою і фосфором повинна відповідати технічним умовам, адже десульфурація і дефосфорація в кислих печах не проводиться.

Для плавки, перегріву металу та довідки по хімічному складу застосовуємо дугову електропіч. Ємність печі вибирається на підставі розрахункових даних програми цеху рівною 2...3 годинної потреби цеху в рідкому металі. Приймаємо дугову електропіч ємністю 12 тон моделі ДСП – 12, характеристика якої приведена в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7

Технічна характеристика дугової електропечі ДСП – 12

Параметр	Показник
Номінальна потужність трансформатора, кВт	8000
Ємність печі, т	12,0
Тривалість плавки (повний цикл), год	2,3
Продуктивність, т/год	5,2
Маса металоконструкцій печі, т	80

1.2.4. Розрахунок шихти

Розрахунок шихти методом підбору виконано згідно рекомендацій [7] і приведено в таблиці 1.8.

Угар (пригар) елементів при плавці у електродуговій печі складає: С = - 10 %, Si = +10 %, Mn = - 20%. Масову долю елемента в шихті, крім вуглецю та сірки під час плавлення визначаємо за виразом:

$$K_{iu} = K_{ip} \cdot \frac{B}{100 \pm \Delta K_i} \quad (1.14)$$

де K_{ip} - масова доля в % елемента у розплавленому металі, що відповідає вмісту елемента у відливках;

B - вихід рідкого металу в % від маси металозавалки;

ΔK_i - угар або пригар елемента.

Мінімальна та максимальна масова доля Si:

$$K_{min Si} = 0,2 \cdot \frac{98}{100 + 5} = 0,186 \%$$

$$K_{max Si} = 0,52 \cdot \frac{98}{100 + 5} = 0,485 \%$$

Мінімальна та максимальна масова доля Mn:

$$K_{\min Mn} = 0,45 \cdot \frac{98}{100-20} = 0,55 \%$$

$$K_{\max Mn} = 0,9 \cdot \frac{98}{100-20} = 1,1 \%$$

Необхідна масова доля вуглецю у шихті визначається за таким виразом:

$$K_{\min C} = 0,32 \cdot \frac{98}{100-10} = 0,35 \%$$

$$K_{\max C} = 0,4 \cdot \frac{98}{100-10} = 0,44 \%$$

Масова доля сірки і фосфору розраховується за вмістом відповідних компонентів в шихті з урахуванням їх кількості.

Баланс металу на 1т придатних відливків зводимо до таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 - Баланс металу сталі 35Л на 1т придатних відливків

Компоненти	%	т
Придатна частина		
Лом сталевий ст. 5	5,8	0,101
Лом сталевий сталь 35	57,78	1,000
Феросиліцій	0,0	0,000
Феромарганець	0,2	0,003
Відходи власного виробництва	36,22	0,627
Всього по придатній частині	100,00	1,731
Витратна частина		
Ливники	30,33	0,525
Брак	2,89	0,050
Зливи і сплески	3	0,052
Всього відходів	36,22	0,627

Угар і безповоротні втрати	6	0,104
Придатне литво	57,78	1,000
Всього по витратній частині	100,00	1,731

1.2.5. Устрій і робота плавильного відділення

Плавильне відділення розташоване з торцевої сторони ливарного цеху. Шихтові матеріали, які поступають на склад по залізниці, розвантажуються на спеціальний майданчик вздовж колії. Металева шихта з відкритих вагонів розвантажуються мостовим краном з магнітною шайбою. Зберігається шихта в закромах, які заглиблені відносно пола складу на 4 м. Доставка металевої шихти до місця її зберігання для подальшого завантаження в плавильні печі робиться також за допомогою мостового магнітного крана. Флюси завантажуються мостовим грейферним краном в спеціальні ємності.

Біля плавильних печей розташовано бункери для шихтових матеріалів і флюсів. Металева шихта із бункерів поступає в вагові дозатори (печі оснащено установкою для зважування шихти).

Завантаження печей металозавалкою здійснюється мостовим краном вантажопідйомністю $Q = 15$ т, оснащеного магнітною шайбою. Для обслуговування печей, транспортування рідкого металу від них до заливальної ділянки застосовується мостовий кран $Q = 15$ т.

Вогнетривка футерівка виконується вогнетривкою цеглою на розчині, шамотна футерівка має 25...30 % вогнетривкої глини і 70...75 % молотого шамоту або кварцового піску. Подину набивають формувальною сумішшю. Після ремонту футерівку сушать. Діляниця ремонту печей та ковшів розташовується безпосередньо біля плавильного відділення так, щоб був доступ до вогнетривких та футерувальних матеріалів.

1.2.6. Вибір ковшів.

Для транспортування рідкого металу від плавильних агрегатів використовуються кранові стопорні ковші місткістю 1000 кг згідно рекомендацій [4]. Приймаємо 10 ковшів з урахуванням запасних і тих, що знаходяться в ремонті. Дані про вибрані ковші приведені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10

Ковшове господарство цеху

Тип ковша	Місткість, кг	Кількість
Крановий стопорний ківш	1000	10

1.3. Формувально-заливно-вибивне відділення

В цьому відділенні виконують технологічні і організаційно зв'язані між собою операції формовки, збирання і заливки форм, охолодження і вибивки виливків.

При виробництві відливків використовується автоматична формувальна лінія моделі ІЛ 225 [9], технічна характеристика якої приведена в таблиці 1.12.

Комплексна автоматична лінія формування й вибивання на базі прохідних однопозиційних пневматичних важільних пресових автоматів модель ІЛ 225, яка виробляється Івано-Франківським заводом "Автолитмаш", показано на рис.1.1. Ця лінія, а також 19 її модифікацій призначені для виготовлення відливок із сталі й чавуну в одноразових формах.

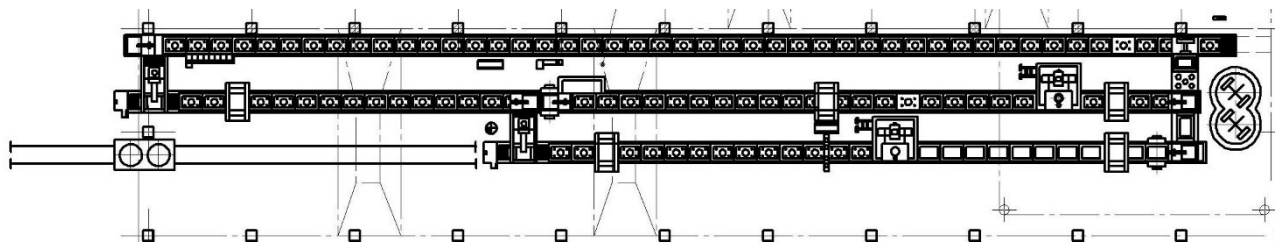


Рисунок 1.1 - Автоматична формувальна лінія моделі ІЛ 225

Лінія складається (рис. 1.1) з формівних пресових автоматів 1, 2 для нижніх і верхніх півформ, механізму свердління вентиляційних отворів 3, кантувача нижніх півформ 4, механізму зрізання зайвої суміші 5, кантувача на 360° верхніх півформ 6, складальника форми 7, укладача форм на підпочні плити 8, механізму піднімання підпочних плит 9, механізму скріплення форм роликами 10, роликового приводного конвеєра 11, механізму опускання підпочних плит 12, механізму видавлювання форм 13, інерційної вибивної решітки 14, штовхачів, розміщених над роликовими конвеєрами 15, розпаровника порожніх опок 16, кантувача порожніх опок 17 і механізму зачищення опок 18.

Форми виготовляють методом верхнього пресування на пневматичних важільних формівних автоматах. Рівномірність густини суміші досягається тим, що для пресування застосовується багатоплунжерна головка і вібрація суміші під час пресування. Роликові конвеєри, які з'єднують агрегати лінії, є нагромаджувачами. Швидкість, яку забезпечують роликові конвеєри, в 4,5 рази перевищує технологічно необхідну, тому оброблені предмети (опоки, півформи, форми) швидко передаються до нового агрегату, що забезпечує безперебійну роботу агрегатів.

Таблиця 1.12

Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІІ 225

Назва характеристики	Числове значення
Розміри опок /внутрішні/, мм	900 × 600 × 125-250
Продуктивність, форм/год	240
Маса відливки, кг	60
Кількість опок	100
Виграти повітря, м /год	110
Потужність, кВт	115
Маса, кг	220000
Габаритні розміри, мм	65200 × 9300 × 6855

Роликові конвеєри складаються з окремих уніфікованих секцій довжиною 4,5 і 6 м. Електропривод роликових конвеєрів складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора і фрикційної муфти. На кожному валу на шпонках встановлено фрикційні диски, між якими за допомогою тарілчастих пружин затиснено приводні зірочки, що захищає привод від поломок.

1.4. Стержневе відділення

Проектування стержневого відділення полягає в підборі технологічного процесу виготовлення стержнів і розрахунку потрібної кількості стержневих машин, сушильних агрегатів та іншого обладнання для виконання заданої програми цеху.

Оскільки за номенклатурою стержнів їх маса не перевищує 10 кг, приймаємо універсальний автомат для виготовлення стержнів моделі 4509С. Стержні виготовляються у гарячих ящиках з швидко твердіючих термореактивних сумішей, це дає можливість підвищити точність стержня, а відповідно і точність відливків. Зменшення ливарних припусків дозволяє зменшити витрати на механічну обробку. Крім того, зникає необхідність у виготовленні каркасів, в громіздких (що займають великі площі) сушильних агрегатах, зростає продуктивність одиниці площі [8]. Технічна характеристика автомату приведена в табл. 1.14 .

Таблиця 1.14

Технічна характеристика піскострільного автомату моделі 4509С

Назва характеристики	Величина
Найбільша маса стержня, кг	10
Продуктивність, зйомів/год.	70...94
Розміри стержневого ящика, мм	800×630×450
Тривалість циклу, с	95
Ємність робочого резервуара, л	25
Потужність електродвигуна, кВт	140
Габарити, мм	3600×2600×3000
Маса, кг	13000

1.4.1. Устрій і робота стержневого відділення

Стержнева суміш до стержневих автоматів моделі 4509С із сумішеприготувального відділення за допомогою стрічкового конвеєра передається безпосередньо в бункери для роздачі, що розташовані над стержневими автоматами. На території дільниці є спеціальне місце, на якому зберігають стелажі з готовими стержнями.

Технологічний процес виготовлення стержнів по гарячій оснастці полягає в тому, що стержнева суміш, яка заповнює порожнину попередньо нагрітого стержневого ящика, на протязі 15 - 60 с твердіє. Отриманий стержень не потребує додаткової сушки, а його міцність достатня для транспортування і простановки в форму. Головна особливість технологічного процесу виготовлення стержнів по гарячій оснастці полягає в тому, що отримані стержні володіють високою міцністю.

На позиції 1 здійснюється прижим стержневого ящика нагрітого до 180 - 270°C до пісcomетної голівки і заповнення його сумішшю. Позиція 2 передбачена вільною для переналагодження автомата і заміни стержневих ящиків. На 3 - 4 позиціях стержні затвердівають в ящиках, які знаходяться в нагрівасмій печі. На позиції 8 виконується розкриття стержневого ящика, видалення готового стержня і обдув внутрішньої порожнини ящика стиснутим повітрям.

Для очищення робочої поверхні ящика і покриття її роздільним складом машина має рухомі форсунки, які при русі уперед обдувають стиснення повітрям робочу поверхню розкритого ящика, а при русі назад – покривають її роздільним складом.

1.5. Сумішеприготувальне відділення

Для проектування сумішеприготувального відділення необхідно визначити потреби формівного і стержневого відділення у відповідних сумішах.

Загальнорічні витрати формівних сумішей у масовому, крупносерійному виробництві визначають, виходячи з розмірів і кількості виготовлюваних форм

для всієї номенклатури виливків, виключаючи об'єм, зайнятий виливком з ливниковою системою і стержнями.

Витрати стержневих сумішей визначають за технологічною відомістю необхідних стержнів на програму, поділяючи за видами сумішей.

1.5.1. Вибір формувальної та стержневої суміші

Формувальні суміші розрізняють:

- за призначенням – для виливків з чавуну, сталі, кольорових сплавів;
- по застосуванню при формовці – єдина, облицювальна, наповнююча;
- в залежності від стану форми перед заливкою в них сплав – для сирих, сухих, підсушених і хімічно-твердіючих форм.

Для виготовлення ливарних форм на автоматичній лінії вибираємо єдину формувальну піщано-глинисту суміш, характеристика якої наведена в табл.1.8.

Таблиця 1.8 – Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Значення параметру
Зворотня суміш, %	96
Пісок кварцевий КО2, КО16, %	3
Вугілля гранульоване, %	0,15
Бентоніт, %	0,15
Вода, %	до вологості 3,0 - 4,0
Вміст глиняної складової, %	11
Вміст активного бентоніту, %	8
Втрати при прожарюванні %	3
Вологість, %	3,5
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,12 - 0,15
Газопроникність, одиниць	80
Плинність (по Орлову), одиниць	80

До стержневих сумішей висувають більш високі вимоги, ніж до формувальних по міцності, податливості, газопроникності і вогнетривкості. Готують стержневі суміші в основному зі свіжих формувальних матеріалів і тільки іноді з використанням невеликої кількості оборотної суміші.

Для виготовлення стержнів на машині 4509С використовуємо стержневу суміш, склад і властивості якої наведено в табл.1.9

Таблиця 1.9 – Склад і властивості стержневої суміші призначеної для виготовлення стержнів по ХТС процесу.

Склад стержневої суміші і фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Значення параметра
Пісок кварцевий, %	95,24
Смола СФ, %	3,54
Каталізатори М1, %	0,7
Гас, %	0,52
Керосин освітлювальний, %	0,62
Газопроникність, одиниць	80
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,005 - 0,01
Вологість, %	1,8-2,8

1.5.2. Вибір обладнання для приготування формувальної і стержневої суміші

Для приготування формувальної суміші вибираємо змішувач ливарний типу бігунів періодичної дії з вертикальними котками моделі 15104 [10]. Технічна характеристика бігунів наведена у табл. 1.16.

Таблиця 1.16

Технічна характеристика змішувача моделі 15104

Назва характеристики	Величина
Об'єм замісу, т	2,0
Продуктивність, м ³ /год	40...60
Розміри чаші, м – висота × внутрішній діаметр	1130 × 2540 ± 13,5
Кількість котків, шт	2
Частота обертання вертикального вала, об/хв	29±3
Продуктивність витяжної вентиляції, м ³ /год	6000
Габаритні розміри, мм:	3850×3150×3250
Маса змішувача, кг	11000

Для приготування стержневої суміші приймаємо змішувач ливарний типу бігунів моделі 15101, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.19.

Таблиця 1.11 – Технічна характеристика бігунів моделі 15101

Назва характеристики	Величина
Місткість замісу, м ³	0,3
Час перемішування, хв	15
Продуктивність, м ³ /год	1,5
Потужність, кВт	15
Габарити, мм	2000×1865×2895
Маса, кг	4000

1.5.3 Устрій і робота сумішоприготувального відділення.

Сумішоприготувальне відділення розташоване біля формувальної і стержневої діляниць. Змішувачі обладнують бункерами для сипучих і рідких

компонентів. Матеріали подаються за допомогою стрічкового конвеєра. Відпрацьована суміш з-під вибивної решітки автоматичної формувальної лінії поступає на конвеєр, на якому збирається просип з формувальних машин, просіюється на барабанному решеті, підлягає електромагнітній сепарації і після цього охолодженою до $T = 38 - 40$ °С і зволоженою поступає у змішувач для приготування формувальних сумішей.

Стержнева суміш складається з сухого кварцового піску, термореактивного зв'язуючого матеріалу, каталізатора і незначної кількості інших добавок, які покращують технологічні властивості суміші. В якості зв'язуючого матеріалу застосовують карбамідно-фуранові смоли, які представляють собою продукт з'єднання карбамідної смоли з різною кількістю фурилового спирту.

Каталізатор – розчин мінеральних чи органічних кислот і солей – значно прискорює затвердіння суміші при нагріванні.

В якості добавок застосовують окис заліза, графіт, стеарат кальцію і рідке скло. Окис заліза підвищує теплопровідність суміші, графіт сріблястий виконує роль вогнетривкого наповнювача, інші добавки – зменшують припасність і підвищують текучість суміші.

1.6. Очисне відділення

В числі витрат праці по виготовленню відливків очисні операції складають до 40%, причому в очисних відділеннях застосовується найбільша кількість ручної праці.

У очисному відділенні виконуються операції щодо видалення стержнів з відливків, обрізання ливниково-живильної системи, зачистки, обрубки.

У відділенні повинні бути робочі місця для остаточного контролю, комплектування і вивозу відливків. Для очистки та охолодження відливків із сталі 35Л приймаємо галтовочний барабан безперервної дії моделі ОБ-90 [4]. Технічна характеристика барабана наведена у табл. 1.21.

Таблиця 1.21

Технічна характеристика галтовочного барабана моделі ОБ-90

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, т/год	3,5
Об'єм завантаження, м ³	1,8
Габаритні розміри, мм	3500×1650×1500
Маса, т	3,9
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Також для очистки відливоч застосовуємо дробометну камеру моделі 86414, Технічна характеристика дробометної камери наведена в таблиці 1.22.

Таблиця 1.22

Технічна характеристика дробометної камери

Продуктивність камери, т/год	10
Максимальна вага відливок	12
Дробометний апарат	
Число обертів за хвилину	2500
Діаметр дробу, мм	1,5 : 2,0
Електродвигун А02-62-4	
Потужність, кВт	17
Число обертів за хвилину	1450
Ремінна передача, 5-ти струмкова	i = 175
Елеватор	
Швидкість руху стрічки, м/хв.	75,8
Виробництво, т/год	24,0
Крок ковшів, мм	300
Об'єм ковша, м ³	0,003

Стрічка:	
Ширина, мм	160
Довжина, мм	15000
Електродвигун А02-21-4	
Потужність, кВт	2,8
Кількість обертів за хвилину	1440
Редуктор РМ-250	$i = 23,34$
Сито просіву дробу	
Кількість обертань барабану сита за хвилину	30
Електродвигун А02-21-4	
Потужність, кВт	1,1
Кількість обертань за хвилину	1400
Редуктор РМ250	$i = 31,5$
Шаг шнека, мм	250
Конвеєр підвісний цепний	
Швидкість конвеєра, м/хв.	1
Розгорнута довжина траси, м	199,5
Шаг підвісок, мм	800
Кількість підвісок	249
Електродвигун А02-32-4	
Потужність, кВт	3
Кількість обертань за хвилину	1430
Редуктор РМ350	$i = 31,5$

Для відрізання ливниково-живильної системи від відливків приймаємо відрізні верстати з дисковими пилами моделі 3Е184В [10]. Технічна характеристика наведена в табл. 1.23.

Таблиця 1.23

Технічна характеристика відрізних верстатів з дисковими
пилами для відрізання ливників мод. 3E184B

Назва характеристики	Величина
Діаметр диска, мм	400
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя, об/хв	1955 - 3425
Габаритні розміри, мм	1640x1580x1700
Потужність електродвигуна, кВт	6,6

Для подальшої зачистки відливків приймаємо зачисні станки моделі 3М363 [10]. Технічна характеристика наведена в табл. 1.24.

Таблиця 1.24

Технічна характеристика зачисного станка моделі 3М363

Назва характеристики	Величина
Зернистість	80 - 125
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя, об/хв	955 - 1425
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

1.7. Грунтування відливків

У масовому та крупносерійному виробництві грунтовка виконується на конвеєрі, який об'єднує всі фарбувально-сушильні агрегати.

Для транспортування дрібних відливок до 10 кг рекомендуються набірні касети на 2 - 8 відливок або корзини.

Таблиця 1.25

Технічна характеристика миючої машини

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, кг/хв	70
Тривалість промивки відливків ,хв	10
Температура миючої рідини, °С	90
Габаритні розміри відливків, мм	425×315×250
Ємність ванни, м ³	3,3
Швидкість руху відливків через камеру, м/хв	0,65
Потужність електродвигуна, кВт	11,4

Таблиця 1.26

Технічна характеристика прохідної фарбувальної камери

Назва харектеристики	Величина
Розмір фарбованих відливок, мм Довжина × ширина × висота	370×360×250
Кількість відсмоктувального повітря, Нм ³ /год	8000
Потужність, кВт	4,7
Загальна вага, кг	897

Таблиця 1.27

Технічна характеристика сушильної прохідної камери

Назва харектеристики	Величина
Максимальний розмір відливків, мм довжина × ширина × висота	2700×800×500
Температура сушки, °С	90
Продуктивність камери, кВт	10,2
Загальна вага, кг	20760

1.8. Склади і допоміжні відділення ливарного цеху

В ливарних цехах використовують велику кількість різноманітних матеріалів для виготовлення форм і отримання рідкого металу. Проектними завданнями для цих цехів передбачено, що необхідний для безперервної роботи запас матеріалів зберігається на складах цеха, які розміщуються в прольотах, що примикають до плавильного і сумішоприготувального відділень. Крім того, в ливарних цехах проектують склади ливарної і стержневої оснастки, стержнів і виливків. В ливарних цехах повинні бути передбачені комори і лабораторії і цілий ряд допоміжних дільниць: ремонту обладнання, ремонту модельного оснащення, ковшова, дільниця ремонту електричного устаткування, дільниця підготовки шихти, дільниця регенерації відпрацьованих сумішей і т.д.

До допоміжних відділень ливарного цеху відносяться:

- 1) ковшове відділення, де проводиться поточний ремонт ковшів, а також підготовка їх до роботи;
- 2) модельно-ремонтна майстерня, яка забезпечує нормальне функціонування модельного оснащення;
- 3) цехові комори, в яких зберігаються різного виду допоміжні матеріали, інструменти;
- 4) цехові лабораторії: земельна, хімічна та ін.;
- 5) ремонтно-механічна майстерня, яка виконує поточний і середній ремонт обладнання цеху;
- 6) санітарно-технічна майстерня, в якій виконується поточний та середній ремонт, а також підтримується нормальне функціонування водопроводів, каналізації, опалення і вентиляції цеху;
- 7) електромагнітна майстерня, яка виконує поточний і середній ремонт, а також забезпечує нормальне функціонування електрообладнання і освітлення цеху;
- 8) дільниця регенерації суміші.

Для дільниці регенерації суміші розраховуємо барабанні решета і електромагнітні сепаратори. Приймаємо барабанні решета моделі 176М, характеристика яких наведена в табл. 1.28.

Таблиця 1.28

Технічна характеристика барабанного решета моделі 176М

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, м ³ /год	30
Частота обертання, об/хв	23
Потужність, кВт	5,5
Маса, кг	1730
Габарити, мм	3700×1860×1700

1.9. Висновки по розділу

1. Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
2. Описано роботу плавильного, формувально заливно вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, дільниць обрубки виливків, дільниці ґрунтування виливків, складів шихтових матеріалів, модельного оснащення та готової продукції, відділу технічного контролю та лабораторії, адміністративних та побутових приміщень.
3. Для плавки металу було обрано електродугову сталеплавильну піч моделі ДСП-12 з килою футеровкою ємністю 12 т. Описано будову плавильної печі, наведено її технічні характеристики.
4. Для виготовлення форм обрано автоматичну ливарну лінію ІЛ225 Івано-Франківського заводу "Авто-литмаш". Описано будову лінії та її технічні характеристики.
5. Для виготовлення стержнів обрано стержневий автомат 4509С. Описано будову стержневого автомата та його технічні характеристики.

6. Для приготування формувальної і стержневої сумішей вибрано обладнання змішувачі. Описано склад і властивості формувальної та стержневої суміші.

7. Для охолодження та очистки поверхні відливків застосовується галтувальний охолоджуючий барабан ОБ-90, очистка поверхні здійснюється також в дробометній камері, відрізання ливників здійснюється на відрізних верстатах з дисковими пилами, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах. Також на виробництві передбачене відділення ґрунтування виливків.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ПІЩАНО-ГЛИНИСТУ ФОРМУ ВИЛИВКА «ВАЖІЛЬ»

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок

Відливок відноситься до Х класу точності за ГОСТ 26645 – 85, виготовляється із сталі 35Л за ДСТУ 8781:2018, припускається виготовлення із сталі 20Л за ДСТУ 8781:2018 [1]. Різностінність не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекіс по роз'єму до 2 мм. Допускається: на оброблюємих поверхнях одиничні раковини 5 мм, глибиною 2 мм в кількості 5 шт.; на необроблюємих поверхнях одиничні раковини 1,5 мм, глибиною 1 мм в кількості 5 шт. на деталь; нарости не більше 1,5 мм площею не більше 6 см² в кількості 3 шт на поверхні; пригар в важкодоступних для очистки місцях; заливи по лінії роз'єму та на стику стержнів в важкодоступних місцях; дефекти, вказані вище дозволяється виправляти зварюванням з подальшою очисткою. Усадкова пористість в кутах не більше 2 мм. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь «Важіль» представляє собою частину пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів. Маса деталі 2,1 кг, габаритні розміри 292,3 × 84 × 50 мм, твердість 131...157 НВ.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал. Інші поверхні не оброблюються і торцеві поверхні циліндричних частин. Даний відливок є технологічним. Зовнішня поверхня відливка представляє собою прямолінійні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Деталь має два отвори. Проте, за допомогою стержня отримуємо лише один отвір. Інший отвір у відливку не проливається і отримується механічною обробкою. З'ємних частин не має, роз'єм моделі і форми один.

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

2.2.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів. Для виготовлення відливка «Важіль» застосовуємо автоматичну ливарну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш". На цій лінії весь процес отримання відливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано. Розмір опоки в світлі 900×600 мм. Висота верхньої опоки рівна висоті нижньої – 150 мм. Модельні плити односторонні, на одній плиті змонтовані частини моделі для оформлення низу форми, на іншій – для верха.

Процес формовки починається з виготовлення напівформи низу на формувальному пресі В-440М [9]. Виготовлена напівформа по рольгангам направляється на обдув стисненим повітрям для видалення частинок формувальної суміші, що потрапили у порожнину форми. Напівформа верха також виготовляється на формувальному пресі В-440М. З ділянки виготовлення стержнів готові стержні транспортуються до місця збирання напівформ. Стержні проставляються вручну у напівформі низу, потім за допомогою розпаровщика опок ІС-10-001 напівформа верха з'єднується з напівформою низу. Зібрана форма направляється по рольгангам на ділянку заливки. Заливка форми виконується автоматичним заливщиком з ковшем, ємність якого 250 кг. Перед заливкою сталь повинна бути очищений від шлаку. Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІЛ 225 наведена в таблиці 1.12.

Оскільки маса стержнів не перевищує 10 кг, то для їх виготовлення використовуємо універсальний стержньовий автомат моделі 4509 С. Технічна характеристика стержневого автомату наведена в табл. 1.14.

Стержні виготовляються у гарячих ящиках з швидкотвердючих термореактивних сумішей, що дає можливість підвищити точність стержнів, а відповідно і точність відливків.

Втрати температури сталі при випуску із плавильної печі, транспортуванні і переливі із ковша в ківш повинні бути враховані при встановленні температури заливки форм. При випуску сталі з плавильної печі втрати температури складають від 20 до 40°C, а при переливі з ковша в ківш – 30...50 °C.

Рекомендована температура заливки сталі 35Л при середній товщині стінки відливки 15 мм і з врахуванням втрат тепла складають 1550 – 1590 °C.

Під час заливки форми необхідно слідкувати за рухом розплаву з ковша у форму. У початковий момент заливки необхідно повертати ківш плавно, без ривків, однак достатньо швидко, щоб заповнити ливникову систему і чашу. Після заливки форми, відливки охолоджується і твердіє, разом з формою пересуваючись по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. За час руху у відливку закінчуються усі перетворення. Стальні відливки необхідно вибивати при температурі 200°C. Форми, що охололи, направляються на ділянку вибивки. Форма видавлюється на спеціальній установці, на якій суміш і відливка видавлюються пресом на вібраційну решітку із нерухомої форми. Опки автоматично зіштовхуються з плити ливарного конвеєра штовхачем і форма видавлюється пресом на вібраційну решітку, де руйнуються спресовані грудки суміші, які запеклися. Потім суміш поступає по лотку на транспортер.

Відливки потрапляють в барабан для остаточного відділення від суміші. Із барабанів відливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються ним у очисне відділення для очищення, обрубки і зачистки.

Перед очищенням відливки попередньо оглядаються, брак видається і не поступає на очистку.

Технологічний процес очищення відливки складається із наступних операцій:

- видалення стержнів із відливків;
- очищення відливків від прилиплої формувальної суміші;
- відділення ливників, випорів;
- остаточного контролю якості відливків після очищення і обрубки.

Відливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання відливоків здійснюється на стаціонарних обдирочнозачисних станках.

Контроль якості відливоків здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення знайдених недоліків знову контроль якості - БТК цеху. Ґрунтовка відливоків здійснюється для захисту від корозії при зберіганні на складі і в процесі механічної обробки.

Відливки перед фарбуванням промиваються в двокамерній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується ґрунтовка відливоків з зануренням у ванну і просушуванням у камері при 60 °С на протязі 10 хв. Після фарбування відливки направляються на склад готових виробів.

2.2.2. Визначення положення відливка у формі. Положення відливка у формі в період заливки вибираємо горизонтальним, так як оброблювані поверхні – посадочні місця на валу – повинні бути розташовані горизонтально, для запобігання отримання раковин, дефектів із-за забруднення, рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає горизонтальне положення і являється єдиною для даного відливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що відливок знаходиться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

2.2.3. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків. Розміри відливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для сталі 35Л вибираємо по ГОСТ 26645-85. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією (лист МР-131.24.15.02.01.00) і вказується величина припуску, яка по ГОСТ 26645-85 для даної деталі складає 3 мм для отвору і 4мм для торцевих поверхонь [4].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для сталі 35Лі вибираємо з [2].

Для середніх відливків вільна усадка рівна 2 %. Величну радіуса заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного відливка радіус заокруглень складає 5 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [3].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі (лист МР-131.24.15.02.01.00), не вказані радіуси вказуємо в технічних вимогах на відливки.

Формівні ухили призначаємо в залежності від ливарних розмірів відливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ГОСТ 3212-57. Величини мінімальних формівних ухилів вибираємо із [4]. Для даного відливка, величина ухилу складає 3° . Величини ухилів вказуємо на кресленні, не вказані ухили вказуємо в технічних вимогах на відливки.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку (лист МР-131.24.15.02.01.00). Розміри стержневих знаків вибираємо у відповідності з ГОСТ 3606-57 із [3]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо горизонтальні знаки стержнів довжиною 25 мм [4].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [4]. Для горизонтального знака бокові зазори рівні 0,25 мм, торцевий зазор 0,15 мм.

2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи

2.3.1. Визначення габаритних розмірів опоки. Габарити опок визначаються габаритами відливка, числом відливків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт

металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів відливка і знаходиться у межах 0,25...1,2.

Відстань між окремими моделями дорівнює $(0,3...0,5) \cdot h$, де h – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формовці в одній опоці декількох відливків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути $\leq 20...25$ мм [4]. Відстань від тіла відливка до стінок опок складає 50...100 мм, від стержньового знаку до бокової стінки опоки 0...50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна 60...120 мм [4]. Враховуючи, що для виготовлення відливка застосовуємо автоматичну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш", з розмірами опоки 900×600×150 мм приймаємо кількість відливків, які отримуємо в одній опоці рівним 4 шт.

2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки. Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [1]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (2.1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 1,35$ [4];

δ – середня товщина стінок відливка, $\delta = 14$ мм;

G – маса металу, що припадає на один виливок, кг

$$G = (G_g + G_g \cdot 0,5) \cdot n, \text{ кг}, \quad (2.2)$$

де G_g – маса одного відливка, кг;

n – кількість відливків у формі, шт.

$$G = (2,1 + 2,1 \cdot 0,5) \cdot 4 = 12,6 \text{ кг}.$$

Тоді:

$$t = 1,35 \cdot \sqrt[3]{12,6 \div 4 \cdot 14} = 4,8 \text{ сек}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (2.3)$$

де C – висота відливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, сек.

$$V = \frac{125}{4,8} = 26,2 \text{ мм / сек.}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [2].

2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи. Загальна площа живильників на один відливочок:

$$F_{жс} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \text{ см}^2 \quad (2.4)$$

де G – маса металу, що припадає на один відливочок, кг;

$\rho = 7,6 \text{ г/см}^3$ – густина рідкого металу;

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,49$ [1];

g – прискорення вільного падіння, см/сек^2 ;

H_p – середній метало статичний тиск, м.

Металоемність форми:

$$G = (G_{\text{с}} + G_{\text{с}} \cdot 0,5), \text{ кг},$$

де $G_{\text{с}}$ - маса одного відливка, кг;

Тоді:

$$G = (2,1 + 2,1 \cdot 0,5) = 3,15 \text{ кг}.$$

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{2c}; \quad (2.5)$$

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 15$ см;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 10$ см;

c – загальна висота відливка, $c = 12,5$ см.

$$H_p = 15 - \frac{10^2}{2 \cdot 12,5} = 11 \text{ см}$$

$$F_{\text{жс}} = \frac{3,15 \cdot 1000}{0,49 \cdot 4,8 \cdot 7,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 11}} = 1,21 \text{ см}^2$$

Так як відливки має два живильника, то:

$$F_{\text{жс}} = \frac{F_{\text{жс}}}{2} = 0,605 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію (лист МР-131.24.15.02.01.00).

Уточнюємо площу перерізу живильника з урахуванням прийнятих розмірів:

$$F_{\text{жс}} = \frac{(a+b)}{2} h = \frac{(1+1,2)}{2} \cdot 0,55 = 0,605 \text{ см}^2$$

Тоді:

$$\sum F_{жс} = F_{жс} \cdot n = 0,605 \cdot 8 = 4,84 \text{ см}^2$$

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{ш} : \sum F_{ст} = 1 : 1,15 : 1,2 \quad (2.6)$$

$$\sum F_{ш} = \sum F_{жс} \cdot 1,15 = 4,84 \cdot 1,15 = 5,55 \text{ см}^2$$

Так як форма має два шлаковловлювачі, то:

$$F_{ш} = \frac{\sum F_{ш}}{2} = 2,78 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу шлаковловлювача трапецію (лист МР-131.24.15.02.01.00).

Уточнюємо площу перерізу живильника з урахуванням прийнятих розмірів:

$$F_{ш} = \frac{(a+b)}{2} h = \frac{(1,1+1,4)}{2} \cdot 2,3 = 2,88 \text{ см}^2$$

Тоді:

$$\sum F_{жс} = F_{жс} \cdot n = 2,88 \cdot 2 = 5,76 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{ст} = \sum F_{жс} \cdot 1,2 \quad (2.7)$$

$$F_{ст} = 4,84 \cdot 1,2 = 5,81 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{cm} = \frac{\pi \cdot d_{cm}^2}{4} \quad (2.8)$$

Діаметр стояка:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cm}}{\pi}} \quad (2.9)$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,81}{3,14}} = 2,72 \text{ см}$$

Приймаємо $d = 28$ мм.

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 30$ мм.

Визначимо діаметр чаші для одного відливка:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm.в} \quad (2.10)$$

$$D = 2,7 \dots 3 \cdot 30 = 81 \dots 90 \text{ мм}$$

Діаметр підживлювача визначаємо за формулою:

$$D_{підж} = (0,4 \dots 0,5) \cdot \sqrt{V_y} + \delta \quad (2.11)$$

$$D_{підж} = 0,4 \cdot \sqrt{56,25} + 2 = 5 \text{ см},$$

де V_y – об'єм усадкової раковини термічного вузла, см^3 .

Приймаємо висоту підживлювача рівною 10 см.

Оскільки у виливку є два термічні вузли приблизно однакового розміру, то, відповідно, використовуємо два підживлювача на кожен відливочок.

2.4. Описання технологічного процесу виготовлення відливка

2.4.1. Формовка. Основну частину форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції –

ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші. Процес виготовлення форм в перших опоках іде таким шляхом:

Формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною. Порожні опоки подаються за допомогою рольгангів. Нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах. Потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера. Далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми. Потім напівформи транспортують на збирання.

2.4.2. Збирання форм. Точність збирання в значній мірі визначає точність геометричних розмірів відливка. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції:

- 1) збирання форми;
- 2) спарювання верхньої та нижньої опок.

2.4.3. Заливка форм. Температура сталі при заливці повинна бути 1490 – 1550°C. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з печі потрапляє у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 1т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

Для заливки металу використовують ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша. Підводимо ківш і встановлюємо носок ковша над ливниковою чашею на відстані 150 - 200мм. При заливці швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми. Тип плавильного агрегату вибирають в залежності від роду металу, а також вимог, які висуваються до якості відливка.

2.4.4. Вибивка і обрубка. Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Коливання решітки передається суміші і відливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і проходить в шпориш решітки, та поступає

на подальшу переробку. Відливки ковзають на пластинчатий конвеєр рухаючись по якому вони зовсім охолоджуються, подають в галтувальний барабан в якому відділяється формівна суміш, відливки очищуються та охолоджуються.

Потім відливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони позбавляються від пригару.

Далі вони поступають на дільниця контролю де проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

Потім відливки потрапляють на дільницю відрізання ливниково-живильної системи на дискових пилах. Після цієї операції відливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки

При крупно серійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і відливка, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуна марки СЧ 20. Обробляються моделі на верстатах з ЧПК, припуск на механічну обробку відливка – 3,5 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів відливка модель відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтуються на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 900×600 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової виконується гвинтами. Монтаж

моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [15].

Моделльні плити виготовляються із чавуна. Товщина плит складає 50 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюються отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори свердяться одночасно і в плиті і в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту і в останній просвердлюються отвори. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей установлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верха – моделі шлаковловлювачів. Підмоделльні плити повинні мати елементи спарювання з опоками. На одній плиті повинні бути: з однієї сторони – центруючий, з іншої – направляючий штирі. На другій плиті необхідно мати відповідно центруючий і направляючий отвори. Моделльні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів піскострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [5]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [5] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержневий ящик відливається у відповідності з розмірами і піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного

прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венті. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв.}}} = 0,1 \div 0,9, \quad (2.12)$$

де $F_{\text{вент}}$ – сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$ – сумарна площа вдувних отворів.

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв.}}$$

$$F_{\text{вд.отв.}} = \frac{\pi \cdot 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ мм}^2$$

Площа однієї венті при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм². Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

2.6. Контроль якості відливок

Відливки, що пройшли проміжний контроль на різних стадіях технологічного процесу, піддаються остаточному контролю для визначення їх відповідності вимогам стандартів і технологічних умов. Перевіряють хімічний склад сплаву, структуру, геометрію і розмір відливок, механічні властивості, встановлюють поверхневі і внутрішні дефекти.

Поверхневі дефекти відливок у вигляді тріщин, раковин, пригару визначають візуально шляхом порівняння з еталоном, не видимі поверхні дефекту визначають з допомогою магнітної і світлової дефектоскопії.

2.13. Висновки по розділу

1. Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок.
2. Описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка.
3. Розроблені технічні умови на виливок.
4. Виконано розрахунок ливниково-живильної системи.
5. Описано процес проектування ливарного оснащення.
6. Описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, приведено параметри заливки форми, вибивки, обрубки виливків.
7. Наведено параметри та способи технічного контролю якості виливків.
8. Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок (додаток МР-131.24.15.02.01.00), модельних комплектів верху (додаток МР-131.24.15.02.02.00), низу (додаток МР-131.24.15.02.03.00), стержневого ящика (додаток МР-131.24.15.02.04.00), та форми в зборі (додаток МР-131.24.15.02.05.00).

3. УДОСКОНАЛЕННЯМ КОНСТРУКЦІЇ ВИЛИВКА НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ЙОГО НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

В останній час у світі спостерігається тенденція збільшення дефіцитності і вартості залізовмісних виробів. Оскільки сталеве литво завдяки своїм відомим перевагам широко застосовуються в ливарному виробництві, дослідження, спрямовані на зменшення собівартості литва при забезпеченні необхідної якості є актуальними.

До основних переваг в найбільш поширеній в ливарному виробництві технології лиття в піщані форми відносяться:

- хороша заповнюваність розплавом вузьких порожнин піщаних форм;
- ефективна теплова робота ливарних підживлювачів для живлення виливків;
- достатня податливість піщаних форм при затвердінні відливок;
- хороша газопроникність стінок піщаних форм для відводу газів;
- простота технологічного процесу лиття в піщані форми;
- доступність вогнетривких матеріалів для отримання форм і стрижнів;
- технологічність схем регенерації відпрацьованого кварцового піску;
- економічність технології лиття в піщано-глинисті форми.

Незважаючи на широке промислове застосування технології лиття сплавів чорних і кольорових металів в разові піщано-глинисті форми, яка є відносно простою технологією отримання виливків різної маси і геометричних розмірів, конкурентоспроможність і технологічні можливості традиційного способу формування виливків високої якості в звичайних піщаних формах обмежені.

Для визначення шляхів удосконалення технології лиття необхідно проаналізувати можливість зміни параметрів, які впливають на зменшення собівартості виробництва (зменшення енерговитрат, матеріалоємності, підвищення продуктивності) та підвищення якості литва.

Ще на етапі проектування при аналізі конструкції деталі та розробці технічних вимог на виливок можна передбачити ребра жорсткості (по можливості) такої конфігурації, при якій досягається максимальна міцність при мінімальній витраті металу. Комп'ютерне моделювання процесів заливки і кристалізації металу в формі дозволяє спроектувати найменш металоємну ливниково-живильну систему, яка забезпечує отримання виливків без дефектів усадкового характеру [31]. Використання в підживлюючій частині теплоізолюючих або екзотермічних вставок дозволяє зменшити розміри підживлювача, а застосування у формі керамічних перемичок забезпечить відбивання підживлювача без виконання операції відрізання.

Дослідження залежності механічних властивостей сплаву від його хімічного складу та режимів термообробки дає можливість підібрати параметри, які забезпечують необхідну міцність сплаву при мінімальних енергетичних та матеріальних витратах.

Дослідження термодинаміки фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час плавки, позапічної обробки сплавів дозволяє спрямовувати ці процеси в необхідному напрямку: інтенсифікації «корисних» і гальмування «шкідливих» реакцій [32].

Хронометраж роботи обладнання та робітників дозволяє синхронізувати роботу плавильного і заливного відділень, мінімізувати простой обладнання та підвищити продуктивність виробництва. Для безперервного забезпечення дільниці заливки форм рідким металом необхідно передбачити у плавильному відділенні дві плавильні печі, які працюють паралельно: в одній відбувається розливка металу, в іншій – плавка. При цьому не можна допускати перетримки рідкого металу в печі, оскільки це призводить до вигорання елементів, насичення розплаву шкідливими домішками і газами.

Таким чином, заходи по удосконаленню технологічного процесу лиття в піщано-глинисту форму повинні ґрунтуватись на комплексному дослідженні всіх параметрів, які впливають на зменшення собівартості та підвищення якості литва.

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

Необхідність впровадження у виробництво найскладнішої техніки в короткий термін приводить до створення систем комп'ютерного автоматизованого проектування. Важливу роль у цих системах відіграють засоби моделювання досліджень, зокрема на міцність.

Мета наукової роботи полягає в тому, щоб використовуючи результати твердотільного моделювання виливка «Важіль» виконати дослідження на міцність та на їх основі розробити рекомендації щодо зміцнення виливка та зменшення його металоємності.

Розробка 3D-моделі виливка «Важіль» виконується в CAD-Модулі системи Solidworks.

Розрахунки на міцність здійснюється в CAE-модулі Solidworks Simulation, що є функціональним компонентом Solidworks. Такий сучасний програмний комплекс для проведення інженерних розрахунків, як Solidworks Simulation, математичну основу якого становить метод кінцевих елементів, дозволяє проведення такого роду моделювання з найменшими витратами часу та матеріальних і енергетичних ресурсів.

3.2. Можливості системи параметричного проектування SolidWors та модулю досліджень міцності Solidworks Simulation.

В техніці чітко спостерігається тенденція групування інструментів геометричного моделювання й розрахункових програм в інтегровані системи. Процес інтеграції настільки стрімкий, що на ринку залишилися лічені одиниці

розрахункових програм, які не мали б адаптованого варіанта, що функціонує як додаток якої-небудь іншої CAD-системи: AutoCad, T-Flex, КОМПАС, Solidworks.

Конструкторська система параметричного проектування Solidworks побудована по модульному принципу, який забезпечує можливість гнучкої побудови 3D моделей деталей, складальних одиниць, інтегрованого комплексу автоматизації процесів проектування, інженерного аналізу, моделювання досліджень на міцність, пластичність, аеродинаміку, технологічної підготовки виробництва.

В основі системи перебуває базовий модуль, який містить функції для проектування деталей і зборок у тривимірному просторі, створення двовірних креслень деталей і зборок по їхніх тривимірних прототипах, оформлення конструкторської документації відповідно до вимог різних систем стандартів, обміну документами з іншими конструкторськими системами, а також для розв'язання ряду інших задач.

Розглянемо основні можливості CAD-компонента Solidworks для підготовки твердотільної 3D-моделі вилівка «Важіль» до наступного аналізу в модулі Solidworks Simulation.

Solidworks представляє собою систему твердотільного параметричного моделювання. Програма містить усю необхідну номенклатуру інструментів, причому деякі можливості вкрай ефективні для розробки об'єктів, орієнтованих на наступне використання програм розрахунків. Це проектування виробів з листового матеріалу, зварені деталі, інструменти пластичного формування, інструменти ливарної форми тощо. Вони дозволяють одержати моделі, досить близькі до вимог даних інструментів.

Solidworks дозволяє створювати конфігурації об'єктів. Інтегровані модулі в абсолютній більшості адекватно обробляють цю функціональність, дозволяючи розраховувати різноманітні варіанти розрахункових моделей, а, наприклад Solidworks Simulation здатний одночасно відображати результати декількох розрахунків, виконаних у тому числі й у різних конфігураціях

Solidworks. Крім того, параметричне представлення геометрії в CAD-Системі дозволило органічно включити в Solidworks Simulation модуль параметричної оптимізації, а також інструмент сценаріїв проектування. Останні призначені для вивчення того, як впливає зміна форми, граничних умов, типів матеріалів і т.д. на властивості конструкції. В Solidworks Simulation спільним з Solidworks є база даних механічних характеристик, що описують пружні властивості, міцність, щільність, а також теплових і термодинамічних характеристик – коефіцієнт теплового розширення, теплоємність, теплопровідність тощо.

Поверхнєве представлення геометрії, а Solidworks має найбільш розвинені можливості для створення й редагування поверхонь у порівнянні із системами аналогічного рівня, активно використовується в Solidworks Simulation для створення на цій базі оболонкових розрахункових моделей.

Solidworks має найрізноманітніші можливості для створення й модифікації зборок. Розрахункові модулі, відповідно, цю функціональність враховують. При чому, відповідальність за коректну підготовку вихідних даних для досліджень моделей покладається на CAD-СистемуSolidWorks.

Solidworks Simulation – модуль який входить до Solidworks і призначений для розв'язку задач механіки деформуемого твердого тіла методом кінцевих елементів. Це програмне забезпечення призначене для розрахунків на статичну міцність і стійкість у лінійній і нелінійній постановці, досліджень на виділення власних частот, оптимізації форми деталей і складань у лінійній постановці, аналізу втоми й поведінки конструкції при падінні.

Програма використовує геометричну модель деталі або складання Solidworks для формування розрахункової моделі. Інтеграція з Solidworks дає можливість мінімізувати операції, пов'язані з специфічними особливостями кінцево-елементної апроксимації. Призначення граничних умов проводиться в прив'язці до геометричної моделі. Такі ж особливості мають і процедури представлення результатів.

Solidworks Simulation побудовано на базі методу кінцевих елементів. Відзначимо ряд особливостей його реалізації в даній програмі.

1. В Solidworks Simulation використовуються три базові типи кінцевих елементів: об'ємні ізопараметричні тетраедри, трикутні елементи оболонок і елементи балок. Два перші типи кінцевих елементів можуть мати лінійне або параболічне поле переміщень (постійну деформацію або лінійне поле деформацій). Тетраедри містять, відповідно, 4 або 10 вузлів, оболонки 3 або 6 а балки/стрижні – 2.

2. Програма допускає співіснування в одній моделі твердотільних і оболонкових кінцевих елементів, причому гібридні сітки працездатні як у лінійних, так і в нелінійних розрахункових моделях. Однак, елементи балок/стрижнів не сполучаються з якими-небудь іншими типами кінцевих елементів.

3. Контактні кінцеві елементи, принаймні, у явному виді, у програмі відсутні. На основі непрямих спостережень можна стверджувати, що врахування відповідних граничних умов здійснюється зміною глобальної матриці твердості системи. Віртуальні об'єкти типу болтів, стрижнів/шпильок, пружин реалізовані, на базі елементів балок/стрижнів.

4. Деякі інші типи кінематичних граничних умов реалізуються безпосередньою зміною матриці твердості системи (у ранніх версіях програми для цього використовувалися штрафні функції – фактично «дуже» тверді допоміжні елементи, що приводило до помилок програми).

5. У межах одного складання допускається співіснування довільних комбінацій контактних граничних умов типу входу в контакт і виходу з контакту.

6. Для розрахунків складань або багатотілих деталей у програмі реалізовані граничні умови, об'єднані в групу «З'єднання» (Connectors). Реалізація цих умов (або деяких їх різновидів) припускає такі зміни матриці твердості системи (для деяких з них нам невідомо, здійснюються вони через безпосередню її модифікацію або ж за допомогою введення допоміжних «твердих» кінцевих елементів), які фактично приводять до появи в моделі абсолютно твердого віртуального об'єкта. Як наслідок, у місці, де цей об'єкт

взаємодіє з «реальними» деталями складання (фактично, у зоні дії описаних граничних умов), можлива поява теоретично нескінченних деформацій (напруги). На практиці це виражається у відсутності збіжності розв'язку при ущільненні сітки та некоректним результатам.

7. В Solidworks Simulation є також р-адаптивний метод побудови сітки кінцевих елементів. Це значить, що в зонах з високим градієнтом енергії деформації програма збільшує порядок полінома, що апроксимує поле переміщень у кінцевому елементі. При некоректній постановці кінематичних граничних умов можлива поява особливостей (теоретично нескінченних деформацій і напруги). Застосування даної опції для таких розрахункових моделей приводить до абсурдних результатів.

8. В Solidworks Simulation є присутнім h-адаптивний метод побудови сітки кінцевих елементів. Він полягає в ущільненні сітки в зонах, де величина щільності енергії деформації відносно велика в порівнянні із середнім її значенням.

9. У рамках пружного аналізу можливе використання ортотропних матеріалів. Доступні ортогонально-ортотропні та трансверсально-ізотропні матеріали. Можливе призначення циліндричної ортотропії. Криволінійна ортотропія відсутня. Ці властивості можна призначати як для твердих тіл, так і для оболонок.

10. При оцінці міцності складань за допомогою функції Solidworks Simulation «Перевірка міцності» (Design Check Wizard) для всіх матеріалів використовується той самий тип критерію міцності. Таким чином, застосування цієї функції для аналізу складань, що містять деталі з хрупких і в'язких матеріалів, проблематично, якщо потрібно відобразити результати відразу для всіх деталей.

Solidworks Simulation дозволяє виконувати наступні види моделювання:

– статичний аналіз у пружній постановці з розрахунками окремих деталей по просторовій або оболонковій моделі, а також складань у тривимірній постановці з урахуванням взаємодії деталей;

- розрахунки власних частот і відповідних їм форм для твердотільних або оболонкових деталей, а також складань із нерухливими деталями;
- розрахунки величин критичних навантажень втрати стійкості й відповідних їм форм для твердотільних або оболонкових деталей, а також складань із нерухливими деталями;
- тепловий розрахунок з урахуванням явищ теплопровідності, конвекції, випромінювання, але без урахування руху середовищ;
- термопружний аналіз на базі результатів теплового розрахунків;
- параметрична оптимізація за критерієм мінімізації/максимізації маси, об'єму, власних частот і критичної сили;
- імітація деформування конструкції з обліком фізичної й геометричної нелінійності, а також через зміну навантажень і температури в часі;
- моделювання ефекту падіння конструкції на тверду або пружну поверхню;
- розрахунки утомлювальної міцності з урахуванням кривих втоми, форми кривого навантаження, а також лінійної гіпотези підсумовування ушкоджень.

Усі ці типи аналізу можуть бути пов'язані з тим самим об'єктом Solidworks.

Solidworks Simulation вимагає дотримання базового алгоритму методу кінцевих елементів, надаючи усередині кожного етапу певну волю в послідовності кроків підготовки моделі й розгляду результатів. Для розрахунків у пружній постановці для моделей у твердотільному представлені передбачуваний ланцюжок подій описаний нижче.

1. Створення аналізу певного типу й визначення його налаштувань. Останні можуть бути змінені в будь-який момент перед виконанням розрахунків.

2. Заповнення, якщо необхідно, таблиці параметрів, що визначає набір величин, які можуть змінюватися (конкретно — для яких можуть призначатися списки значень) у ході розрахунків.

3. Підготовка вихідних даних усередині заданого аналізу:

- призначення матеріалу деталі або деталям;
- призначення кінематичних граничних умов;
- призначення статичних граничних умов;
- призначення контактних граничних умов, якщо розраховується складання або деталей із декількох тіл;
- створення сітки.

4. Зв'язування, якщо буде потреба, параметрів з таблиці параметрів з відповідними аналізами.

5. Виконання розрахунків.

6. Обробка результатів:

- створення необхідних діаграм;
- аналіз діаграм;
- експорт результатів.

Процедура оптимізації базується на результатах розрахунків у лінійній постановці (статичного аналізу, розрахунків на власні частоти й на стійкість). Втомлюваний аналіз вимагає також виконання як мінімум одного статичного розрахунку.

3.3. Побудова 3D-моделі виливка «Важіль»

Вихідними даними для побудови 3D-моделі виливка «Важіль» є його креслення, розроблене в технологічній частині дипломного проекту [МР-131.15.02.01.00].

У якості площини для початкового ескізу обрана верхня стандартна площина. Виливок розташовуємо по центру координат. Для побудови ескізів елементів були використані наступні інструменти вкладки «Ескіз»: «Прямокутник із центру», «Багатокутник із центру», «Окружність», «Лінія», «Осьова лінія», «Дуга», «Прорізь», «Сплайн», «Округлення», «Фаска», «Дзеркально відбити об'єкти», «Відігнути об'єкти», «Перетворення об'єктів», «Зміщення об'єктів», «Лінійний і круговий масиви» (рис. 3.1). На ескізи нанесені

розміри й взаємозв'язки, що визначають положення елементів ескізів відносно один одного, згідно з розмірами та вимогами креслення виливка. Ескізи будуються на стандартних площинах, спеціально створених площинах чи на площинах, які належать попередньо створеним поверхням виливка.

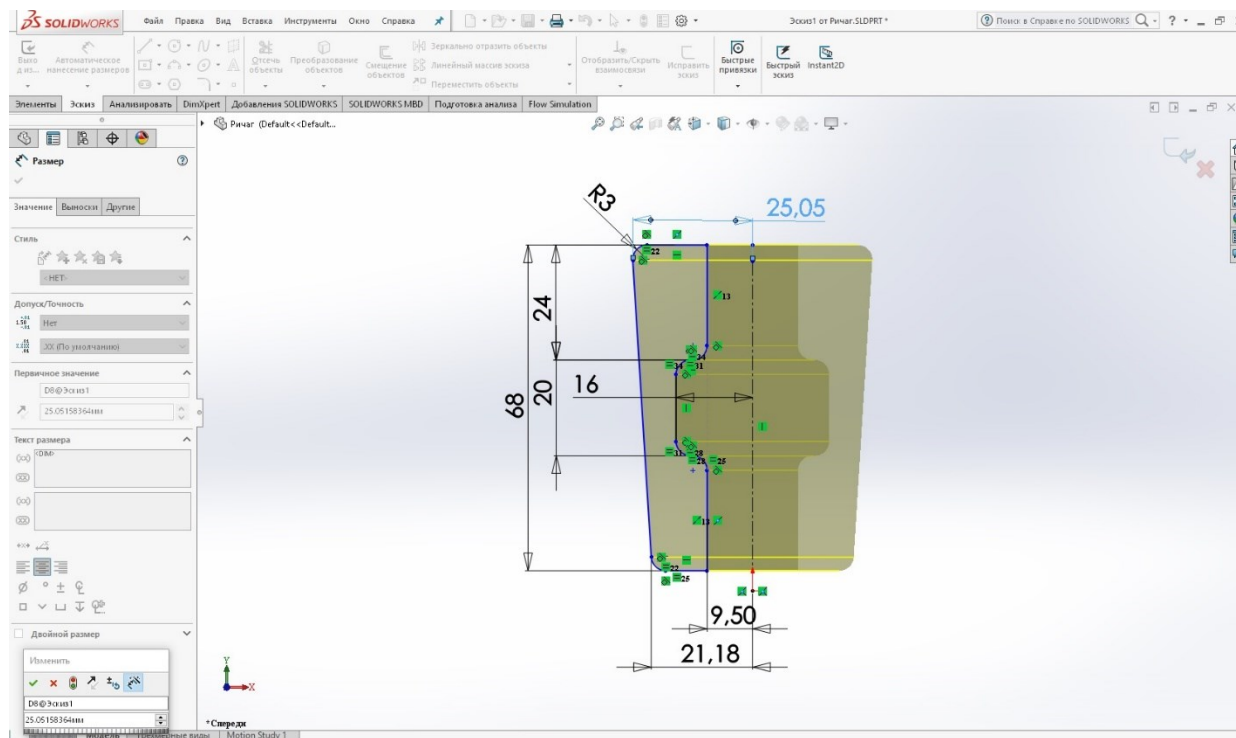


Рисунок 3.1 – Побудова ескізу бокової частини виливка

Для побудови елементів за попередньо створеними ескізами були використані наступні інструменти вкладки «Елементи»: «Витягнута бобишка/основа», «Повернута бобишка/основа», «Бобишка/основа по траєкторії», «Бобишка/основа по перерізах», «Бобишка/основа на границі», «Витягнутий виріз», «Отвір під кріплення», «Повернутий виріз», «Виріз по траєкторії», «Виріз по перерізах», «Виріз по границі», «Скруглення», «Фаска», «Ребро», «Лінійний і круговий масиви», «Дзеркальний масив», «Масиви, які керуються кривими, ескізами, таблицями, зразками заповнення та розмірами», «Уклон», «Оболонка», «Перенос», «Перетин», «Інструменти ливарної форми» тощо. Побудова відповідного елемента відбувається за розмірами, геометрією і взаємозв'язками, які визначають положення і геометрію елементів відносно один одного, згідно з розмірами та вимогами креслення виливка. На рис. 3.2 показано приклад побудови твердотільної 3D-моделі основи виливка за попередньо

побудованим на площині ескізом. Побудова здійснюється за допомогою інструмента вкладки «Елементи» «Бобишка/основа витягнути» на відстань 19 мм від площини ескізу в двох напрямках з формувальним уклоном 3° .

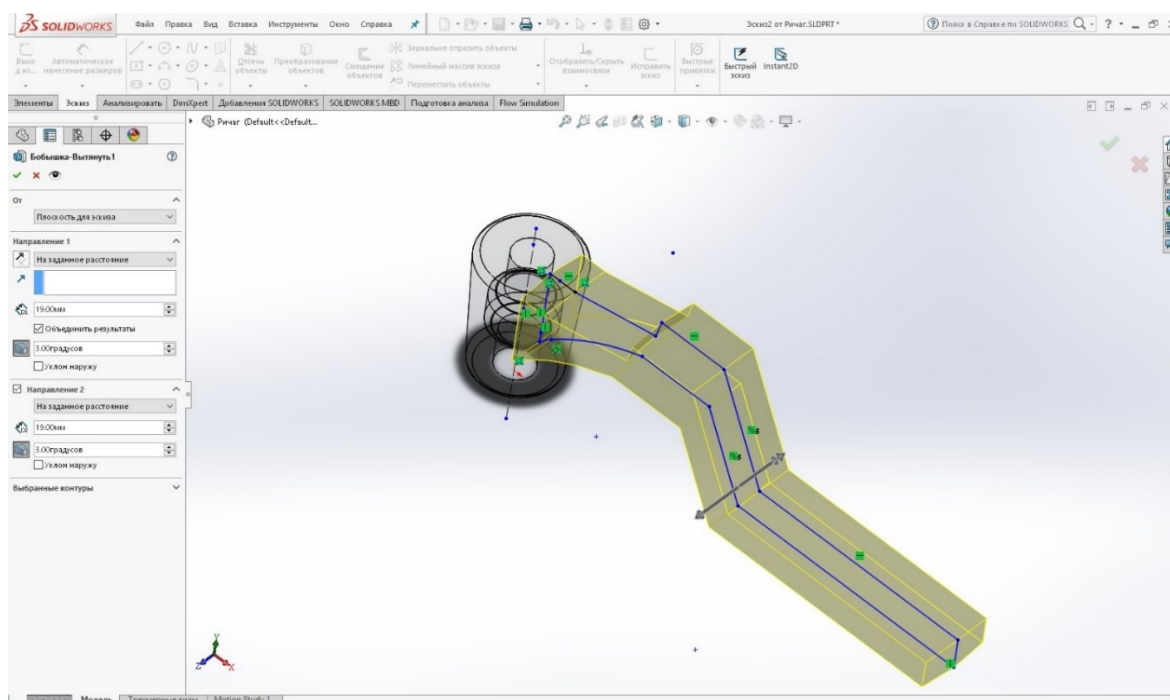


Рисунок 3.2 – Приклад побудови 3D-моделі основи виливка за допомогою інструменту «Бобишка/основа витягнути»

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

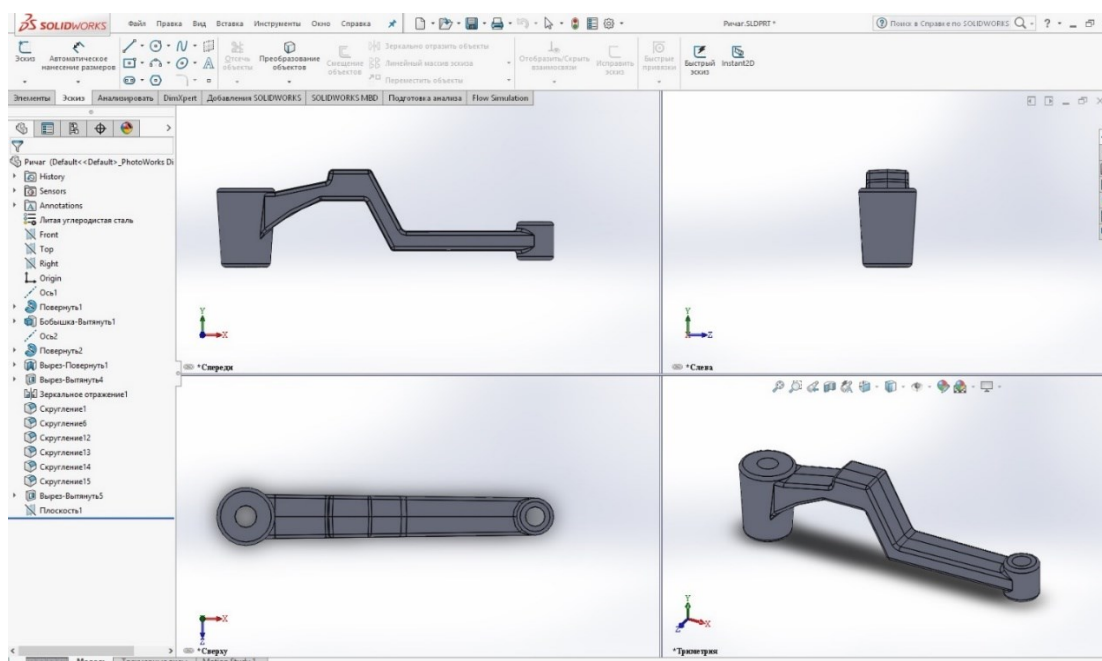


Рисунок 3.3 - 3D-модель виливка «Важіль»

За допомогою інструменту «Масові характеристики» можна визначити масу виливка, його об'єм, площу поверхні, центр ваги, момент інерції тощо (рис. 3.4). Для цього необхідно вибрати матеріал 3D-моделі виливка із бази даних SolidWorks.

Як видно з масових характеристик 3D-моделі (див. рис. 3.4) маса виливка «Важіль», побудованого за кресленням розробленим в технологічній частині дипломного проекту [МР-131.24.15.02.01.00], складає 2,09 кг.

Для зміцнення виливка та зменшення його металоємності можна застосувати на зовнішніх поверхнях ребра жорсткості. Для вибору місць розташування ребер жорсткості, їх геометрії, а також можливості зменшення стінок виливка необхідно провести дослідження міцності при статичних навантаженнях в модулі Solidworks Simulation. При цьому особливу увагу слід звернути на результати досліджень виникнення напружень в перерізах стінок виливка. Це дасть можливість виявити ненапружені ділянки виливка – місця, товщину яких можна безперешкодно зменшити не послаблюючи при цьому міцності і жорсткості всього виливка.

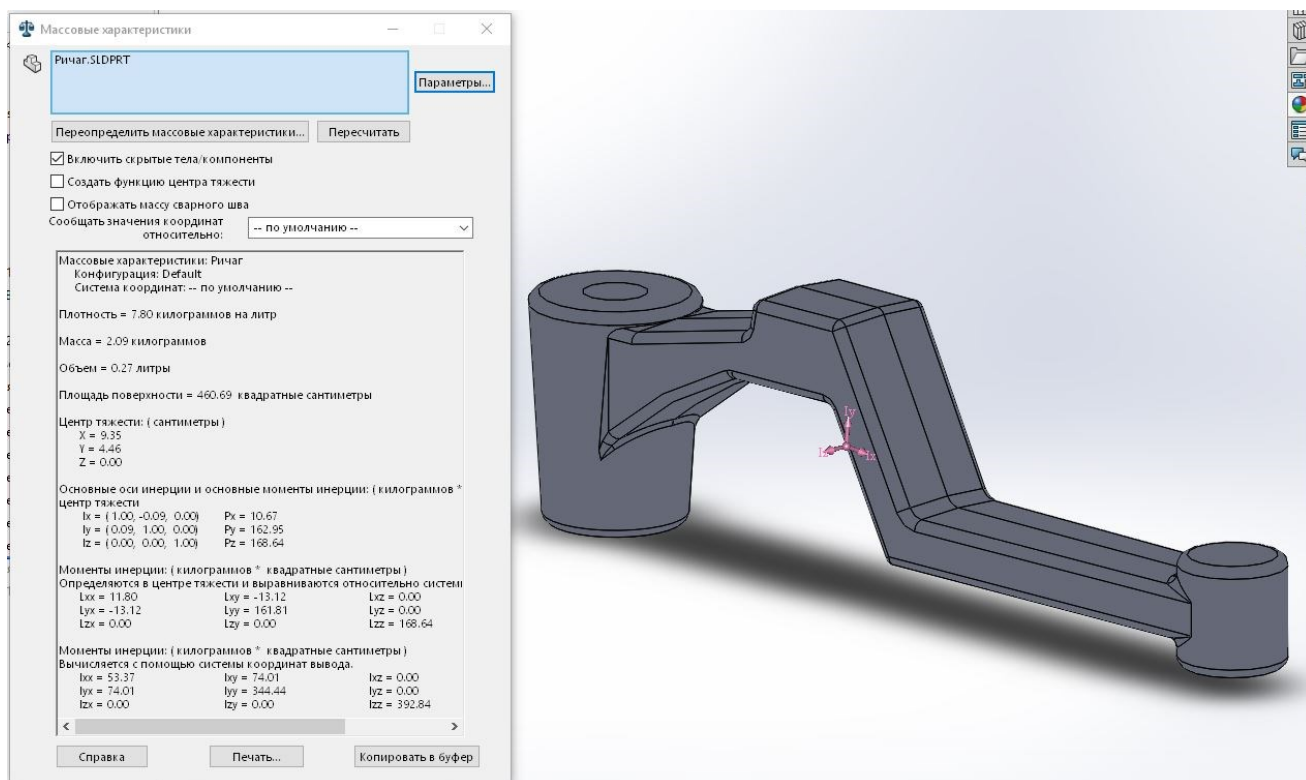


Рисунок 3.4 – Масові характеристики виливка «Важіль»

І навпаки, найбільш «слабкі» місця, які отримують максимальні напруження внаслідок дії навантаження можна зміцнити ребрами жорсткості.

3.4. Розрахунки на міцність 3D-моделі вилівка «Важіль» в середовищі Solidworks Simulation

Твердотільна 3D-модель вилівка «Важіль» готова для аналізу на міцність. Визначимо основні параметри моделі. У цьому ж файлі створимо проект аналізу – «Нове дослідження». Призначимо тип аналізу – «Статичний».

Визначимо матеріал деталі, для чого виберемо з бібліотеки «solidworksmaterials» матеріал – «сталь ливарна вуглецева».

Додавання початкових і граничних умов

Згідно з навантаженнями, які виникають при експлуатації Важільа додамо в модель обмеження й навантаження, згідно з термінологією «Solidworks Simulation» – кріплення й зовнішні навантаження, відповідно.

Прикладемо обмеження – шарнірне кріплення бобишки на внутрішній поверхні отвору діаметром 17 мм. Для цього виберемо тип кріплення «Зафіксований шарнір».

Прикладемо зовнішнє навантаження – силу, прикладену до внутрішньої поверхні отвору діаметром 19 мм (протилежна бобишка), спрямовану по нормалі до осей симетрії бобишок і направлену в напрямку розтягування Важільа. Оскільки Важіль в конструкції висівного апарата призначений для закріплення і утримування деталей на рамі, величину навантаження можна визначити поділивши масу утримуваних деталей на кількість Важільів, які їх утримують: $400 : 8 = 50$ кг. Закладемо в деталь п'ятикратний запас міцності, що відповідає максимальному короткодіючому навантаженню при позаштатній аварійній ситуації. При цьому, сила, що діє на Важіль буде рівною: $5 \cdot 50 \cdot 9,81 = 2452,5$ Н. Приймаємо силу, що діє на Важіль рівною 2500 Н. Для задання зовнішнього навантаження виберемо команду «Сила», натискаємо відповідні циліндричні поверхні на 3D-моделі вилівка і задаємо напрямок дії сили.

Модель із прикладеними граничними умовами представлено на рис 3.5.

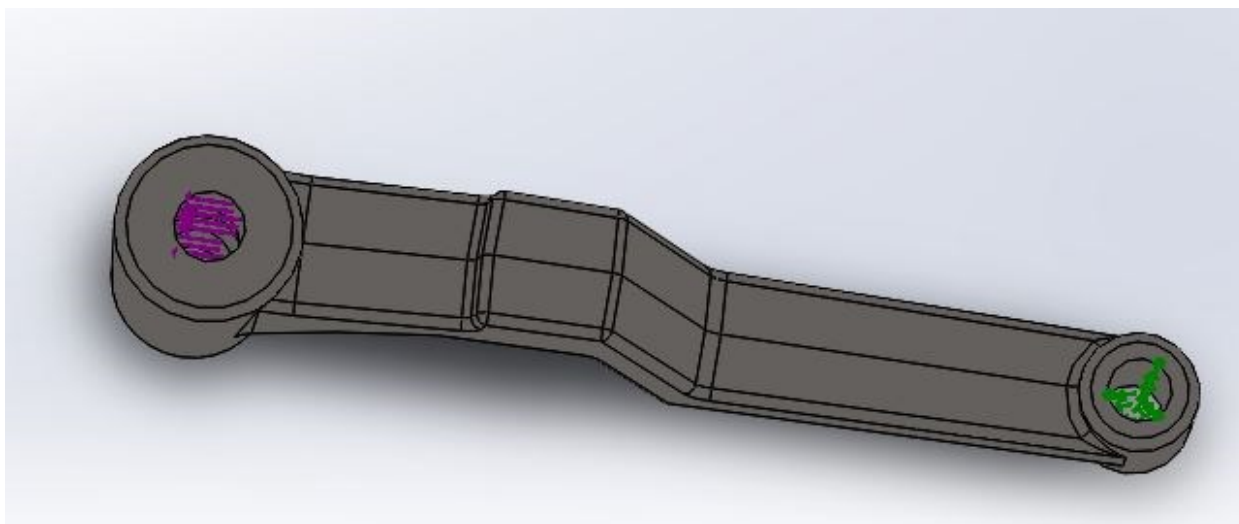


Рисунок 3.5 – Модель із граничними умовами

Таким чином, усі навантаження й обмеження, згідно з розрахунковою схемою прикладені.

Створення кінцево-елементної сітки й виконання розрахунків.

Формування кінцево-елементної сітки активується командою «Створення сітки». Усі параметри команди «Сітка» залишаємо за замовчуванням.

Параметри кінцево-елементної сітки наведено на рис.3.6.

Сетка Детализация	
Имя исследования	Статический анализ 1 (-Default-)
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	6.38468 mm
Допуск	0.319234 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	16844
Всего элементов	10257
Максимальное соотношение сторон	14.661
Процент элементов с соотношением сторон < 3	94.7
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0.224
% искаженных элементов (якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:04
Имя компьютера	

Сетка

Плотность сетки

Грубое Высокое

Сброс

☒ Параметры сетки

☒ Стандартная сетка

☐ Сетка на основе кривизны

☐ Сетка на основе смешанной кривизны

mm

6.38468036mm

0.31923402mm

☐ Автоматический переход

Дополнительно

Точки Якобиана 4 точек

☐ Сетка чернового качества

☐ Автоматические пробы для твердых тел

Рисунок 3.6 – Параметры кінцево-елементної сітки

Кінцево-елементна сітка представлено на рис. 3.7.

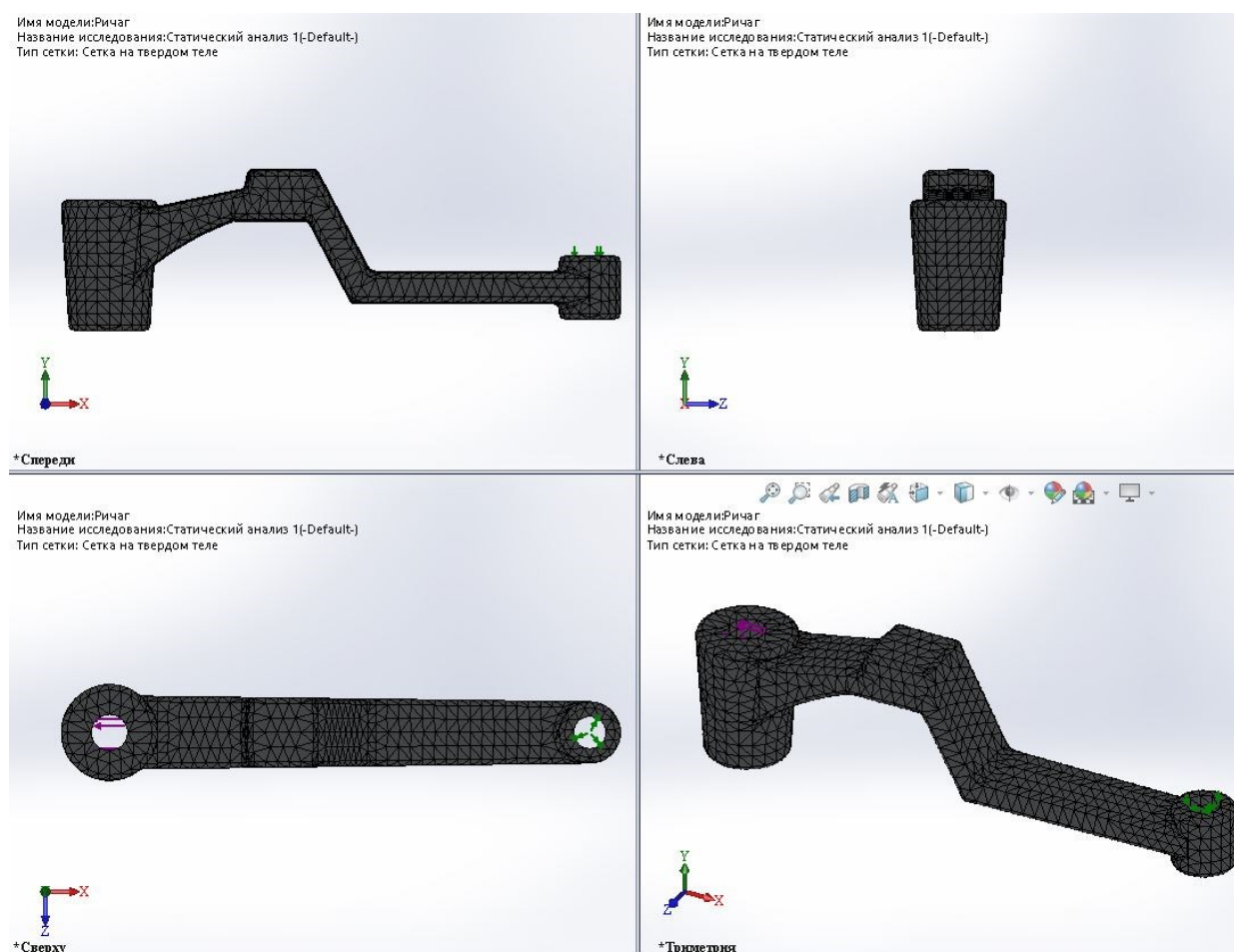


Рисунок 3.7 – Кінцево-елементна сітка

Потім запускаємо програму на розрахунки. Для цього вибираємо команду «Запуск».

Виведення результатів розрахунків

У папці «Результати» дерева дослідження за замовчанням доступні три види результатів аналізу:

- Напруги;
- Результируюче переміщення;
- Еквівалентні деформації.

Для більшої інформативності й зручності аналізу результатів, необхідно настроїти відображувані діаграми, використовуючи команди «Настроювання епюри» і «Параметри графіка». У настроюваннях «Епюри напруг» виберемо згідно з вимогами у якості одиниць виміру МПа; активуємо розділ «Деформована форма з параметром «Авто». У настроюваннях команди «Параметри графіка», активуємо опції: «Відобразити мінімальне значення»,

«Відобразити максимальне значення» і опцію «Числовий формат» – «Плав. крапка».

Діаграму напруги представлено на рис. 3.8.

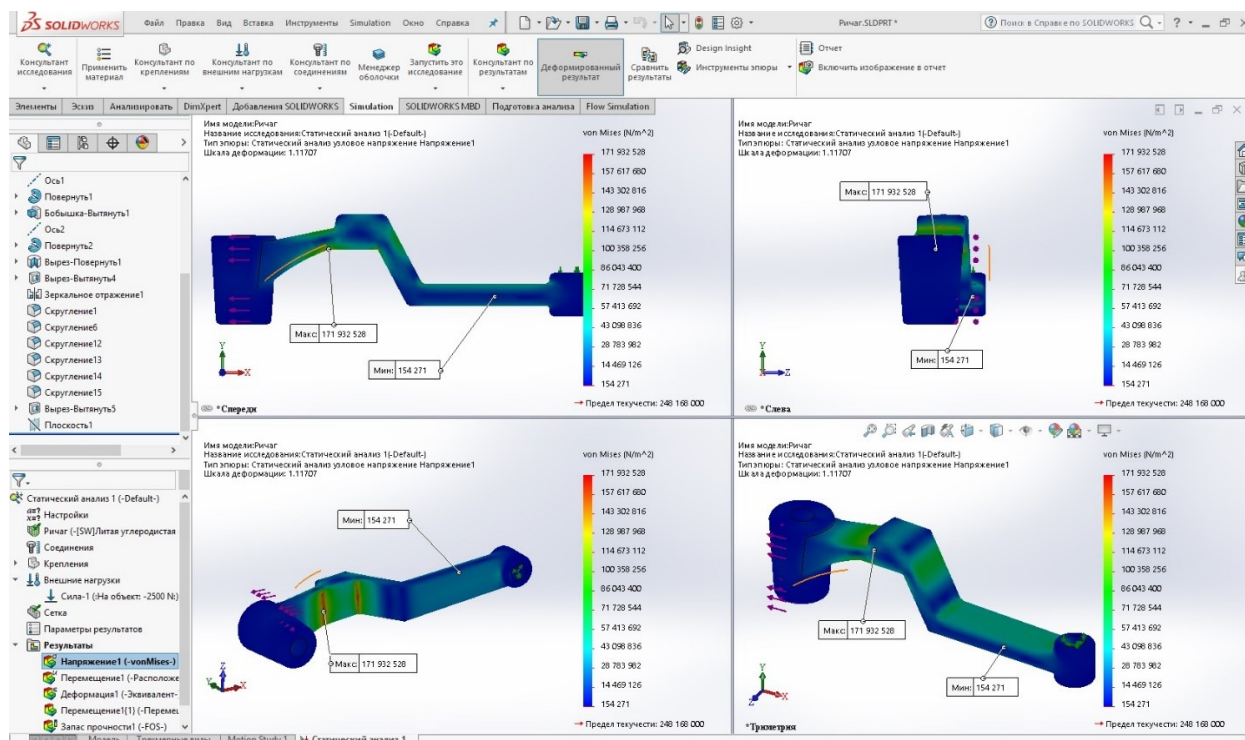


Рисунок 3.8 – Діаграма напруги

Аналізуючи діаграму, помітимо, що максимальне значення напруги становить 171,9 МПа, тоді як границя текучості матеріалу складає 248 МПа. Більше того, деталь має переважну більшість областей, у яких напруга не перевищує 10 – 15 МПа (відповідає синьому кольору). Це свідчить про те, що виливок має достатній запас міцності.

Аналогічним чином виведемо діаграму сумарних переміщень. У налаштуваннях діаграми переміщень виберемо згідно вимог у якості одиниць вимірювань мм, відобразимо деформовану форму в режимі авто й зробивши налаштування параметрів графіка, аналогічно напругам.

Діаграму сумарних переміщень представлено на рис 3.9.

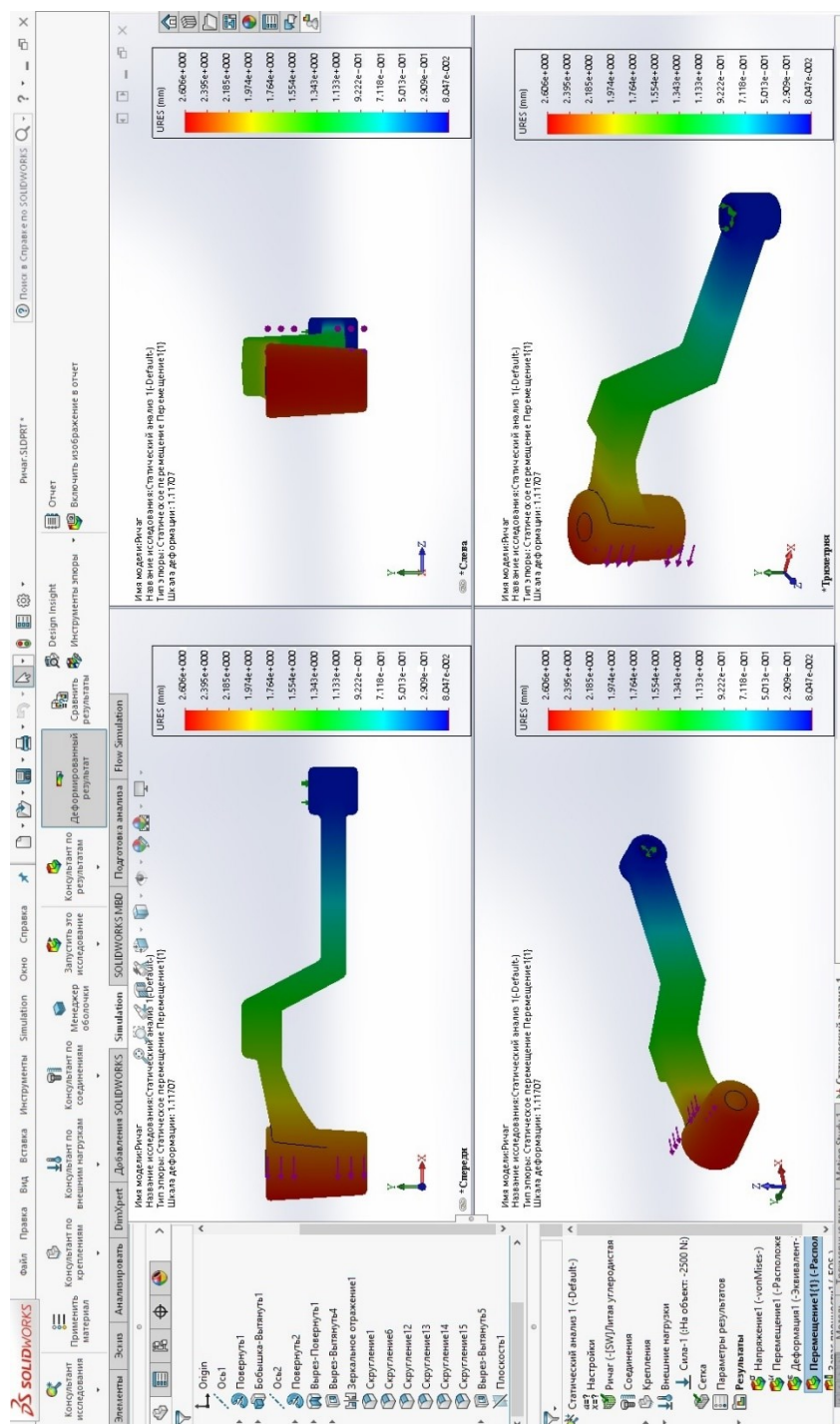
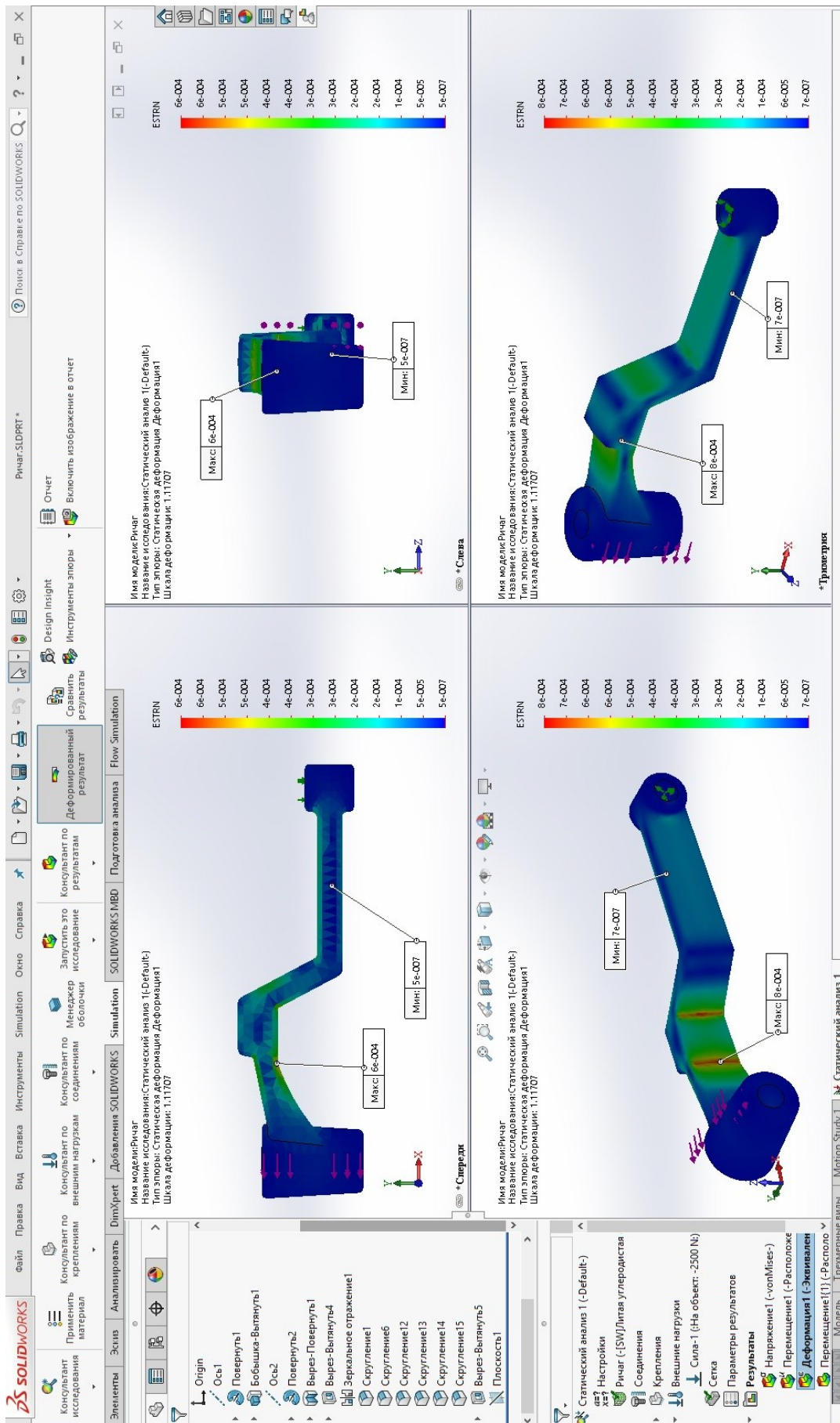


Рисунок 3.9— Діаграма сумарних переміщень

Максимальне результуюче переміщення становить 2,6 мм (відповідає помаранчевому кольору).

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. Діаграму еквівалентних деформацій представлено на рис. 3.10.



Максимальна величина деформацій становить 0,0006.

Рисунок 3.10 – Діаграма еквівалентних деформацій

Тепер побудуємо діаграму коефіцієнта запасу міцності.

Для цього виберемо команду «Визначити епюру перевірки запасу міцності». У якості критерію згідно з вимогами вибираємо «Максимальна напруга von Mises», установимо опцію «Границя текучості» і одиниці виміру МПа. На третьому кроці команди виберемо «Розподіл запасу міцності». У параметрах графіка настроїмо відображення мінімального й максимального значень, а також активуємо режим «Визначення» $\min - 1,0$; $\max - 50$. Дані параметри обрані для більшої інформативності діаграми. $0,7$ – це мінімальний коефіцієнт запасу міцності, тому доцільно це значення вибрати як нижню границю шкали значень. А максимальне значення шкали – 50 обране, щоб однозначно визначити області зі значним коефіцієнтом запасу міцності > 20 і більш детально вивчити області деталі з коефіцієнтом запасу міцності < 20 .

Діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності представлено на рис. 3.11.

Аналізуючи результати, помітимо, що виливок має мінімальний запас міцності $1,44$ (червоні області). Тобто запас міцності в $1,44$ разів мінімум перевищує максимальні п'ятикратні навантаження.

Таким чином можливо зменшити товщину виливка, але при цьому необхідно передбачити в найбільш напружених місцях ребра жорсткості.

Для визначення найбільш напружених частин виливка проведемо дослідження на розподіл навантаження в об'ємі деталі (рис.3.12).

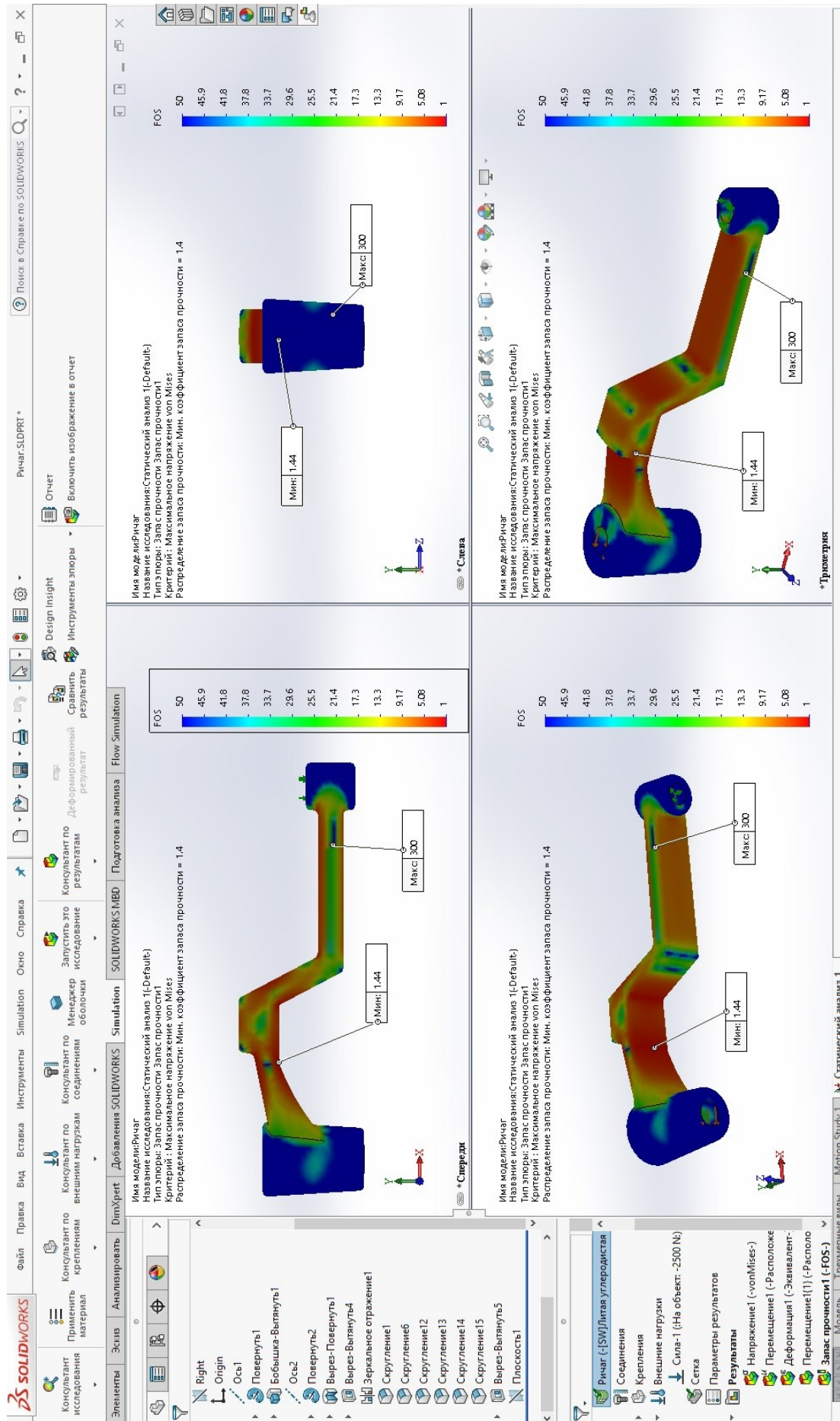
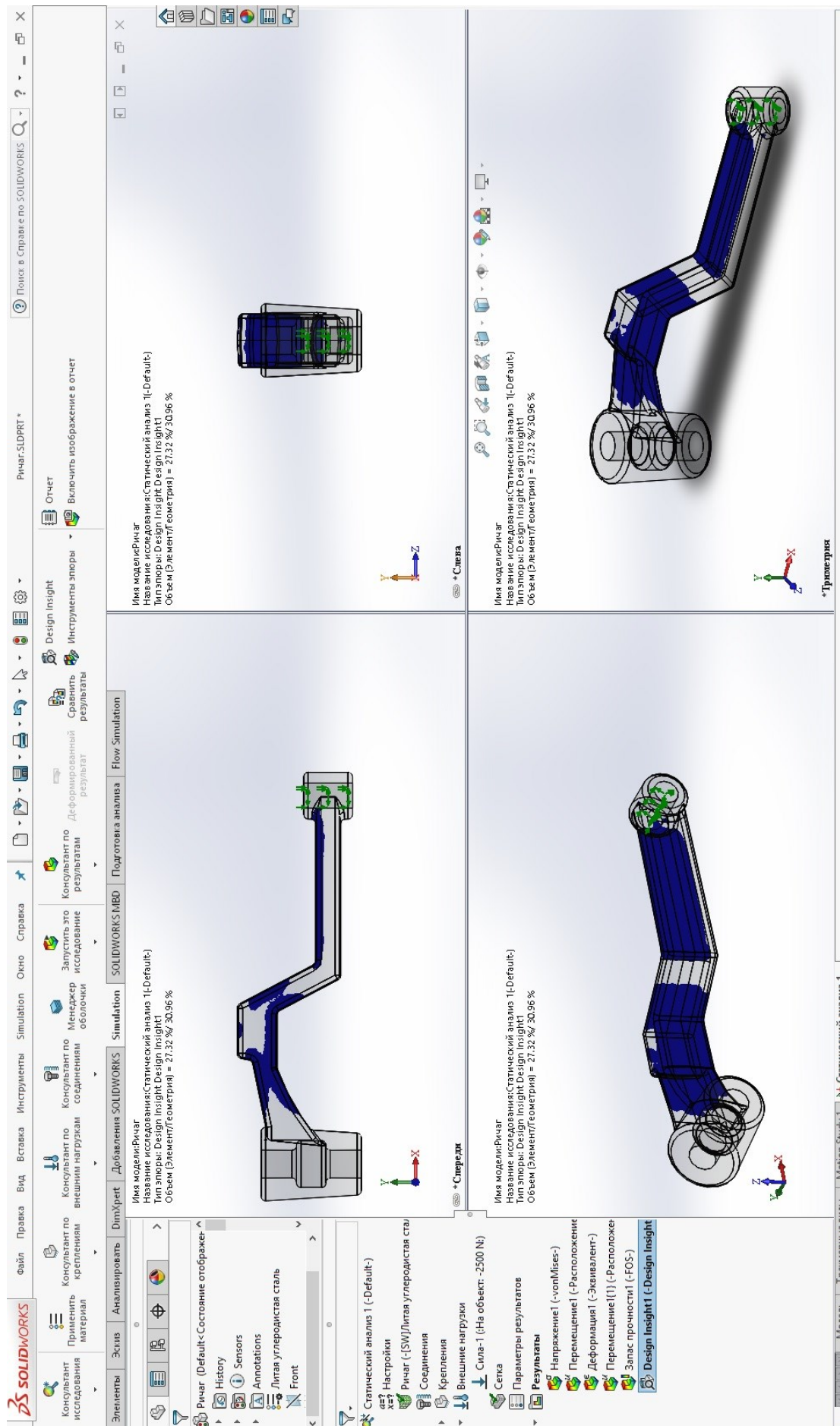


Рисунок 3.11 – Диаграмма розподілу коефіцієнта запаса міцності



Аналізуючи результати, помітимо, що виливок має максимальні навантаження в центральній частині в місцях перегину Важільа (сині області). Це означає, що саме ці області ззовні необхідно зміцнити ребрами жорсткості. Не зафарбовані області (згори перегину і знизу прямолінійної частини виливка) можна зробити тоншими, адже вони не сприймають навантаження, і тим самим заощадити метал. Також можна зробити виборки з ребрами жорсткості з лівої частини виливка біля місця спряження перегину з конічною бобишкою.

3.5. Розробка нової конструкції виливка «Важіль» та дослідження його міцності в середовищі Solidworks Simulation

Згідно з алгоритмом, описаним вище розробляємо нову конструкцію виливка «Важіль». Враховуючи результати попереднього дослідження зменшуємо товщину виливка залишаючи при цьому ребра жорсткості знизу і зверху за допомогою інструментів «Виріз витягнути», «Виріз по траєкторії», «Повернутий виріз». В центральній частині виливка на нижніх поверхнях передбачаємо ребра жорсткості за допомогою інструментів «Витягнута бобишка/основа», «Повернута бобишка/основа», «Бобишка/основа по траєкторії».

Після побудови всіх необхідних елементів отримуємо 3D-модель виливка «Важіль» нової конструкції (рис. 3.13)

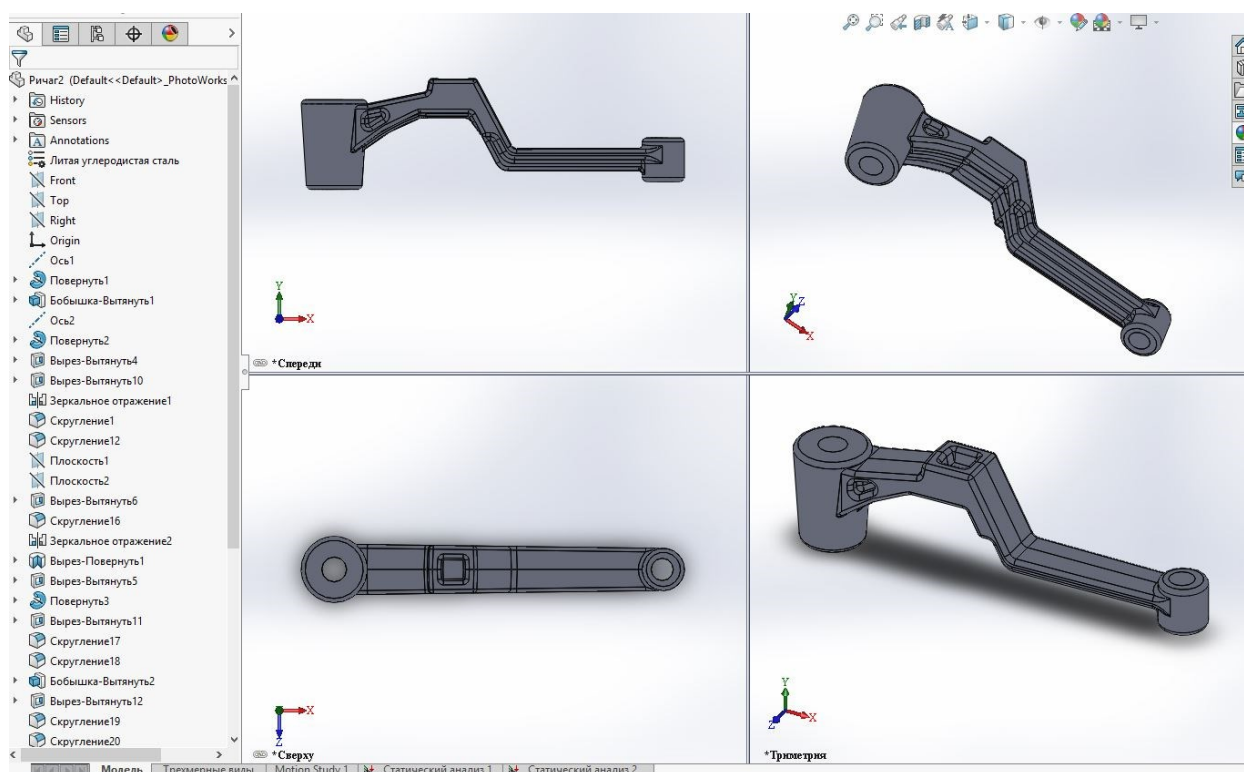


Рисунок 3.13 - 3D-модель вилка «Важіль»

За допомогою інструменту «Масові характеристики» визначаємо масу вилка, його об'єм, площу поверхні, центр ваги, момент інерції тощо (рис. 3.14).

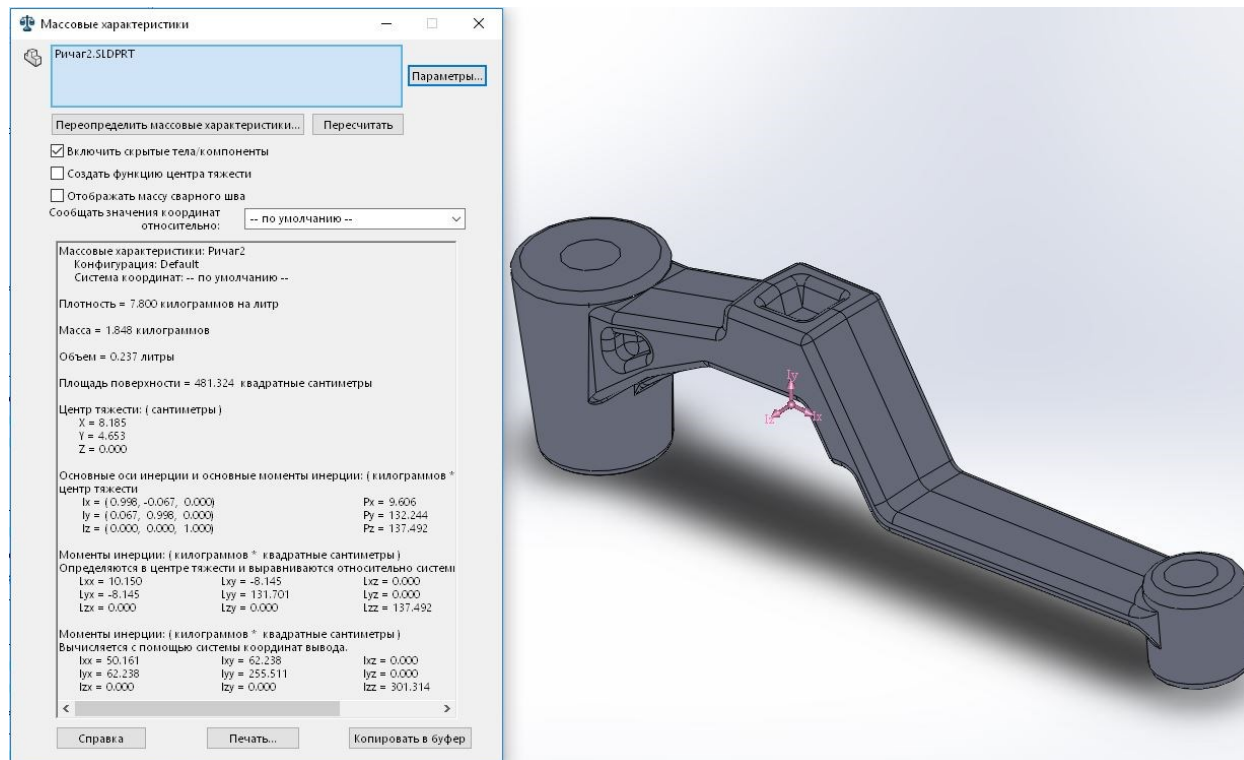


Рисунок 3.14 – Масові характеристики вилка «Важіль»

Як видно з масових характеристик 3D-моделі (див. рис. 3.14) маса виливка «Важіль» нової конструкції, складає 1,848 кг. Економія матеріалу складає: $2,090 - 1,848 = 0,242$ кг, або 11,5 %.

Твердотільна 3D-модель виливка «Важіль» нової конструкції готова для аналізу на міцність. Визначимо основні параметри моделі. У цьому ж файлі створимо проект аналізу – «Нове дослідження». Призначимо тип аналізу – «Статичний».

Додамо в модель обмеження й навантаження аналогічно попередньому дослідженню.

Модель із прикладеними граничними умовами представлено на рис 3.15.

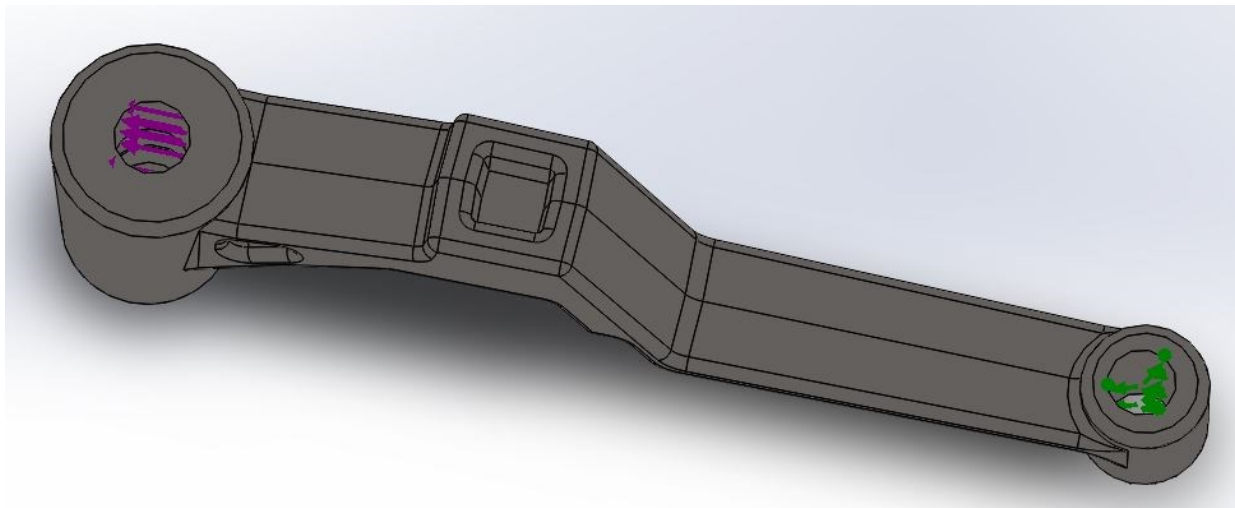


Рисунок 3.15 – Модель із граничними умовами

Формування кінцево-елементної сітки здійснюємо аналогічно попередньому дослідженню.

Параметри кінцево-елементної сітки наведено на рис.3.16.

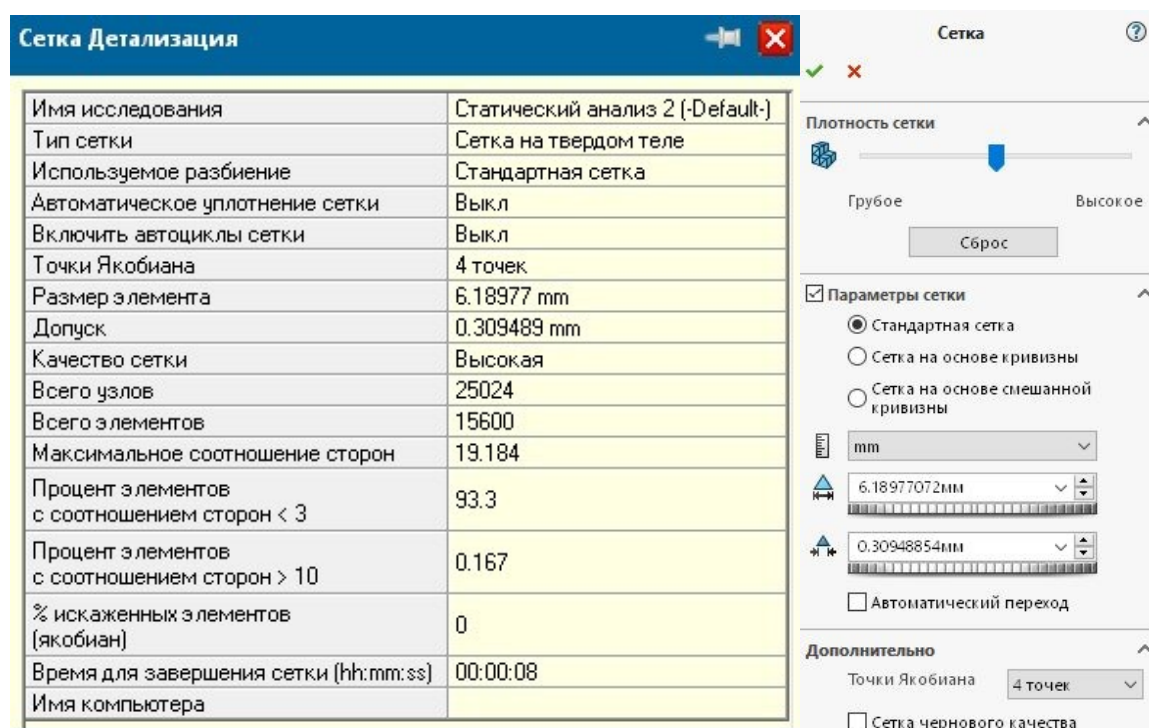


Рисунок 3.16 – Параметры кінцево-елементної сітки

Кінцево-елементна сітка представлена на рис. 3.17.

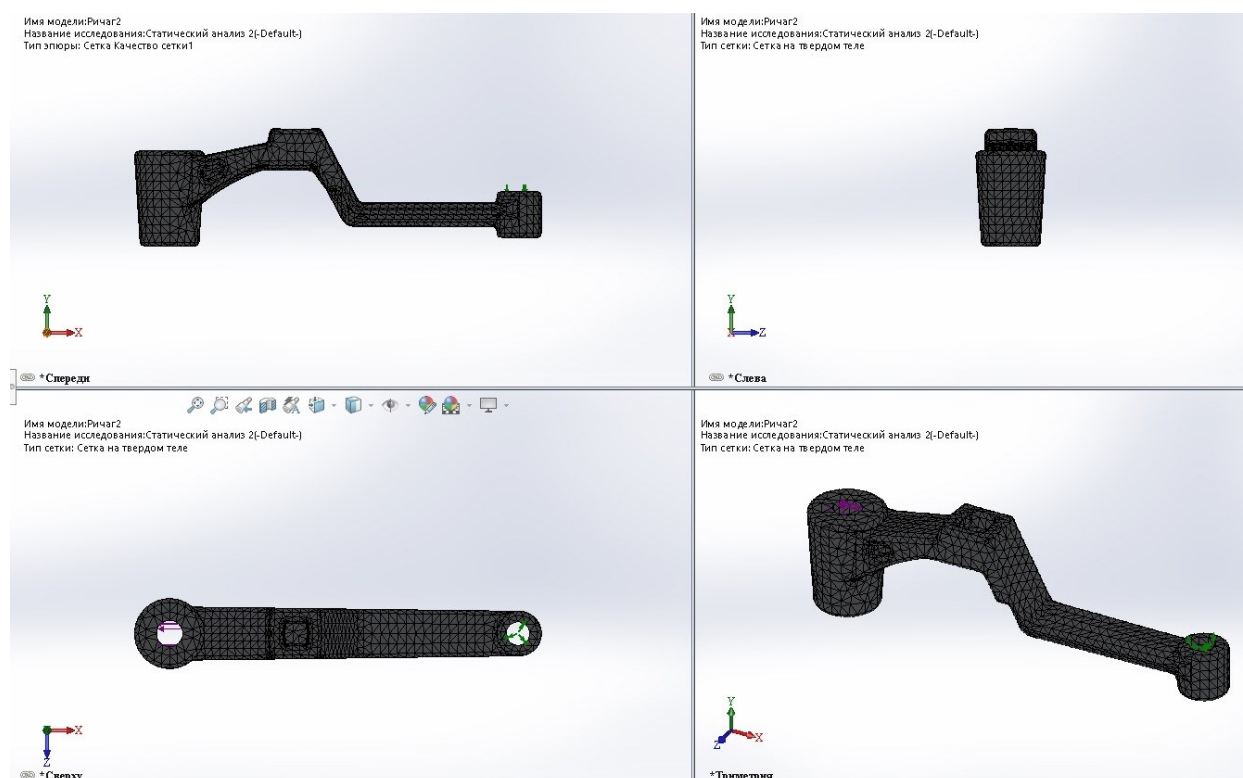


Рисунок 3.17 – Кінцево-елементна сітка

Потім запускаємо програму на розрахунки. Діаграму напруги представлено на рис. 3.18.

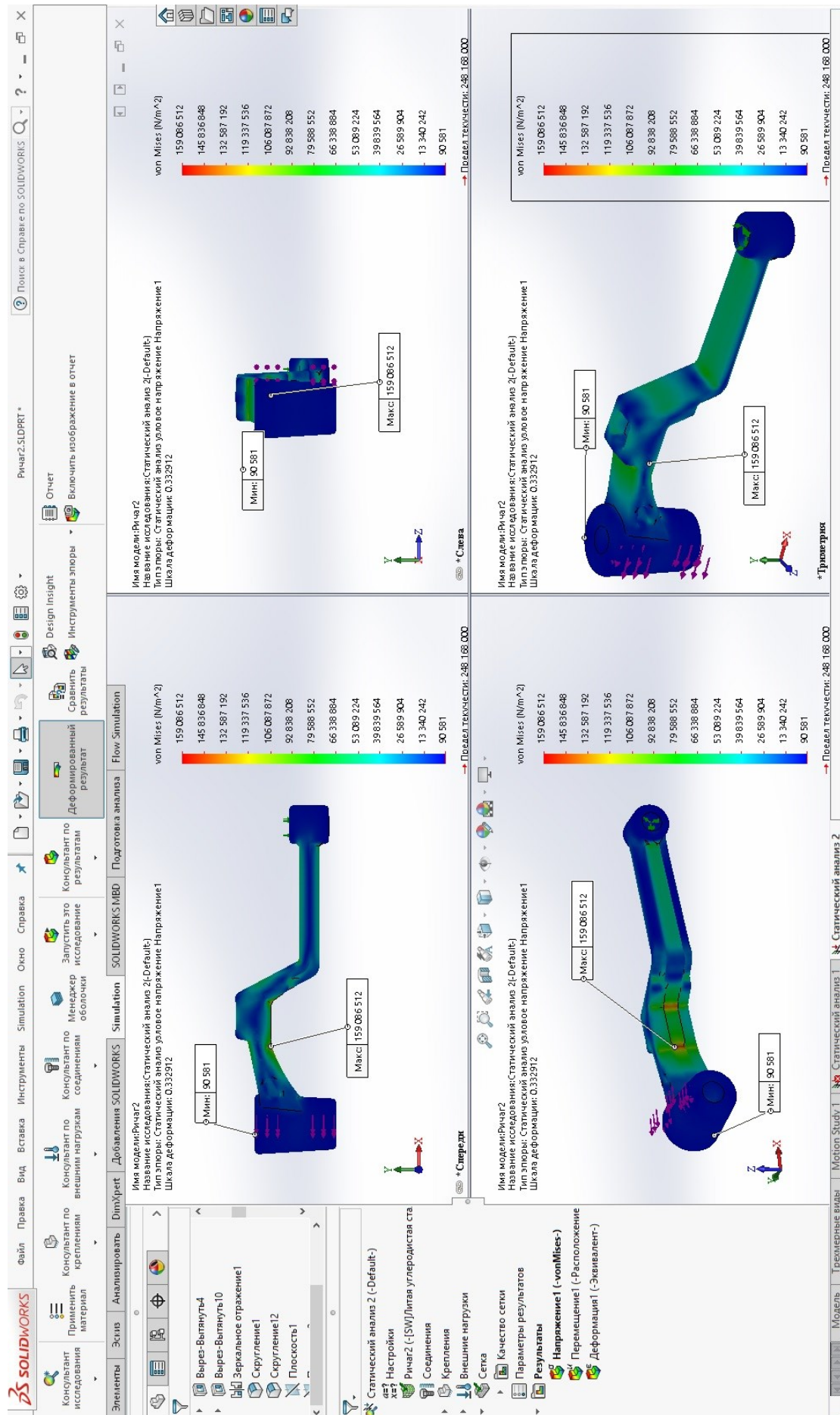


Рисунок 3.18 – Диаграмма нагрузки

Аналізуючи діаграму, помітимо, що максимальне значення напруги становить 159 МПа, тоді як границя текучості матеріалу складає 248 МПа. Більше того, деталь має переважну більшість областей, у яких напруга не перевищує 2 – 5 МПа (відповідає синьому кольору). Це свідчить про те, що виливок отримав більший запас міцності ніж мав до переробки конструкції.

Аналогічним чином виведемо діаграму сумарних переміщень. Діаграму сумарних переміщень представлено на рис 3.19.

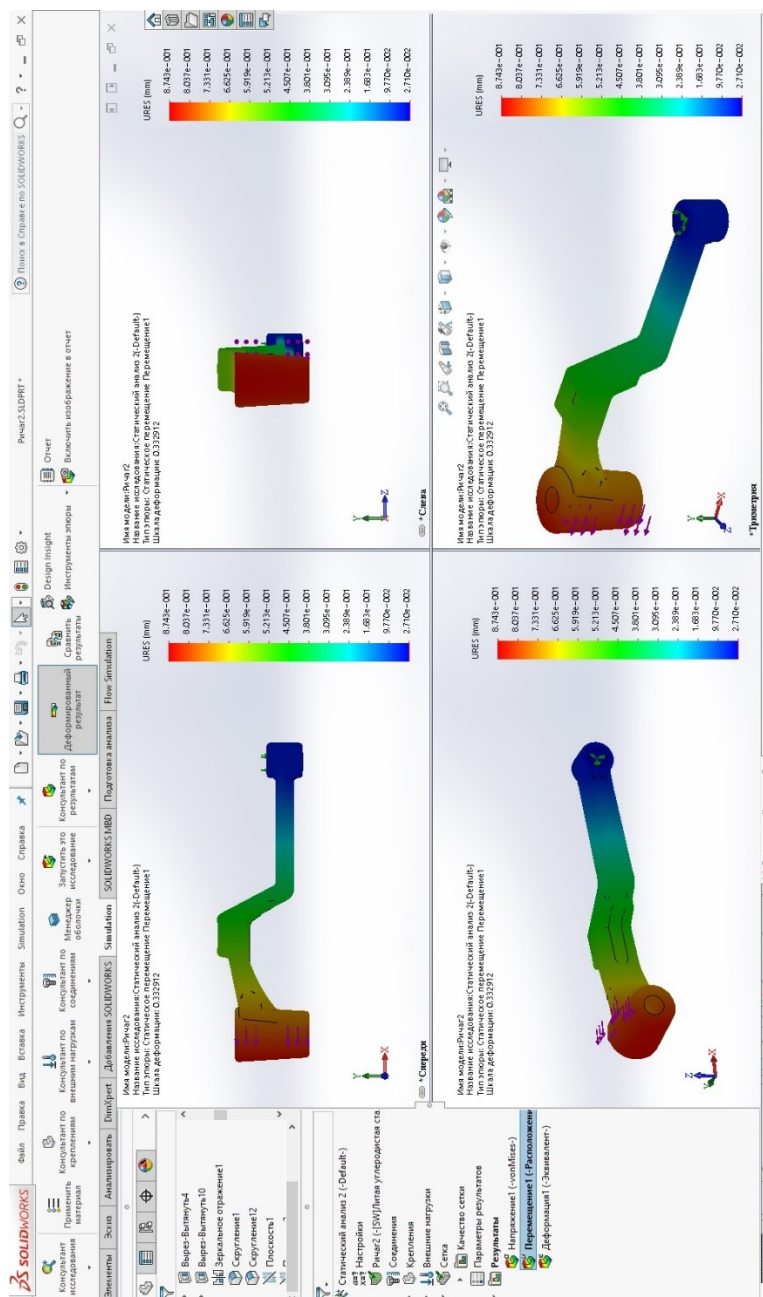


Рисунок 3.19– Діаграма сумарних переміщень

Максимальне результуюче переміщення становить 0,8 мм (відповідає помаранчевому кольору).

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

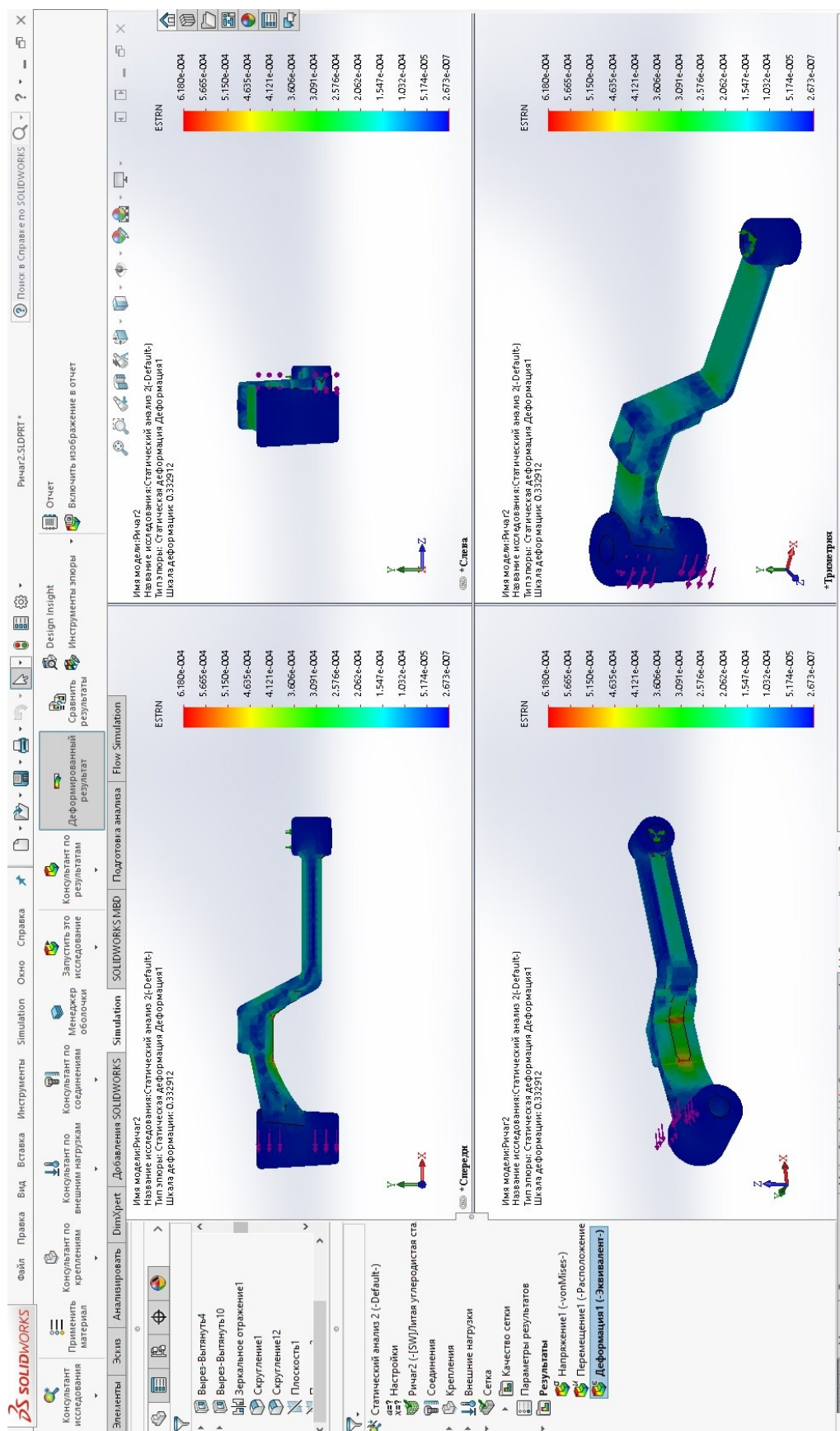


Рисунок 3.20 – Діаграма еквівалентних деформацій

Максимальна величина деформацій становить 0,0006.

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

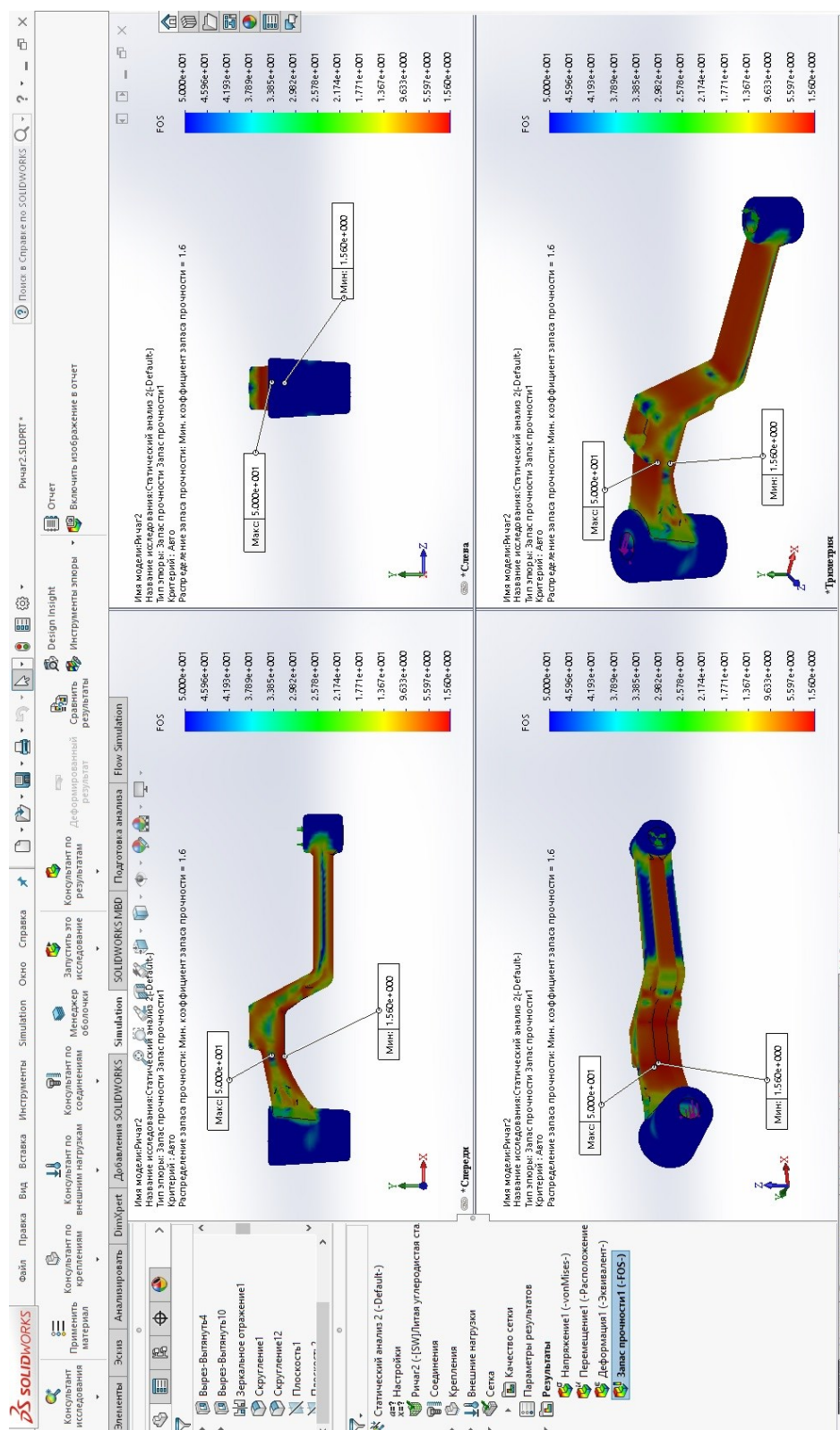


Рисунок 3.21 – Діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності

Аналізуючи результати, помітимо, що виливок має мінімальний запас міцності 1,56 (червоні області) Тобто запас міцності в 1,56 разів перевищує максимальні п'ятикратні навантаження.

Таким чином можливо ще зменшити товщину виливка, але для цього необхідно провести аналогічні додаткові дослідження.

Для визначення найбільш напружених частин виливка проведемо дослідження на розподіл навантаження в об'ємі деталі (рис.3.22).

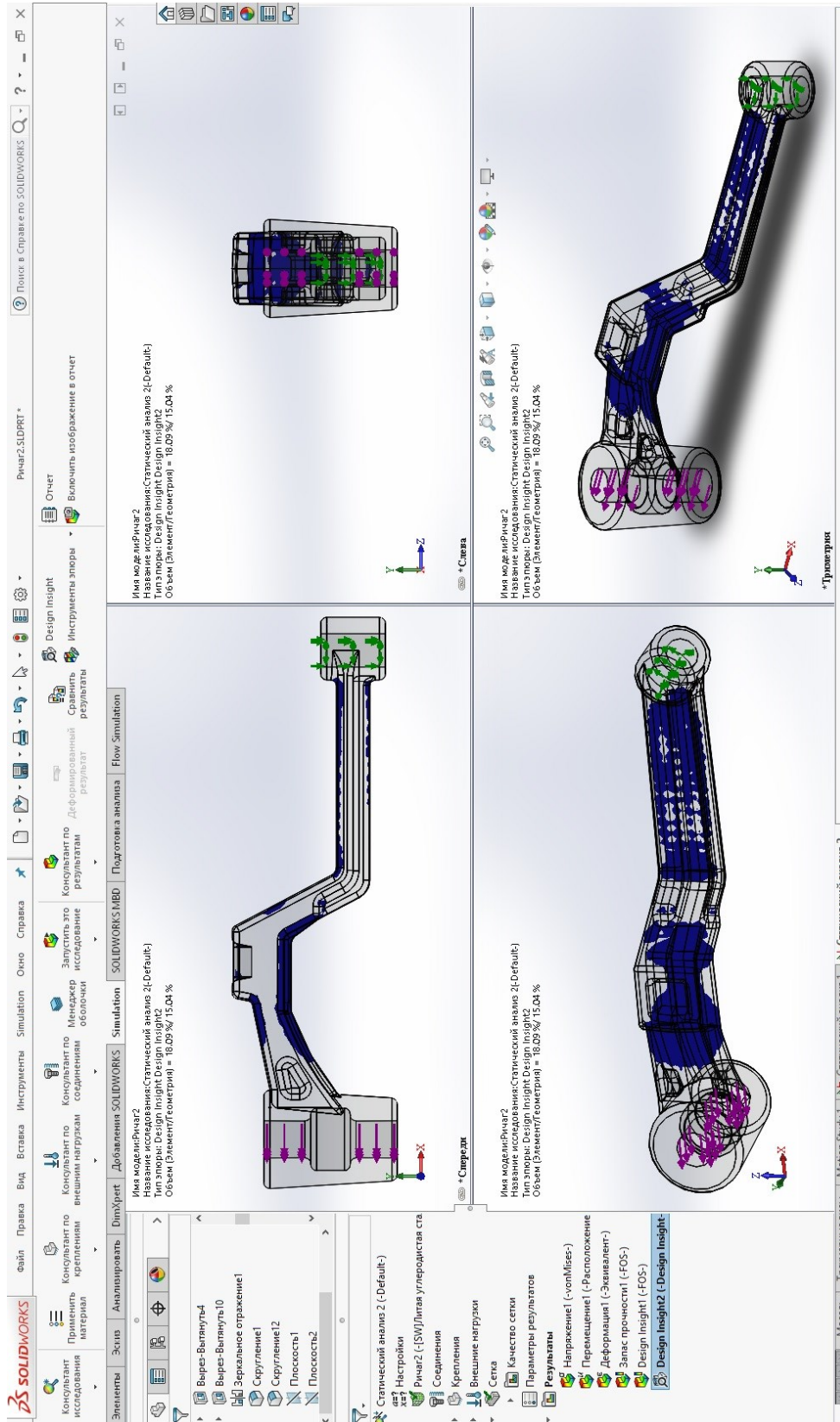


Рисунок 3.22 – Розподіл навантаження в об'ємі виливка

Аналізуючи результати, помітимо, що виливок має максимальні навантаження лише в центральній частині знизу на ребрі жорсткості (сині області). Не зафарбовані області (згори і з боків) мають найменш напружені ділянки, адже вони не сприймають навантаження.

3.6. Висновки по розділу

У науковій частині дипломного проекту розглянуті основні можливості системи автоматизованого проектування Solidworks, як інтегрованого середовища моделювання й інженерного аналізу, зокрема, особливості підготовки моделей до аналізу й основні аспекти його проведення в CAE-Модулі системи – Solidworks Simulation.

На базі побудованої в CAD-Модулі Solidworks твердотільної 3D-моделі виливка «Важіль», виконано аналіз напружено-деформованого стану з використанням Solidworks Simulation. Результати аналізу дозволили розробити нову конструкцію виливка, яку вдалося зробити тоншою в найменш напружених місцях і зміцнити ребрами жорсткості в найбільш навантажених місцях. При цьому п'ятикратний запас міцності виливка зріс від 1,44 до 1,56, а масу вдалось зменшити на 242 грами, або 11,5 %.

Проведення досліджень на міцність у середовищі Solidworks Simulation дозволяє виявити на стадії проектування, до виготовлення виробу, недоробки в конструкції деталей, швидко й ефективно ввести зміни в конструкцію, з найменшими 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 піщано-глинисту форму виливка «Важіль» з удосконаленням конструкції виливка на основі комп'ютерного аналізу його напружено-деформованого стану.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- проведено огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення виливків із сталі методом лиття в піщано-глинисту форму;
- розроблено технологію лиття в піщано-глинисту форму виливка «Важіль» ;
- виконано комп'ютерний аналіз в CAE-Модулі системи Solidworks Simulation напружено-деформованого стану виливка за умов його реальних навантажень.
- розроблено рекомендації щодо підвищення міцності та зменшення металоємності виливка за рахунок використання у його конструкції ребер жорсткості;

У першій частині магістерської роботи проведено огляд і вибір ливарного обладнання для виготовлення сталевих виливків методом лиття в піщано-глинисту форму. Описано роботу основних та допоміжних відділень ливарного цеху. Для плавки металу було обрано електродугову сталеплавильну піч моделі ДСП-12 з килою футеровкою ємністю 12 т. Для виготовлення форм обрано автоматичну ливарну лінію ІЛ225 Івано-Франківського заводу "Авто-литмаш". Для приготування формувальної і стержневої сумішей вибрано обладнання змішувачі. Описано склад і властивості формувальної та стержневої суміші. Для охолодження та очистки поверхні відливків застосовується галтувальний охолоджуючий барабан ОБ-90, очистка поверхні здійснюється також в дробометній камері, відрізання ливників здійснюється на відрізних верстатах з дисковими пилами, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах. Також на виробництві передбачене відділення

ґрунтування виливків. Описано будову вищеперерахованого обладнання та наведено технічні характеристики.

В другій частині магістерської роботи виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок; описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка; розроблено технічні умови на виливок; виконано розрахунок ливниково-живильної системи; описано процес проектування ливарного оснащення; описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, приведено параметри заливки форми, вибивки, обрубки виливків; наведено параметри та способи технічного контролю якості виливків; розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок, модельних комплектів верху, низу, стержневого ящика, та форми в зборі.

У науковій частині дипломного проекту розглянуті основні можливості системи автоматизованого проектування Solidworks, як інтегрованого середовища моделювання й інженерного аналізу, зокрема, особливості підготовки моделей до аналізу й основні аспекти його проведення в CAE-Модулі системи – Solidworks Simulation. На базі побудованої в CAD-Модулі Solidworks твердотільної 3D-моделі виливка «Важіль», виконано аналіз напружено-деформованого стану з використанням Solidworks Simulation. Результати аналізу дозволили розробити нову конструкцію виливка, яку вдалося зробити тоншою в найменш напружених місцях і зміцнити ребрами жорсткості в найбільш навантажених місцях. При цьому п'ятикратний запас міцності виливка зріс від 1,44 до 1,56, а масу вдалось зменшити на 242 грами, або 11,5 %.

Проведення досліджень на міцність у середовищі Solidworks Simulation дозволяє виявити на стадії проектування, до виготовлення виробу, недоробки в конструкції деталей, швидко й ефективно ввести зміни в конструкцію, з найменшими витратами часу, матеріальних і енергетичних ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуковський С.С. Про завдання Всесоюзної асоціації ливарників. - Ливарне виробництво. - №12, 1989. - С. 2-4.
2. Степанов Ю.А. та ін. Технологія ливарного виробництва: спеціальні види лиття. Підручник для вузів. - М.: Машинобудування, 1983. - 287 с.
3. Тітов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва: Підручник для машинобудівних технікумів. 2-ге вид. перероб. - М.: Машинобудування, 1978. - 432 с.
4. Могильов В.К., Лев О.І. Довідник ливарника. - М.: Машинобудування, 1988. - 271 с.
5. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності 0502. / Укл. І.Н. Москальов, Л.П. Миронов. - Кіровоград: КИСГМ, 1985. - 76 с.
6. Економічні розрахунки при проектуванні ливарних цехів: Методичні вказівки до курсової та дипломної роботи для студ. спеціальності 8.090502 / укл. Н.П. Сисоліна, Л.В. Лебедева – Кіровоград: КНТУ. 1999. - 63 с.
7. Москальов І.М. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО. 1993. - 368 с.
8. Ливарне виробництво: Підручник для металургійних спеціальностей вишів. - 2-ге вид., Перероб. та дод. - М.: Машинобудування, 1987, - 256 с., Мул;
9. Сафронов В.Я. Довідник з ливарного обладнання. - М.: Машинобудування, 1985, - 320 с., іл.
10. Конончук С.В. Властивості формувальних матеріалів і сумішей: метод. указ. до виконання лаб. роб. з курсу «Технологія ливарного виробництва»: для студ.-ливарників спец. 131 "Прикладна механіка", 133 "Галузеве машинобудування" / С.В. Конончук, О.В. Скрипник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 116 с.
11. Логінов І.З. Проектування ливарних цехів. – Мінськ: “Вищийш. школа”, 1975 – 320 с., іл.;

12. Альтман М.Б. та ін. Плавка та лиття сплавів кольорових металів. - М.: Металургія, 1984. - 214 с.
13. Марієнбах Л.М., Соколовський Л.О. Плавка металевих сплавів для фасонного лиття. - М.: Вища школа 1987. - 187 с.
14. Обладнання ливарних цехів. Навчально-методичний посібник з курсового проектування/В.М. Корольов, Є.І. Шитов - Мінськ, 1998. - 94с.
15. Леві Л.І. Основи теорії металургійних процесів та технології плавки ливарних сплавів. -М.: Машинобудування, 1970. - 172 с.
16. Жевтунов Н.П. Ливарні метали. - М.: Машгіз, 1957. - 394 с.
17. Леві Л.І., Кантенік С.К. Ливарні метали. - М.: Вища школа, 1967. - 320 с.
18. Федоров Г.Є., Ямшинський М.М., Могилатенко В.Г. Проектування ливарних цехів. Підручник у 2 год. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
19. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни «Технологія ливарної форми» для студентів спеціальності 0502// Миронов В.С., Телін В.М., Кудя В.І. - Кіровоград: КІСМ, 1985. - 88 с.
- 20.ГОСТ 3212-92 - Комплекти модельні. Ухили формувальні, стрижневі знаки, допуски розмірів
21. ДСТУ 8781:2018– Виливки зі сталі. Загальні технічні умови.
22. Дорошенко С.П. Формувальні суміші. Навчальний посібник. - К.: ІЗМН, 1997 - 140 с.
23. Дорошенко С.П., Федоров Г.Є. Модельне оснащення для виробництва виливків у піщаних формах. Навчальний посібник. - К.: ІВЦ "Видавництво Політехніка", 2003. - 112с.
24. О.А. Беліков, Л.П. Каширцев. Приводи ливарних машин. - М.: Машинобудування, 1971. - 312 с.В.П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – Київ: Наукова думка, 1993. 552 с.
25. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник/ С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, Ю.В. Клак – Луцьк: Вежа, 2018. – 172 с.
26. Веселовська Г.В. Комп'ютерна графіка / Веселовська Г.В., Ходаков В.Є, Веселовський В.М. - Херсон.: ОЛДІ - плюс, 2008. – 584 с.

27. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: конспект лекцій / Ю. В. Холодняк. – Мелітополь: Люкс, 2021. – 140 с.
28. Козяр М. М. Комп'ютерна графіка: SolidWorks : навч. посіб. / М. М. Козяр, Ю. В. Фешук, О. В. Парфенюк. – Херсон : Олді-плюс, 2018. – 252 с.
29. Комп'ютерне проектування промислових виробів: навчально-методичний посібник з виконання практичних робіт / Ю. В. Холодняк; ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 152 с.
30. Paul J. Schilling, Randy H. Shih. Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2022 // 2022, 610 p.
31. James D. Bethune. Engineering Design and Graphics with SolidWorks 2016 // 2016, 829 p.
32. Zeid I. Mastering SolidWorks: the design approach // 2014, 552 p.
33. 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.
34. Глиняна, Н.М. Охорона праці у ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів напрямку 0904 «Металургія» / Н.М. Глиняна. – Краматорськ : ДДМА, 2009. – 184 с.
35. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. – Львів, Афіша, 2000. – 352 с.
36. Гуменюк О. Л. Охорона праці. Методичні вказівки до виконання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр” галузі знань 0501 – інформатика та обчислювальна техніка / О.Л. Гуменюк – Чернігів: ЧДТУ, 2013. – 21 с.

ДОДАТКИ